

11-10-71
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
— I. N. R. A. —
STATION DE RECHERCHE EN SOL
Domaine Saint-Paul
84140 MONTFAVET

Etude de la mobilisation
du POTASSIUM dans
quelques types de sol
d'après la technique
de STANFORD-DEMENT

Mémoire-Thèse présenté en vue de
l'obtention du Diplôme d'I.T.A.

LOPIN Edward

Réalisé à l'INRA
de Montfavet
sous la Direction
de M. CABIBEL

Je remercie

Monsieur GOUNY, Directeur de la Station d'Agronomie de
MONTFAVET.

Mon maître de Stage, Monsieur CABIBEL.

Mon Professeur d'Agronomie, Monsieur DUTHIL.

Pour les conseils qu'ils m'ont donnés tout au long de mon
travail.

Tout le personnel de la Station qui m'a aidé dans la réalisa-
tion de cet essai.

La Société Commerciale des Potasses et de l'Azote et
L'Institut de Recherche d'Agronomie Tropicale pour les
échantillons de sol qu'ils ont bien voulu me fournir pour
réaliser cette étude.

S O M M A I R E

Introduction	
CHAPITRE I : Généralités sur le potassium dans le sol.	
I 1.	Origine du potassium du sol
I 2.	Dynamique du potassium dans le sol . 2
I 2.1	Potassium échangeable . 3
I 2.11	Potassium en solution . 3
I 2.12	Potassium adsorbé . 3
I 2.2	Potassium fixé . 4
I 2.21	Equilibre fixation libération . 5
I 2.22	Mécanismes de la fixation . 5
I 3.	Rapport sol-plante et alimentation potassique de la plante . 6
CHAPITRE II : Mobilisation du potassium dans quelques types de sol d'après la technique de STANFORD - DÉMENT . 8	
II 1.	Méthode d'étude . 8
II 1.1	Principe de la méthode . 8
II 1.2	Matériel de culture . 9
II 1.21	Technique de QUEMENER - ROLLAND . 10
II 1.22	Modifications apportées à la technique de QUEMENER - ROLLAND . 11
II 2.	Sols à étudier . 13
II 3.	Résultats et discussion . 14
II 3.1	Matière végétale produite . 14
II 3.2	Potassium exporté à partir du sol par la culture . 15
II 3.3	Exportation du potassium en fonction des besoins de la culture . 16
II 3.4	Evolution des différentes formes de potassium dans le sol . 18
II 3.41	Potassium échangeable . 18
II 3.42	Potassium non initialement échangeable libéré . 19
II 3.43	Mobilisation comparée du potassium échangeable et du potassium non initialement échangeable . 20

II 4.	Relation entre réponse des sols aux apports d'engrais K en culture de plein champ et résultats obtenus par le test de culture	. 24
II 4.1	Réponse des sols aux apports d'engrais K en plein champ	. 24
II 4.2	Comparaison entre classement obtenu par test de culture et celui obtenu par réponse au champ	. 25
CONCLUSION		. 26
CONCLUSION GENERALE		. 27
ANNEXE		. 28
	Principes des méthodes d'analyse utilisées	
BIBLIOGRAPHIE		

I N T R O D U C T I O N

Avec l'intensification des cultures il est de plus en plus nécessaire d'essayer d'apprécier les possibilités des sols à alimenter *en* éléments nutritifs et selon leurs besoins, une récolte ou une succession de récoltes, le sol devant être maintenu dans un état d'équilibre nutritionnel.

Il est généralement admis que la nutrition potassique des végétaux est sous la dépendance des possibilités de mobilisation du potassium du sol et du développement racinaire. De plus si le prélèvement du potassium par la plante se fait sous sa forme définie comme échangeable, on est obligé d'admettre l'intervention des autres formes du potassium du sol. La mesure du potassium échangeable ne constitue dès lors qu'une des données d'appréciation de la disponibilité de cet élément du sol. Sa richesse effective en potassium dépendant également des équilibres cinétiques existant entre ses diverses formes de potassium mobilisable.

Dans la présente étude, nous étudierons la dynamique de mobilisation du potassium dans quelques types de sol à l'aide de la technique de STANFORD - DE MENT.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE POTASSIUM DANS LE SOL

I 1. ORIGINE DU POTASSIUM DU SOL

L'écorce terrestre renferme 2,6 % de potassium. Le potassium des sols formés sur une roche-mère donnée provient de l'altération des minéraux qui composent celle-ci. A la suite d'actions diverses le potassium est libéré ou inclus dans une nouvelle architecture cristalline.

Selon l'expérience de DEMOLON et DEBATISSE, l'action des facteurs atmosphériques agissant sur 800 Kgs de granite concassé, aboutit au bout de 15 ans à une désaggrégation des fragments initiaux et à la formation d'une fraction colloïdale (diamètre inférieur à 2 μ) qui représente 1,45 % de l'ensemble. Plus la granulométrie est fine, plus la composition chimique diffère de celle du granite d'origine, se traduisant en particulier par une augmentation légère de la teneur en potassium. On note cependant que tous les minéraux n'évoluent pas de la même façon. Les Biotites et Plagioclases passent principalement dans les fractions les plus fines. Celles-ci donneront naissance à des minéraux nouveaux de nature argileuse.

Selon MACKENZIE, le schéma de la formation des argiles serait :

Muscovite \rightarrow Hydromuscovite , illite \rightarrow Mica intermédiaire \rightarrow Smectite,

par perte progressive en potassium et augmentation correlative d'hydratation.

Les argiles de type vermiculitique ou illite dégradée joueraient un rôle important dans la dynamique du potassium dans le sol. (Réf : BLANCHET et AL 1965)

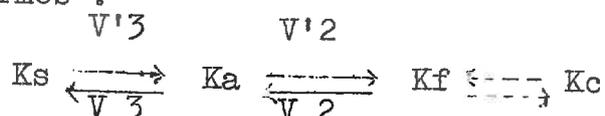
L'altération des minéraux est un phénomène très lent. Minime dans le cas des sols évolués, plus important mais encore faible dans les sols jeunes développés sur arènes granitiques, la fourniture du potassium à la plante par ce mécanisme devient tout à fait insuffisante en cas de production intensive.

I 2. DYNAMIQUE DU POTASSIUM DANS LE SOL

Du point de vue de sa disponibilité à l'égard des plantes, on peut distinguer quatre formes de potassium dans le sol :

{ potassium en solution : K_s
} potassium adsorbé sur le complexe adsorbant : K_a
} potassium fixé : K_f
} potassium du réseau cristallin : K_c

Il existe un équilibre entre les différentes formes :



Le potassium en solution et le potassium adsorbé constituent le potassium actuellement disponibles pour la plante ou potassium échangeable. Il existe entre ces deux formes des échanges rapides et permanents. Entre le potassium adsorbé et le potassium fixé les échanges sont lents et conditionnels ; la forme fixée constituerait un "volant" de réserve

Le potassium des réseaux cristallins faisant partie des minéraux primaires non encore, ou incomplètement altérés paraît inaccessible à la plante.

Lors d'un prélèvement de potassium il y a rupture d'équilibre. Celui-ci se déplace vers la gauche. Comme par ailleurs, la vitesse de passage du potassium de la forme adsorbée vers la forme Solution (V3) est toujours supérieure à sa vitesse de passage de la forme fixée vers la forme adsorbée, l'équilibre n'est pas immédiatement atteint ; d'où difficulté pour certains sols de nourrir la plante à un moment donné, bien qu'ils disposent de la quantité totale de potassium nécessaire.

Il se produit le phénomène inverse lors d'un apport de potassium au sol.

I 2.1 Potassium échangeable :

I 2.11 Potassium en solution

Il est directement mis à la disposition de la plante. Sa teneur est très variable d'un sol à l'autre, pour un même sol d'une saison à l'autre. Elle est généralement très faible : 0,002 à 0,02 meq/100 g de sol. (ANDERSON et AL)

Les principaux facteurs de variation sont les suivants :

{
nature de l'argile
teneur en eau
nature et concentration des autres ions présents
teneur du potassium adsorbé

I 2.12 Potassium adsorbé

C'est le potassium retenu à la surface externe des particules d'argile. Sa teneur est sous la dépendance de nombreux facteurs tels que :

{
texture du sol
nature de l'argile
teneur en eau
fertilisations effectuées
nature et concentration des autres ions présents.

L'équilibre qui existe entre la forme potassium en solution et potassium adsorbé n'est qu'un équilibre statistique. En effet il se produit des échanges incessants entre le potassium du complexe et celui de la solution avec une fréquence identique dans les 2 sens.

En cas de rupture d'équilibre les déplacements individuels d'ions K deviennent plus fréquents dans un sens que dans l'autre, mais sont contrebalancés par des passages plus importants des autres cations en sens inverse jusqu'à ce qu'il s'établisse un nouvel équilibre. Pour un échange simple de type K - Ca, la distribution de K et de Ca entre les 2 phases est décrite par une relation de la forme :

$$\frac{X}{Y} \frac{K^+}{Ca^{++}} = k \frac{(K^+)}{(Ca^{++})^{\frac{1}{2}}}$$

X et Y étant la quantité en meq de cations adsorbés sur le complexe (K^+) et (Ca^{++}) les activités respectives de K^+ et de Ca^{++} dans la solution du sol.

k est un coefficient dont la valeur dépend de l'énergie de liaison du potassium, qui elle-même est caractéristique des différents sites du potassium sur l'argile.

I 2.2 Potassium fixé

Quand un sol est enrichi en potassium une fraction de celui-ci peut passer sous une forme peu disponible pour les récoltes, et inaccessible aux réactifs habituels d'extraction. Il y a eu fixation.

Inversement on constate que les plantes sont capables de prélever des quantités très importantes de potassium sans qu'il y ait diminution notable de potassium échangeable. Il y a donc libération du potassium non initialement échangeable sous forme échangeable.

I 2.21 Equilibre fixation-libération

BARBIER, à l'aide des expériences effectuées au ^{42}K montre que fixation et libération étaient globalement réversibles. Les résultats n'ont pas permis de préciser s'il s'agissait d'une réversibilité au sens physico-chimique, qui impliquerait que fixation et libération intéressent les mêmes minéraux argileux, ou les mêmes espaces interfeuilletés.

DE MUMBRUN et HOOVER d'une part, étudiant un mélange vermiculite-illite, HIREKERUR d'autre part travaillant sur les différentes séries de sol du Minnesota attribuent la fixation du potassium à la vermiculite, à la montmorillonite et à des minéraux interstratifiés, la libération à l'illite. La teneur en potassium total paraît jouer un rôle essentiel dans le sens de la participation d'une argile à ces processus.

Parallèlement MORLAND montre que la vermiculite et la montmorillonite cèdent plus facilement leur potassium préalablement fixé aux cultures que l'illite.

Chaque type d'argile serait donc susceptible de fixer ou de libérer du potassium, les conditions requises pour ces mouvements pouvant être différents de l'un à l'autre.

Quoiqu'il en soit, dans un sol le phénomène de fixation n'est pas globalement irréversible.

I 2.22 Mécanismes de la fixation

Le pouvoir de fixation du potassium par le sol dépend essentiellement de la nature des argiles et des conditions d'hydratation.

Selon PAGE et BAVER, dans le cas d'une montmorillonite les ions K^+ se fixent sur des positions interfeuilletés.

Lors de la déshydratation, les feuillets se contractent et les ions K^+ perdent leurs molécules d'eau, atteignant un diamètre voisin de 2,66 Å. Or les couches externes des feuillets présentent des cavités hexagonales entre ions oxygène de 2,8 Å. Les ions K^+ pénètrent dans ces cavités et confèrent aux feuillets une structure stable résistant à la réhydratation ; les ions K^+ sont dès lors fixés.

D'autres mécanismes doivent être invoqués pour la fixation du potassium par divers autres types d'argile :

- substitutions isomorphiques (VOLK - MORLAND et GIESEKING)
- intégration de K au réseau cristallin en tant que constituant normal (CHALINADE - SCHACHTSCHABEL)
- intervention de l'aluminium en milieu acide (SCOTT et AL, CARTER et AL)

I 3. RAPPORT SOL - PLANTE - ALIMENTATION POTASSIQUE

Rappelons l'équilibre qui existe entre les diverses formes de potassium dans le sol :



La plante prélève le potassium soit au niveau du K solution soit au niveau du K adsorbé. Elle provoque ainsi une rupture d'équilibre. Il s'en suit une diffusion des ions K^+ des sites externes (K_a) vers la solution et des sites interfeuillets (K_f) vers les sites de bordures externes (K_a).

Selon BLANCHET, l'absorption du potassium par la plante dépend :

- (du nombre d'ions K^+ présents dans le milieu.
- (du degré d'exploration du milieu par les racines, donc du développement du système racinaire.
- (de la vitesse de diffusion des ions K^+ fixés vers l'état échangeable ; cette vitesse dépendant essentiellement de la nature de l'argile.

CONCLUSION

La richesse effective d'un sol en potassium semble être fonction :

- . de la teneur en potassium échangeable initial.
- . de la réserve potassique mobilisable non initialement échangeable, qui peut être appréciée par exemple en laboratoire par l'extraction au tétraphénylborate de sodium.
- . de la dynamique relative de libération des deux formes de potassium mobilisable dans le sol, que l'on peut étudier à l'aide de la technique de STANFORD - DE MENT, et qui fera l'objet du chapitre II.

CHAPITRE II

MOBILISATION DU POTASSIUM DANS QUELQUES TYPES DE SOL
D'APRES LA TECHNIQUE DE STANFORD - DE MENT

II 1. METHODE D'ETUDE

La mobilisation du potassium dans le sol est étudiée à l'aide de la technique de culture de STANFORD - DE MENT. (DE MENT - STANFORD - BRADFORD 1959). Cette technique permet de caractériser les possibilités d'alimentation en potassium des sols vis à vis des récoltes. (SCOTT WELCH 1961). Une adaptation de la méthode et sa standardisation étant nécessaire pour apprécier et comparer les réserves en potassium mobilisables de sols différents (QUEMENER - ROLLAND 1970), nous utilisons dans la présente étude le mode opératoire proposé par ces derniers auteurs.

II 1.1 Principe de la méthode :

Une culture de jeunes plantules d'orge, effectuée sur sable, est alimentée par une solution nutritive dépourvue de potassium. Les plants carencés en potassium sont ensuite reportés avec leur support inerte sur l'échantillon de sol à étudier. Après un temps de culture donnée le potassium est dosé dans le végétal.

Le potassium échangeable des sols étant dosé avant et après culture, on étudie le bilan du potassium mobilisé.

$$\left\{ K_{ne} = (K_e f + K_{exp}) - (K_{Ei} + K_g) \right\}$$

avec :

- { Kne : potassium non initialement échangeable.
- { Ke f : potassium échangeable après culture.
- { K exp: potassium exporté par la plante.
- { K^c i : potassium échangeable avant culture.
- { Kg : potassium apporté par la graine.

Ce bilan permet de juger dans quelle mesure le sol est capable de libérer du potassium non initialement échangeable pour une récolte donnée. Si Kne est positif, il y a libération du potassium par le sol ; si Kne est négatif, il y a fixation. Dans l'évaluation du potassium exporté par la plante, il n'est pas tenu compte du potassium exporté par les racines développées dans le sol.

Le principe de la méthode suppose que les conditions théoriques suivantes soient remplies :

- 1° - Les absorptions minérales à mesurer devant être une fonction directe de l'état du potassium dans le sol il ne faut pas que les différences de nutrition minérale aient le temps d'avoir des répercussions importantes sur le développement du végétal ; d'où nécessité d'avoir un contact sol-plante de courte durée.
- 2° - Les divers sols à étudier doivent être au départ de l'étude mis en présence d'un végétal de développement constant et identique.
- 3° - Les conditions physiques propres aux divers sols (donc très différentes) doivent être autant que possible homogénéisées pour ne pas provoquer de différence dans l'implantation des racines, donc de différence dans leur développement.

II 1.2 Matériel de culture :

La technique de culture est celle mise au point à la station d'ASPACH (QUEMENER - ROLLAND 1970) avec quelques modifications dues aux essais précédents de la station d'Agronomie de MONTFAVET (1970).

II 1.21 Technique QUENEMER - ROLLAND

Le semis :

Le semis est effectué dans des pots à fond mobile de dimensions : 9 x 9 x 6 cm. Afin d'obtenir 30 plants par pot, 35 graines sont semées dans 500 g de sable inerte (lavé à HCl et rincé), dont 100 g au dessus du semis.

Préparation du sol :

Pour homogénéiser les différences de structure entre sols, 150 g de sable analogue à celui précédemment utilisé sont mélangés à 50 g de sol. Celui-ci étant préalablement séché à la température du laboratoire et passé au tamis de 2 mm. Le mélange sable-sol est placé dans un pot à fond fixe. (voir schéma du dispositif)

Contact sol - plante :

Les contacts sol-plantes sont effectués 10 jours après la levée, soit 2 semaines après le semis. Le mélange sable-sol ayant été préalablement arrosé avec une quantité d'eau correspondant aux 2/3 de la **saturation du mélange, avant de recevoir la culture.** Le contact est maintenu pendant 20 jours.

Solution nutritive :

composée de 2 fractions dépourvues de potassium :

B 1	:	{	phosphate disodique	4 650 mg/l
B 2	:	{	nitrate de chaux hydraté	5 270 mg/l
		{	sulfate de magnésium (SO ₄ Mg + H ₂ O)	2 560 mg/l
		{	sulfate de fer (SO ₄ Fe)	40 mg/l
		{	sulfate de manganèse (SO ₄ Mn)	40 mg/l
		{	acetate de zinc	40 mg/l
		{	borax	2 mg/l

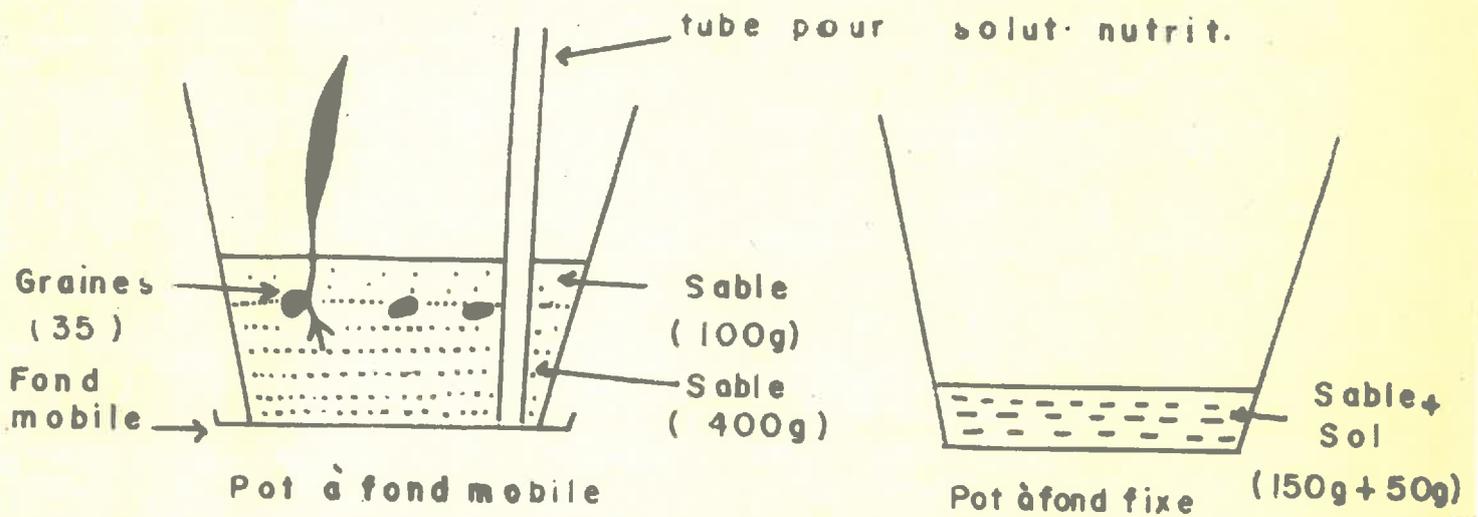
Le ph du mélange où phosphate bicalcique précipite ^{est} 6,7, dont le mélange B1 et B2 se fera au sein du pot.



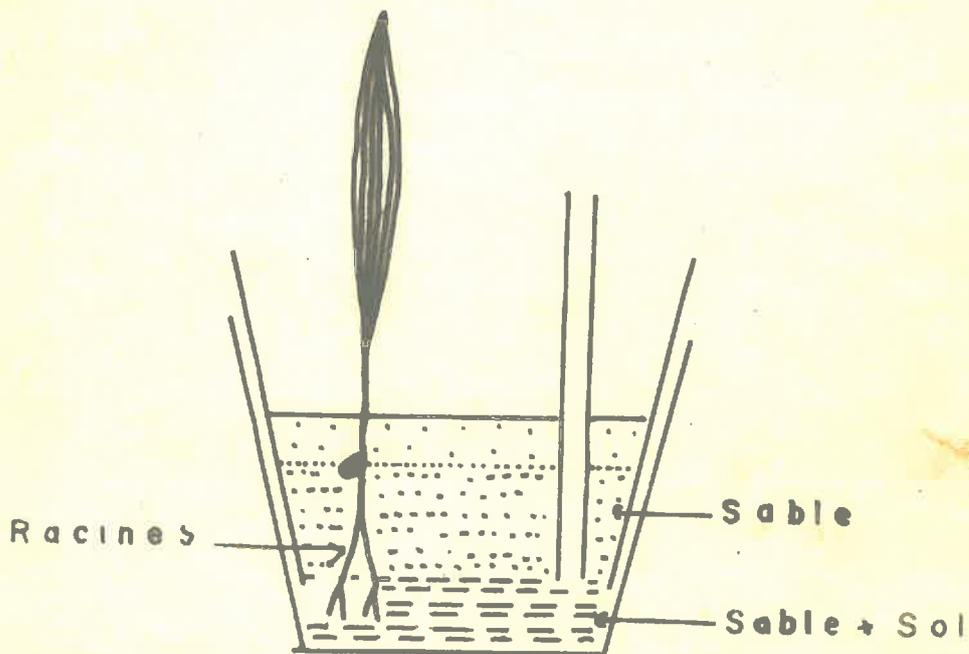
Le 1er pot (à gauche) séparé de son fond (au centre) recevra
le sable pur et le seais.

Le 2e pot (à droite) recevra le mélange sable + sol.

Schéma du Dispositif de Culture



AVANT TRANSFERT



APRES TRANSFERT

On apporte 25 ml de B1 + 25 ml de B2 au moment du semis ; 10 ml de B1 + 10 ml de B2 tous les 1er, 3ème, 5ème, 7ème, 9ème, 11ème, 13ème, 15ème et 17ème jours après le transfert des plantules sur le mélange sable-sol.

Le déficit en eau déterminé par pesée est quotidiennement compensé en tenant compte de la croissance des plantes.

Récolte et analyse :

20 jours après la mise en contact la partie aérienne est récoltée à une hauteur de coupe aussi constante que possible. On sépare le sable pur du mélange sable-sol. On dose le potassium du végétal récolté ainsi que le potassium échangeable du mélange sable-sol après culture.

II 1.22 Modifications apportées à la
méthode QUEMMER - ROLLAND,
par la Station d'Agronomie de
MONTFAVET

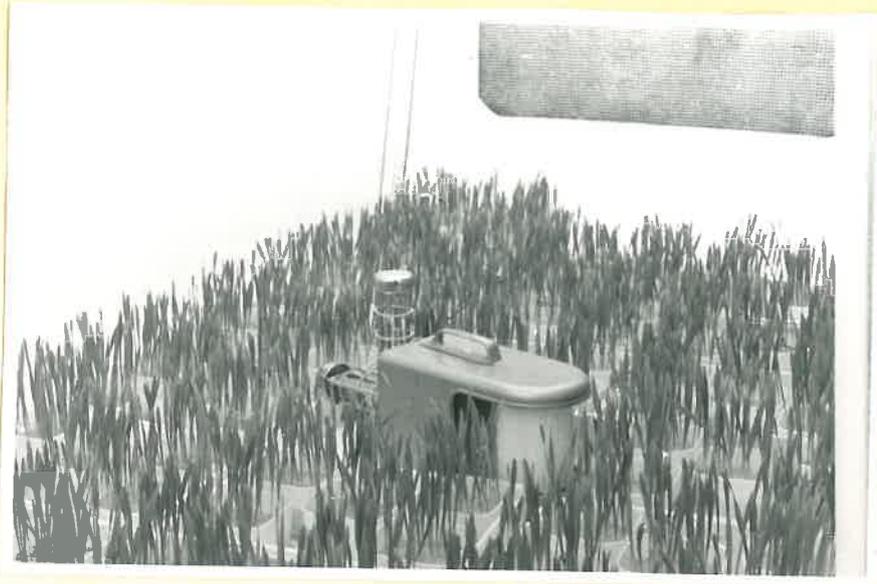
. Le transfert des plants d'orge carencés en potassium sur le mélange sable-sol s'effectue 7 jours après le semis.

. Les sols sont maintenus à la capacité de rétention en eau tout au long de l'essai, une correction étant effectuée chaque jour.

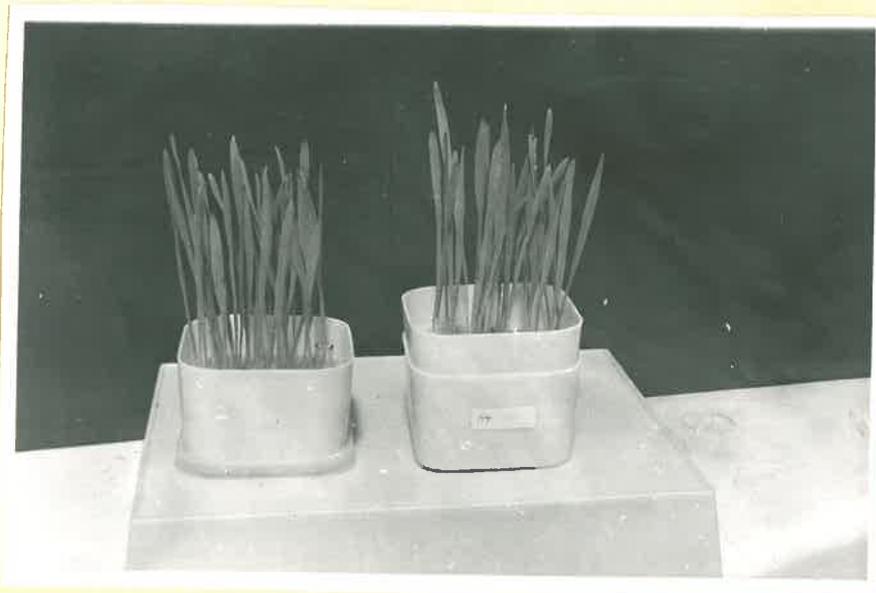
. La dose d'azote est le double de celle indiquée ; des carences en azote ayant été observées lors des essais précédents.

. Le phosphate disodique a été remplacé par le phosphate monosodique pour éviter la précipitation du phosphate bicalcique.

. Les oligo-éléments Cu et Mo sont ajoutés à la solution.



Vue d'ensemble de la culture dans le bloc, 7 jours après le semis



7 jours après semis. Transfert de la culture d'orge sur sol

Composition de la solution utilisée :

{ nitrate de chaux	5 270 mg/l
{ sulfate de magnésium	1 280 mg/l
{ phosphate monosodique	1 040 mg/l
{ oligo - éléments	100 ml pour
{ 10 litres de solution	

Composition de la solution oligo - éléments :

{ acide borique	0,286 g/l
{ chlorure de manganèse	0,181 g/l
{ sulfate de cuivre	0,038 g/l
{ sulfate de zinc	0,022 g/l
{ molybdate d'ammonium	0,0115 g/l
{ l'acide E D D H A technique (5,9% au moins de fer métallique)	1,886 g/l

. La culture est installée dans une enceinte conditionnée pouvant contenir 150 pots (d'où nécessité de répartir l'essai en 2 séries de 120 pots chacune).

. Les conditions de température et d'humidité ont été les suivantes :

1ère série :

28°9 en moyenne pendant le jour et
21°2 en moyenne pendant la nuit.
74 % d'humidité en moyenne pendant le jour et
95 % la nuit.

2ème série :

30°6 en moyenne pendant le jour et
24° en moyenne pendant la nuit.
71 % d'humidité en moyenne pendant le jour et
95 % la nuit.

L'enceinte n'étant pas pourvu de dispositif de réfrigération, on a noté une légère différence entre les moyennes des températures de la série 1 et 2 qui se sont succédé dans le temps.

. L'éclairage dispensé après levée des plants atteint 20 000 lux à 30 cm au-dessus de la table de travail. La durée du jour a été portée à 14 heures.

Prélèvement et analyse :

Les récoltes sont effectuées après 7, 14, et 20 jours de contact plante-sol. Pour chaque sol on effectue 4 répétitions. Les échantillons sont pris au hasard, les sols ayant été préalablement identifiés.

Seules les parties aériennes et les racines contenues dans le sable pur sont récoltées, pesées en sec (degré d'humidité correspondant à une température de 100°C) et analysées.

La récupération des racines développées dans le mélange sable + sol permettrait une estimation du prélèvement supérieure de 2 à 7 % à la précédente. Cette erreur relative étant pratiquement constante, n'a pas d'importance lorsqu'il s'agit de comparer les disponibilités des divers sols (QUEMENER - ROLLAND 1970).

La détermination du potassium échangeable des sols après culture se fait sur chaque pot, après avoir éliminé du sol le sable et les racines. Celle du potassium échangeable avant culture se fait sur un échantillon moyen de sol.

II 2. SOLS A ETUDIER

Les échantillons de sol sont d'origine très diverse. Ils proviennent de l'horizon de surface 0 - 20 cm, de parcelles sur lesquelles sont effectués des essais d'apport d'engrais potassiques de longue durée sur cultures diverses, installés soit par la Société Commerciale des Potasses et de l'Azote (SCPA) en France soit par l'Institut de Recherche d'Agronomie Tropicale (I.R.A.T.) à Madagascar. Les caractéristiques physiques et chimiques sont résumées dans le tableau 1.

Échantillon sable-sol

Sable pur



Prélèvement du végétal.

Le mélange sable-sol maintenu solidaire par les racines, est séparé du reste au couteau.

T A B L E A U 1

S O L S	ROMANS		PONT St MARTIN		SAINTE MARTHE		ABLIS		LE RAFFIDIN	
	Origine		Ouest		Sud Ouest		Centre du Bas. Parisien		Est du B. P.	
	Rt	Rm	Pt	Pm	St	Sm	At	Am	Rat	Ram
teneur en%										
Argile - 2/4	8	7,5	5	5	9	8	15,5	14,5	27,5	28,5
Limon fin (2-20/4)	31	32	18,5	19	25,5	26,5	26	25	28,5	29
Limon grossier (20-50/4)	42,8	42,3	21,5	21,8	39,7	37,2	49,4	49,6	9,4	9,3
Sable fin (50-200/4)	16,8	17	28,8	22,4	18,9	19,9	8,4	8,8	10,8	11,7
Sable grossier (200-2000)	2,2	1,9	32	31,6	7,1	7,3	1	1,1	19,7	18
Calcaire total	0	0	0	0	0	0	0	0	73,4	73,4
Calcaire actif	0	0	0	0	0	0	0	0	25	29
pH eau	6,6	6,5	6,4	6,1	6,3	6,3	6,7	6,7		
pH KCl	6,4	6,2	6,2	5,9	6,1	6	6,5	6,5		
teneur en%										
Matière Org	22,4	21,8	18,4	19,6	14,6	15	27,2	20,8	52,8	57,4
Azote Org.	1,12	1,09	0,92	0,98	0,73	0,75	1,36	1,04	2,64	2,37
K total (g/100g sol)	0,70	0,70	0,88	0,87	1,13	1,10	1,20	1,27	0,29	0,28
Kéchangeable (mg/Kg)	38	90	28	86	44	78	80	184	120	268
K apporté Kg K ₂ O/Ha	0	210§	0	295§	0	160§	0	160§	0	300§

Caractéristiques Physiques et Chimiques des Sols Etudiés.

- t : Echantillons correspondant aux parcelles Témoins
- m : Echantillons correspondant aux parcelles fertilisées
- § : moyenne sur 5 ans

TABLEAU 1 (suite)

S O L S	OZOIR		MARBOEUF		AMBOHIMAN-DROSO		AMPANGADE		MAHITSY	
	Contre		Normandie		Madagascar		Madagascar		Madagascar	
	Ot	Om	Mft	Mfm	Hit	Him	Gt	Gm	Yt	Ym
teneur en%										
Argile -2μ	22,5	23	5	5,5	59	45	26,5	29	19,5	18,5
Limon fin (2-20 μ)	30,5	32,5	28,5	28	11,5	10,5	12,5	10,5	18,5	22
Limon grossier (20-50 μ)	37,8	37,3	52,6	55,4	4,5	5,9	3,9	3,5	7,3	8,1
Sable fin (50-200 μ)	4	4,4	13,2	10,5	6,2	10,9	20,4	20,9	21,0	22,6
Sable grossier (200-2000 μ)	0,6	0,5	0,5	0,3	4,9	5,7	31,2	30,6	24,2	19,6
Calcaire total	Traces		Traces		0	0	0	0	0	0
Calcaire actif	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pH eau	7,5	7,5	7,5	7,6	4,4	4,8	4,9	5,1	5,4	5,3
pH KCl	7,0	7,0	7,3	7,4	4,2	4,2	4,6	4,7	4,8	4,7
teneur en%										
Matière Org.	26,4	27,8	20	19	33,4	56	17,4	18,8	59,6	62,4
Azote Org.	1,32	1,39	1	0,95	1,67	2,8	0,37	0,94	2,48	3,12
K total (100g sol)	1,33	1,37	1,26	1,35	0,06	0,06	0,04	0,04	0,88	0,98
K échangeable (mg/Kg)	144	246	96	106	32	42	16	32	16	32
K apporté (Kg K ₂ O/ha)	0	150	0	270	0	150	0	150		150
		§§				§§		§§		§§

Caractéristiques Physiques et Chimiques des sols étudiés.

t : Echantillons correspondant aux parcelles Témoins
 m : Echantillons correspondant aux parcelles fertilisées.

§§ : apport de 1968

II 3. RESULTATS ET DISCUSSION

II 3.1 Matière végétale produite : (tableau 2)

La quantité de matière végétale produite par pot croît avec le temps de contact sol-plante. On note cependant une différence importante entre les divers échantillons, différence d'autant plus grande que le contact sol-plante augmente. A 7 jours de culture l'écart-type σ_7 est égal à 205 alors que σ_{14} vaut 519 et σ_{20} , 1193. Par ailleurs les coefficients de variation, égaux respectivement à 5,1 %, 5,1 % et 6,5 %, indiquent une participation très faible de l'erreur expérimentale dans les différences observées.

Ces écarts peuvent être le fait :

1° - des teneurs variables en potassium échangeable des sols. Certains d'entre eux (Ram, Om) présentent des taux élevés en potassium échangeable, d'autres des taux très faibles (Rt, Gt, Yt).

Le domaine de validité de la méthode apparaît donc limité aux sols présentant une richesse moyenne en potassium échangeable. Une richesse ~~trop~~ ~~très~~ grande favorise dès le début la nutrition potassique des plants et permet ensuite une plus grande croissance de la végétation. Par contre une teneur ~~trop~~ ~~très~~ faible en potassium échangeable joue le rôle de facteur limitant pour la croissance des plants d'orge. Il serait donc nécessaire de limiter la durée maximale de contact sol-plante à 14 jours. Mais QUEMENER et ROLLAND (Annales Agronomiques 1970) montrant qu'un temps de culture de 20 jours est nécessaire pour différencier les sols dont la teneur en potassium échangeable est supérieure à 200 p.p.m. de sol ; nous donnerons également les résultats obtenus à 20 jours.

Aspect général de la culture



Après 7 jours de
contact sol-plante



Après 14 jours de
contact sol-plante



Après 30 jours de
contact sol-plante

T A B L E A U 2

SOLS	Matière sèche en mg			SOLS	Matière sèche en mg		
	7 j.	14 j.	20 j.		7 j.	14 j.	20 j.
At	1344	1954	2509	Lm	1549	2262	3272
Pt	1410	1940	2517	Pm	1510	2199	2984
St	1334	1860	2337	Sm	1425	2086	2722
Rt	1449	1929	2350	Rm	1419	2185	2767
Rat	1480	2605	3950	Ram	1520	2711	4110
Gt §	1169	1679	1827	Gm §	1246	1867	2136
Hit §	1323	1933	2057	Him §	1340	1813	2112
Mft §	1371	1964	2376	Mfm §	1383	2311	2468
Ot §	1223	1939	2214	Om §	1281	1992	2537
Yt §	1255	1855	2022	Ym §	1359	1846	2156

	7 J.	14 J.	20 J.
Moyenne	1371	2048	2589
Ecart-type	205	519	1193
C.V.	5,1 %	5,1%	6,5 %

Masse Végétale produite, en mg de Matière sèche, par pot.

(§ : sols ayant fait parti de la 2ème série)

2° - Des difficultés de contrôle des conditions expérimentales choisies. On note en effet pour les cultures de la 2ème série (sols marqués d'un astérisque sur le tableau 2) un plus faible développement des racines donc une plus faible exploration des sols par celles-ci par rapport aux cultures de la série 1. Ceci peut résulter de l'augmentation de température constatée dans le bloc de culture insuffisamment réfrigéré au mois d'août.

Cette disparité rend délicate toute comparaison entre sols n'appartenant pas à la même série ; des comparaisons préférentielles devant être dès lors établies entre sols ayant fait parti de la même série.

II 3.2 Potassium exporté à partir du sol par la végétation : (tableau 5)

Les quantités de potassium exportées par les cultures d'orge, exprimées en p.p.m. de sol, augmentent avec le temps de contact sol-plante pour tous les sols de la 1ère série, à l'exception de l'échantillon Pm dont la diminution de la quantité de potassium exporté entre 7 et 14 jours de culture est probablement due à une erreur expérimentale. Pour les sols de la 2ème série, la quantité de potassium exporté chute entre 14 et 20 jours de culture.

Cette dernière constatation à priori inexplicable semble être le fait des difficultés expérimentales que nous n'avons pas eu matériellement le temps d'élucider.

Pour l'ensemble des échantillons étudiés il apparaît une relation entre la quantité de potassium exporté et la teneur en potassium échangeable initial du sol. Calculé pour l'ensemble des sols à 14 jours de culture le coefficient de corrélation entre la quantité de potassium exportée à partir du sol et le potassium échangeable initial a pour valeur :

T A B L E A U 3

SOLS	K exporté en p.p.m. de sol.			SOLS	K exporté en p.p.m. de sol.		
	7 jours	14 j.	20 j.		7 j.	14 j.	20 j.
At	74	88	105	An	197	212	242
Pt	48	62	66	Pm	100	90	119
St	60	67	66	Sm	92	94	116
Rt	65	64	70	Rm	101	114	114
Rat	206	237	266	Ram	257	310	307
Gt	34	51	9	Gm	55	61	34
Hit	40	54	52	Him	49	54	45
Mft	81	87	95	Mfm	101	128	92
Ot	73	93	84	Om	122	185	159
Yt	22	44	13	Ym	30	44	8

Exportation de potassium par la culture en fonction

du temps.

K exprimé en p.p.m. de sol.

$$r = 0,90$$

et la droite de régression pour équation :

$$K \text{ exporté} = 0,935 \times K_e \text{ initial} + 25,37 \quad (\text{Fig. 1})$$

Calculé sur les 10 sols de la 1ère série à 20 jours de culture, le coefficient de corrélation a pour valeur : $r = 0,91$ et la droite de régression :

$$K \text{ exporté} = 1,25 K_e \text{ initial} + 13,30 \quad (\text{Fig. 2})$$

Plusieurs échantillons présentent cependant des écarts sensibles (Rat Fig. 1), mais la relation entre les valeurs devient très étroite pour les sols de même origine (St et Sm, At et Am) fig 7

L'examen de la progression des exportations de potassium en fonction du temps de culture montre une absorption relative du potassium élevée surtout en début de culture. Après 7 jours de contact sol-plante, tous les plants d'orge ont extrait du sol une quantité de potassium supérieure ou égale à 70 % de la quantité maximale extraite.

Suivant la nature des sols, ce taux est plus ou moins élevé (70 % pour At, 93 % pour St).

II 3.3 Exportation du potassium en fonction des besoins de la culture :

La comparaison entre les quantités de matières sèches produites et les quantités de potassium extraites à partir du sol montre que pour l'ensemble des échantillons étudiés excepté Yt, le rythme d'extraction du potassium par le végétal en début de culture est supérieur à celui de la production de matière sèche.

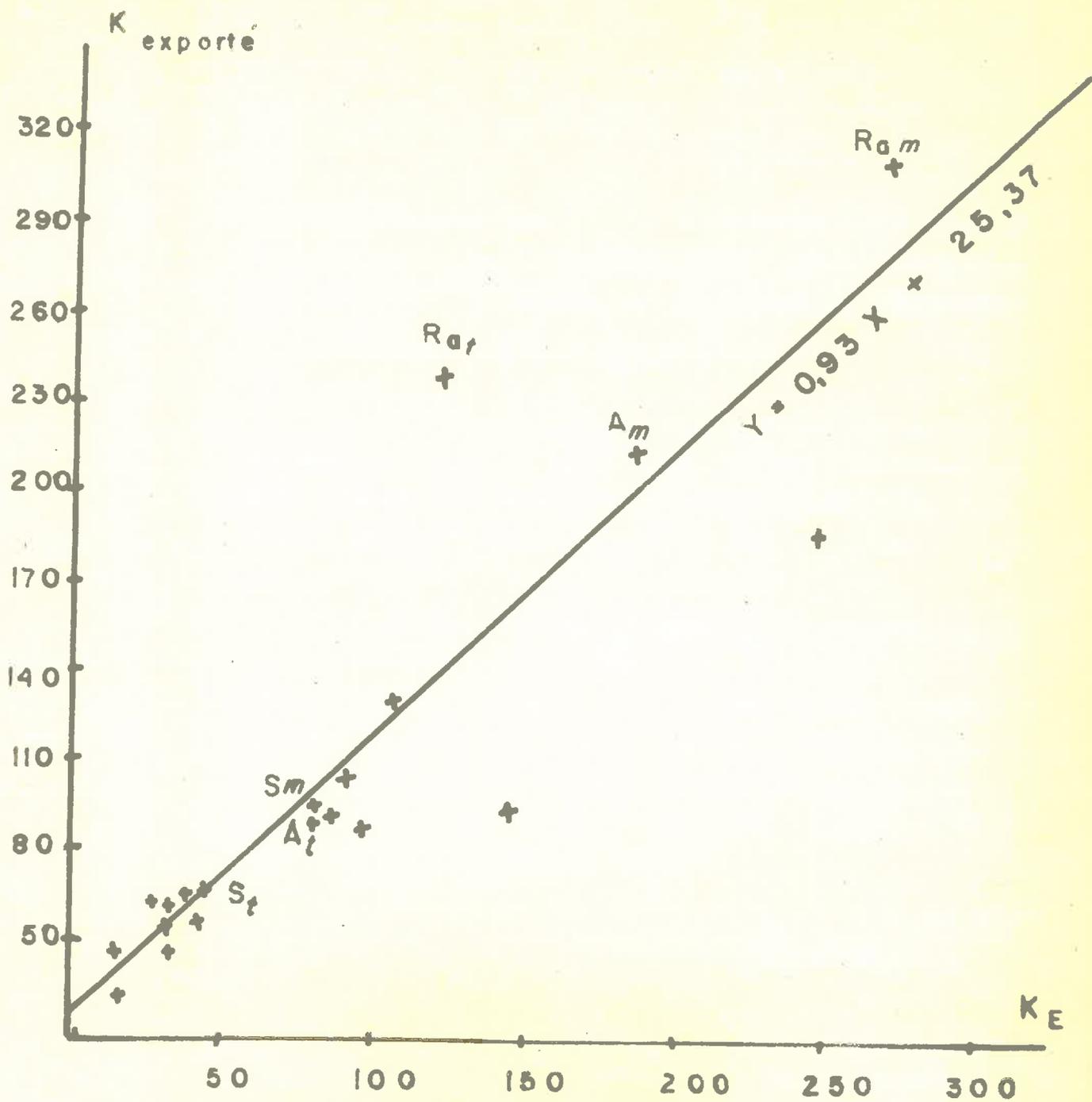


Fig 1 K exporté en [4] de culture en fonction de K échangeable initial (K exprimé en p.p.m. de sol)

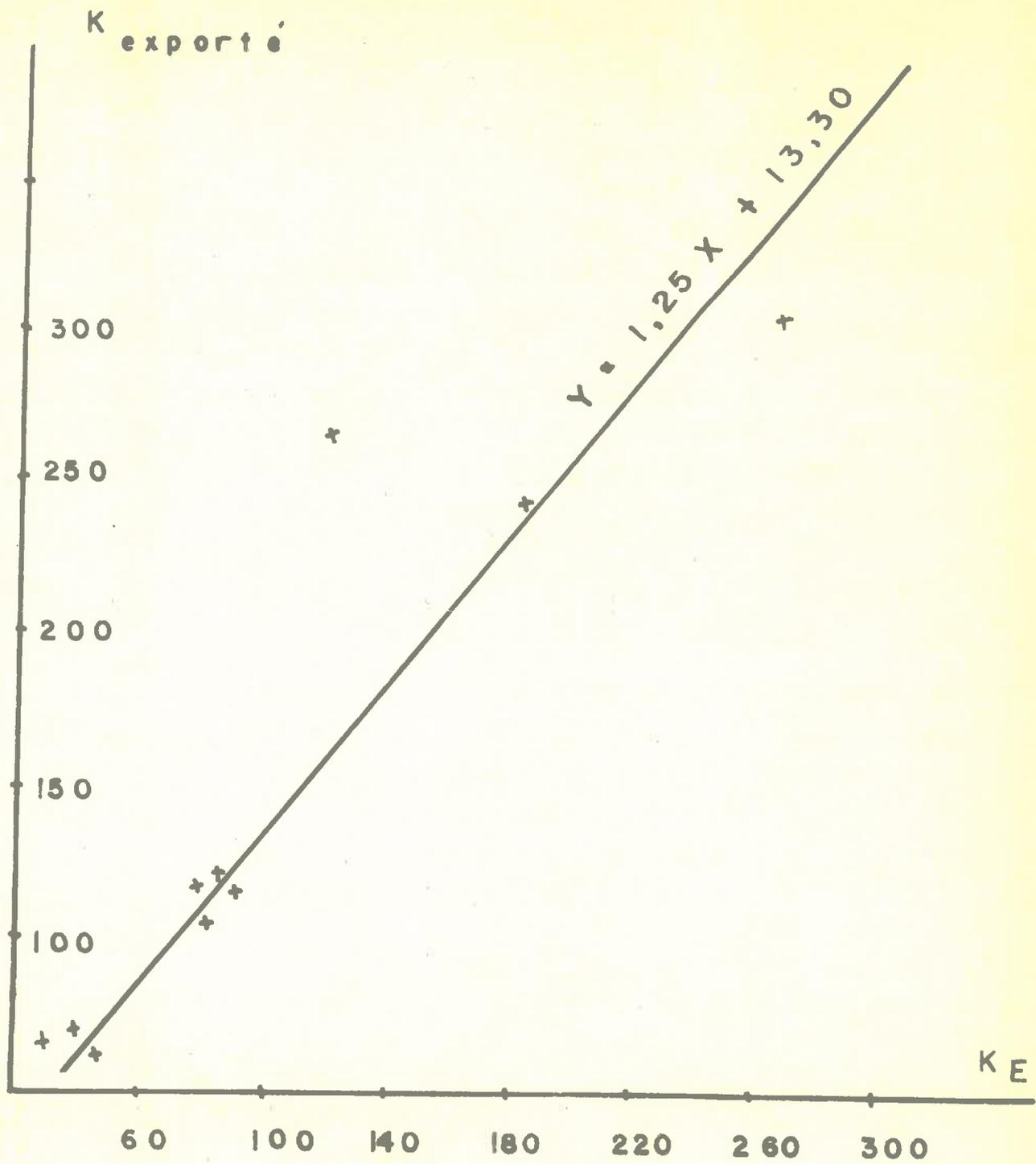


Fig 2 K exporté en 20j de culture en fonction de K éch. initial (K exprimé en ppm de sol)

La différence est plus ou moins accusée suivant la nature des sols. Ainsi pour l'échantillon Ram au bout de 7 jours de culture 37 % de la matière sèche totale produite ont disposé de 83 % de la quantité totale de potassium exporté à partir du sol. Par contre en fin de culture, au dernier tiers de la quantité de matière sèche produite correspond une quantité de potassium extraite nulle.

Ce sol met donc le potassium immédiatement à la disposition de la plante sans tenir compte des besoins réels de celle-ci ; d'où cette consommation importante en début de culture et nulle en fin de culture.

Inversement pour le sol Et le rythme d'extraction du potassium en début de culture est inférieur au rythme de croissance : 50 % du total du potassium exporté à partir du sol contre 62 % du total de la matière sèche formée. Ce sol libère donc le potassium plus régulièrement que le précédent.

Pour une exportation maximale comparable Pt et St, Bat et An on *remarque* que les sols qui libèrent les plus fortes quantités de potassium en début de culture sont ceux qui présentent un taux de potassium échangeable initial plus élevé.

L'étude des quantités de potassium exportées en fonction du temps de culture et de la matière sèche montre que le potassium libérable et son rythme de libération dans un échantillon de sol dépendent non seulement de sa teneur en potassium initialement échangeable mais aussi de son aptitude à mobiliser des réserves de potassium non initialement échangeable. L'exportation maximale réalisé par la culture sur certains sols pouvant être très supérieure au potassium initialement échangeable ne paraît pas toujours suffisante pour caractériser l'aptitude d'un sol à libérer du potassium.

Elle ne permet pas d'apprécier l'état potassique après culture, donc ses possibilités ultérieures de libération, en particulier pour les sols où l'exportation se traduit principalement par une baisse de la teneur en potassium échangeable.

L'analyse de l'évolution des différentes formes de potassium disponibles dans les sols, et leurs relations en fonction de l'exportation réalisée par la culture, devraient permettre d'apprécier leur aptitude respective à assurer l'alimentation potassique des récoltes.

II 3.4 Evolution des différentes formes de potassium disponible dans le sol

II 3.41 Potassium échangeable (tableau 4)

On observe en général une chute de la teneur du sol en potassium échangeable en cours de culture. Seul l'échantillon Yt a montré une augmentation de teneur en potassium échangeable au cours de cet essai.

Pour des sols de même origine, à l'exception de Hit et de Mft, la perte relative en potassium échangeable est d'autant plus accusée que la teneur en potassium échangeable initial est plus élevée. Ainsi après 20 jours de culture l'échantillon Pm perd 64 % de son potassium échangeable initial alors que l'échantillon Pt n'en perd que 18 % ; de même l'échantillon Ram en perd 72 % contre 42 % pour l'échantillon Rat. Mais pour des sols d'origine différente la diminution de la teneur du potassium échangeable initial est caractéristique à chaque échantillon. Ainsi après 20 jours de culture les échantillons Ram et Gm perdent 72 % de leur potassium échangeable initial alors que l'échantillon Om n'en perd que 45 %.

T A B L E A U 4

SOLS	Ke exprimé en p.p. n. de sol			SOLS	Ke exprimé en p.p.m. de sol		
	7 j.	14 j.	20 j.		7 j.	14 j.	20 j.
At	13	32	22	Am	75	102	103
Pt	-1	13	5	Pm	41	62	55
St	13	22	16	Sm	33	48	44
Rt	8	24	15	Em	46	62	53
Rat	23	62	51	Ram	167	204	194
Gt	5	6	6	Gm	24	17	23
Hit	21	20	25	Him	26	24	27
Mft	39	52	62	Mfm	43	62	67
Ot	24	45	46	Om	76	108	112
Yt	-4	-5	-1	Ym	7	7	14

Variation du K échangeable du sol en cours de culture.

$$\underline{Ke} = \underline{Ke \text{ initial}} - \underline{Ke \text{ après culture}}$$

T A B L E A U 5

SOLS	Kne en p.p.m. de sol			SOLS	Kne en p.p.m. de sol		
	7 j.	14 j.	20 j.		7 j.	14 j.	20 j.
At	61	56	83	Am	122	110	139
Pt	49	49	61	Pm	59	28	64
St	47	45	50	Sm	59	46	72
Rt	55	40	55	Rm	55	52	61
Rat	183	175	215	Ram	90	106	113
Gt	29	25	3	Gm	31	44	11
Hit	19	34	7	Him	23	30	18
Mft	42	35	33	Mfm	58	66	25
Ot	49	48	38	Om	46	77	47
Yt	26	49	14	Ym	23	37	-6

K non initialement échangeable libéré en cours de
culture.

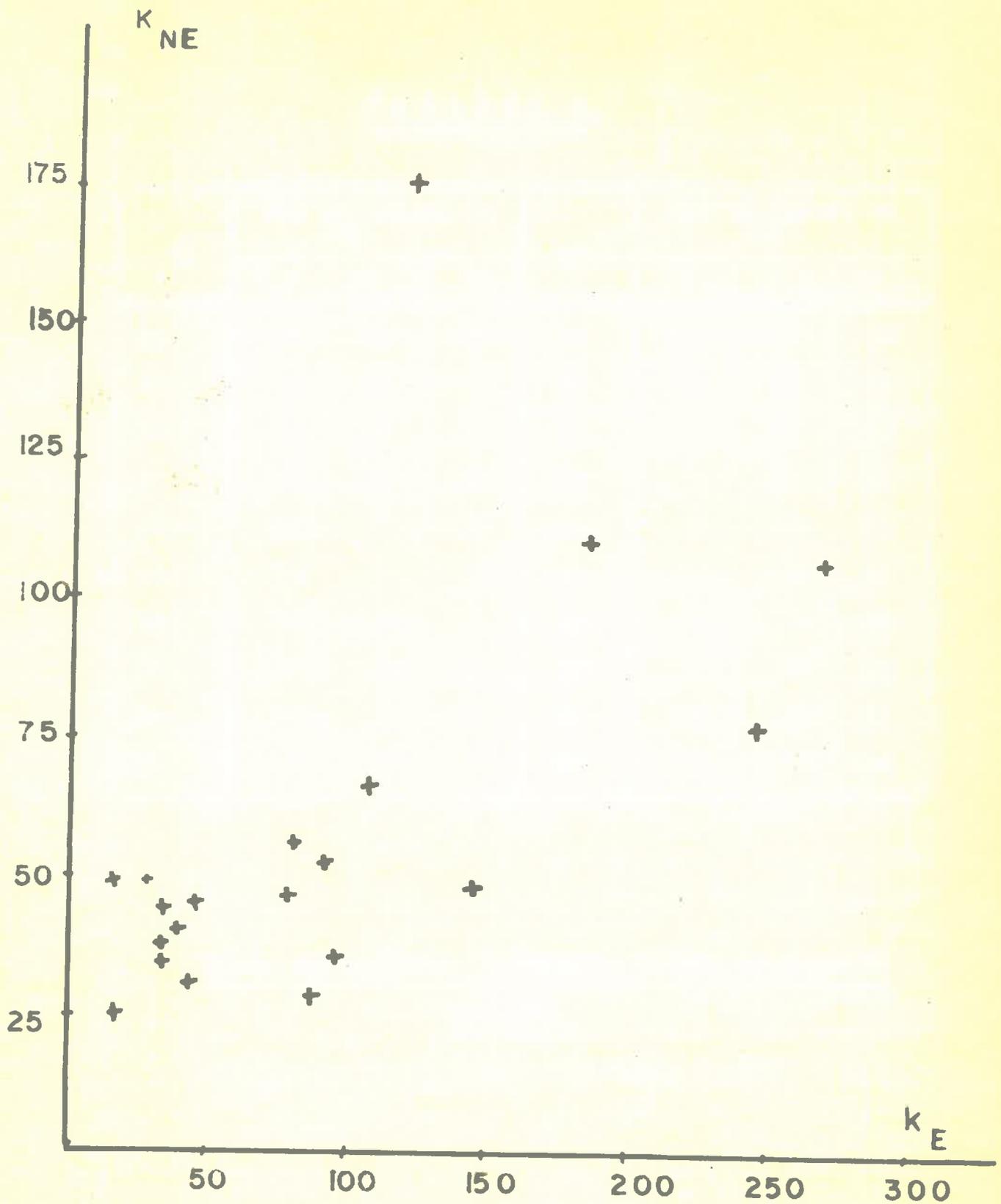


Fig 3 K_{non} initialement échangeable libéré après 14j de culture en fonction du K échange. initial (K exprimé en ppm de sol)

II 3.42 Potassium non initialement échangeable libéré : (tableau 5)

Les quantités apparentes de potassium non initialement échangeable (Kne) libérées sont calculées par différence entre le potassium exporté à partir du sol par la culture d'orge et la diminution du potassium échangeable subie par le sol en cours de culture.

Les quantités ainsi libérées sont très variables suivant le type de sol et le temps de contact sol-plante et indépendantes de la teneur en potassium échangeable initial. (Fig. 3)

En général la quantité maximale libérée est obtenue après 20 jours de culture pour les sols de la 1ère série et après 14 jours pour les sols de la 2ème série.

Certains sols présentent un rythme de libération très élevé en début de culture, ainsi après 7 jours de culture l'échantillon St a libéré 94 % de la quantité maximale de potassium non échangeable libérée dans les conditions de l'essai, les échantillons Gt et Ot, 100 %. D'autres ont un rythme de libération beaucoup plus régulier tel que l'échantillon Yt qui libère 53 % de la quantité maximale libérée au cours de l'essai, pendant les 7 premiers jours de culture et 47 % pendant les suivants.

On remarque par ailleurs, à l'exception de Ram et de Ym, qu'il y a augmentation de la quantité globale de potassium non échangeable libérée dans les parcelles enrichies par rapport aux témoins.

T A B L E A U 5

SOLS	Kne en p.p.m. de sol			SOLS	Kne en p.p.m. de sol		
	7 j.	14 j.	20 j.		7 j.	14 j.	20 j.
At	61	56	83	Am	122	110	139
Pt	49	49	61	Pm	59	28	64
St	47	45	50	Sm	59	46	72
Rt	55	40	55	Rm	55	52	61
Rat	183	175	215	Ram	90	106	113
Gt	29	25	3	Gm	31	44	11
Hit	19	34	7	Him	23	30	18
Mft	42	35	33	Mfm	58	66	25
Ot	49	48	38	Om	46	77	47
Yt	26	49	14	Ym	23	37	-6

K non initialement échangeable libéré en cours de culture.

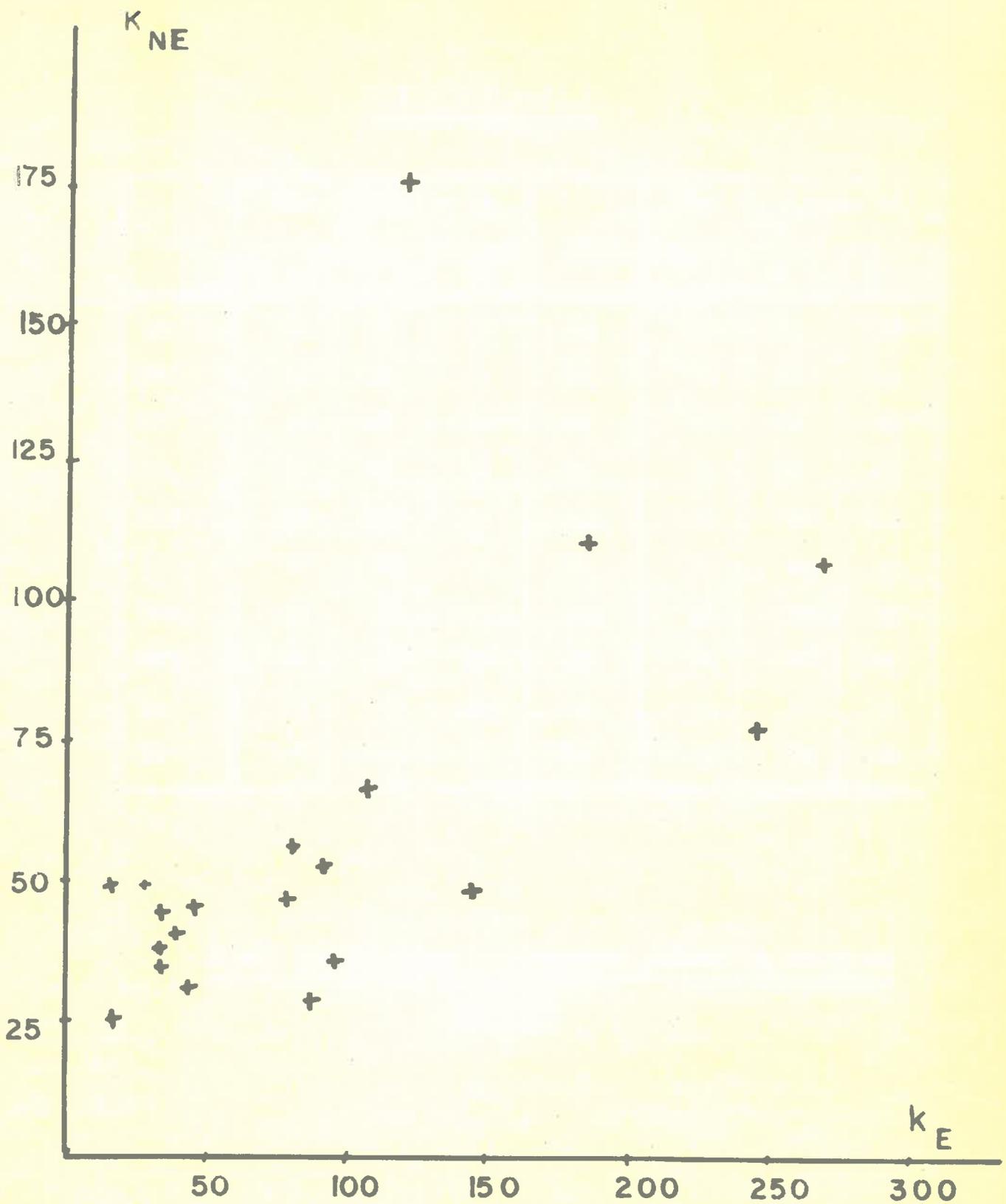


Fig 3 K_{non} initialement échangeable libéré après 14j de culture en fonction du K échange. initial (K exprimé en ppm de sol)

II 3.43 Mobilisation comparée du potassium échangeable et du potassium non initialement échangeable (tableau 6)

Les sols Mft et At (Fig. 4) illustrent 2 types de comportement potassique très différents pour des exportations comparables.

Dans le sol Mft le potassium échangeable intervient pour une part importante dans l'exportation (65,3 % de l'exportation après 20 jours de culture). Inversement dans le sol At, c'est le potassium non initialement échangeable libéré qui intervient pour une part importante dans l'exportation. (70 % de l'exportation après 20 jours de culture).

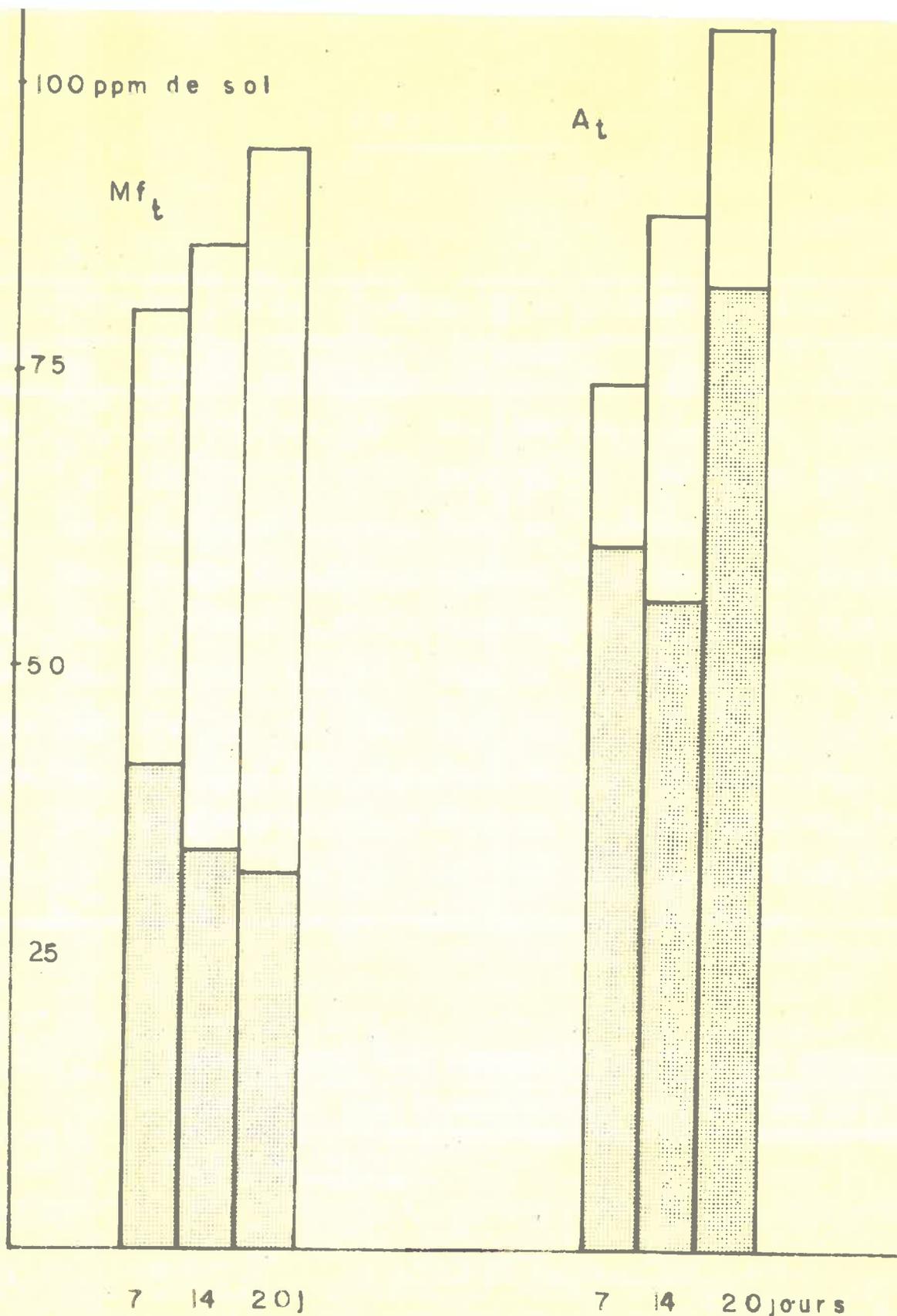
Ainsi après 20 jours de culture et pour une exportation maximale comparable (95 p.p.m. pour Mft ; 105 p.p.m. pour At) la nouvelle teneur de Mft, en potassium échangeable est inférieure à celle de At : 34 p.p.m. contre 58 alors qu'avant culture c'était l'inverse : 96 p.p.m. contre 80.

Les échantillons Hit et Ot présentent un comportement potassique voisin de celui de Mft ; avec cependant pour le sol O une augmentation de la teneur en potassium échangeable de la parcelle enrichie par rapport au témoin supérieure à celle du sol Mf. Par contre tous les autres sols étudiés se comportent comme At. Par ailleurs, on remarque dans les échantillons provenant de parcelles enrichies ^{qui} la participation du potassium échangeable dans l'exportation est relativement supérieure à celle provenant des parcelles témoins. Mais pour chaque sol à l'exception de Ram et Om, elle reste inférieure à celle du potassium non échangeable libéré, en pour cent de l'exportation.

T A B L E A U 6

SOLS	7 jours		14 j.		20 j.		SOLS	7 jours		14 j.		20 j.	
	Ke	Kne	Ke	Kne	Ke	Kne		Ke	Kne	Ke	Kne	Ke	Kne
At	17,6	82,4	36,4	63,6	21	79	Am	38,1	61,9	48,1	51,9	42,6	57,4
Pt	0	100	21	79	7,6	92,4	Pm	41	59	68,9	31,1	46,2	53,8
St	21,7	78,3	32,8	67,2	24,2	75,8	Sm	35,9	64,1	51,1	48,9	37,9	62,1
Rt	12,7	87,3	37,5	62,5	21,4	78,6	Rm	45,5	54,5	54,4	45,6	46,5	53,5
Rat	11,2	88,8	26,2	73,8	19,2	80,6	Ram	65,0	35,0	65,8	34,2	63,2	36,8
Gt	14,7	85,3	19,3	80,7	66,7	33,3	Gm	43,6	56,4	27,9	72,1	67,6	32,4
Hit	52,5	47,5	37	63	78,1	21,9	Him	53	47	44,4	55,6	60	40
Mft	48,1	51,9	59,8	40,2	65,3	34,7	Mfm	42,5	57,5	48,4	51,6	72,8	27,2
Ot	32,8	67,2	48,3	51,7	54,7	45,3	Om	62,3	37,7	58,4	41,6	70,4	29,6
Yt	0	100	0	100	0	100	Ym	23,3	76,7	15,9	84,1	100	0

Participation du K échangeable et du K non initialement
échangeable dans l'exportation, en pour cent du K expor-
té par la culture.



 ΔK_E
 K_{NE} libéré

Fig. 4

ΔK échangeable et K_{non} initialement échangeable libéré pour les exportations obtenues à 7-14-20j de culture

Pour mieux apprécier la tendance des sols à libérer du potassium non initialement échangeable on peut se placer différents niveaux d'exportation réalisés par la culture d'orge, chaque niveau étant identique pour tous les sols ; ou alors se placer pour chaque sol à un niveau d'exportation égal à leur teneur respective en potassium échangeable initial afin que tous les sols soient ramenés à un même état d'équilibre potassique. Compte-tenu de l'exportation du potassium en fonction du temps et de la participation relative des 2 formes disponibles dans l'exportation à 7, 14 et 20 jours de culture, nous avons calculé leur part respective aux différents niveaux d'exportation où nous sommes placés. Pour le premier cas, nous avons arbitrairement choisi un niveau d'exportation égal pour tous les sols à 63 p.p.m. Les résultats sont illustrés par la figure 5. (tableau 7)

Par souci de clarté, seuls les sols de la 1ère série sont représentés sur la figure 5.

On constate que dans les 2 cas (niveau d'exportation identique pour tous les sols ; et niveau d'exportation égal pour chaque sol à son potassium échangeable initial) ces sols manifestent toujours une forte tendance à libérer du potassium non initialement échangeable.

Dans le 1er cas, où l'exportation est égale à 63 p.p.m. pour tous les sols, on a le classement suivant : Rat, Rt, At, Pt et St ; l'aptitude à la libération du potassium décroissant de gauche à droite.

Dans le 2ème cas, où tous les sols se trouvent dans un même état d'équilibre potassique, le classement est quelque peu modifié : Pt, Rat, Rt, St et At.

T A B L E A U 7

SOLS	Kéchang. initial (p.p.m.)	Ke	Kne	Ke	Kne
At	80	25,6	74,4	14,9	85,1
Pt	28	0	100	16,6	83,4
St	44	15,9	84,1	26,4	73,6
Rt	38	7,6	92,4	12,7	87,3
Rat	120	6,5	93,5	3,4	96,6
Gt	16	6,9	93,1	Exportation maximale inférieure à 63 p.p.m.	
Hit	32	42	58		
Mft	96	Exportation maxi. inférieure 96 ppm		37,4	62,6
Ot	144	Exportation maxi. inférieure à 144 ppm		0 28,3	100 72,7
Yt	16	0	100	Exportation maxi- male inférieure à 63 p.p.m.	

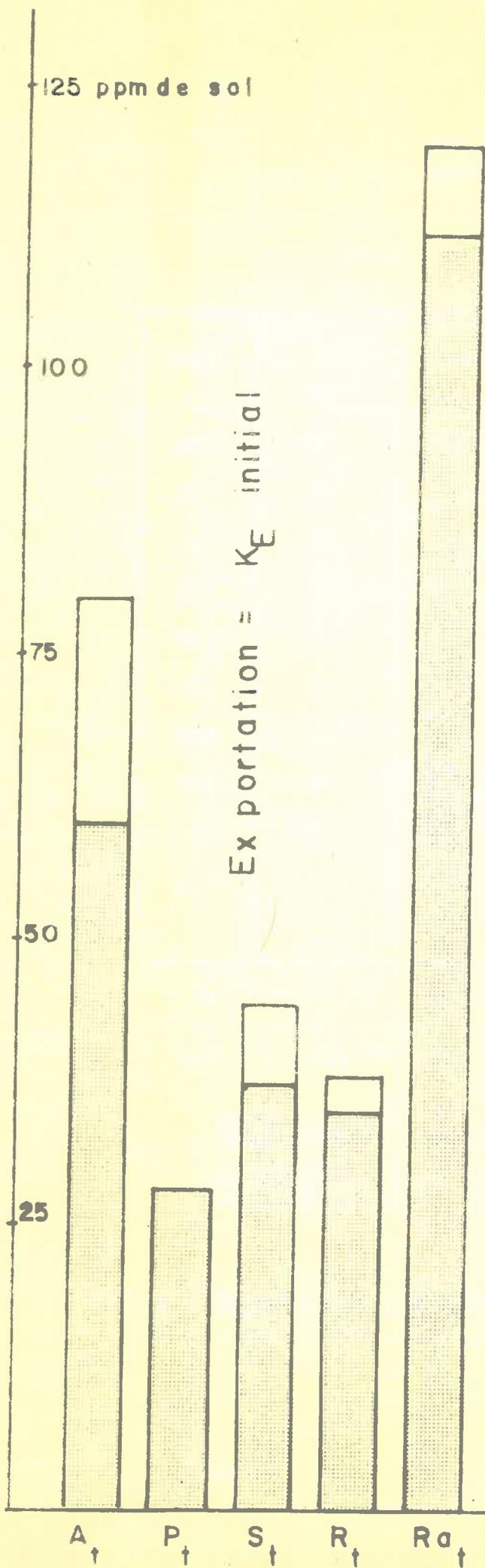
- A -

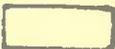
- B -

Participation du K échangeable et du K non initialement
échangeable dans l'exportation en pour cent du K exporté.

A : Exportation = K échangeable initialement

B : Exportation = 63 p.p.m. de sol.



 ΔK échang.

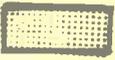
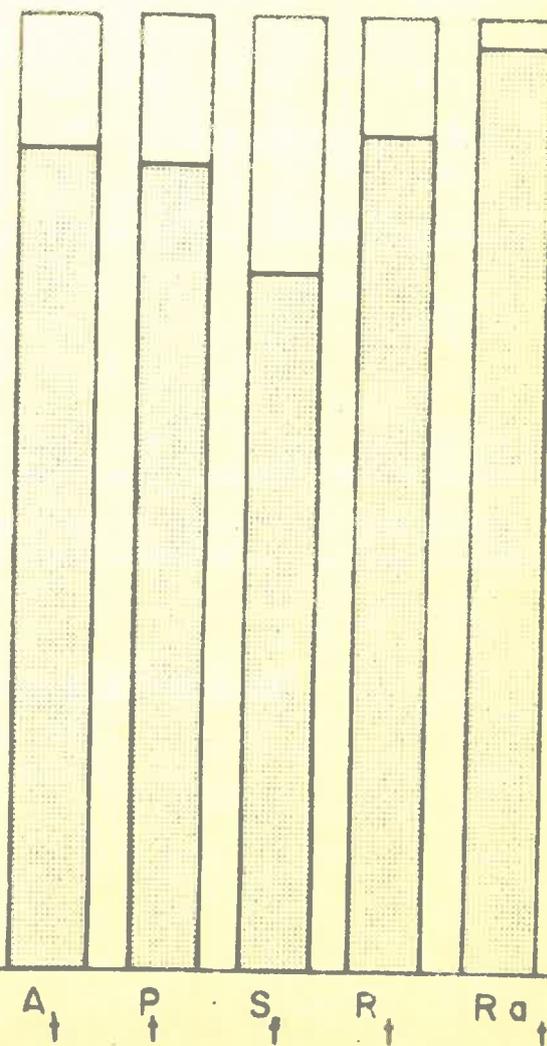
 K_{NE} libéré

Fig 5 Importance comparée du K_E et du K_{NE} libéré dans le K exporté

Exportation = 63 ppm de sol



De la comparaison des 2 classement, on peut en déduire que la libération est relativement d'autant plus grande pour un type de sol que l'exportation est limitée. Ainsi pour une exportation fixée à 63 p.p.m. le sol Rat libère relativement plus de potassium que le sol St et c'est l'inverse qui se produit quand l'exportation est fixée respectivement à leur potassium échangeable initial. Ceci montre que le sol Pt a une réserve potassique plus mobile que celle du sol Rat mais quantitativement plus faible.

L'analyse de l'importance comparée du potassium échangeable et du potassium non échangeable initialement dans le potassium mobilisé par la culture peut donc permettre de juger l'aptitude des sols à libérer des réserves dont l'amplitude et la mobilité déterminent la quantité globale de potassium susceptible d'être mise à la disposition de la récolte ; celle-ci étant égale à la somme du potassium échangeable initial et du potassium non initialement échangeable libéré. Pour une exportation comparable plus le rapport

$$R = \frac{\left(\begin{array}{c} \text{K échangeable initialement} \\ + \\ \text{K non échangeable libéré} \end{array} \right)}{\text{K exporté}}$$

est grand, plus les possibilités de fourniture de potassium du sol seront assurées pour une période longue. C'est le cas du sol Rat par rapport au sol Pt pour lesquels le rapport R vaut respectivement 2,86 et 1,27 pour une exportation identique et égale à 63 p.p.m. (tableau 8).

Ainsi après l'examen des divers paramètres caractérisant l'ensemble des échantillons (K exporté,

K échangeable, K_{ne} libéré) nous aboutissons au classement résumé dans le tableau 9.

T A B L E A U 8

Echan- tillons	Ke initial (en ppm)	Kne li- béré pour une expor- tation globale de 63ppm	"Pool K" Ke initial + Kne libéré	$R = \frac{Ke_i + Kne_{libéré}}{K_{Exporté}}$
At	80	53,6	133,6	2,12
Pt	28	52,5	80,5	1,27
St	44	46,3	90,3	1,43
Rt	38	54,9	92,9	1,47
Rat	120	60,8	180,8	2,86
Mft	96	39,4	135,4	2,14
Ot	144	45,8	189,8	3,01

Importance de la masse globale de K susceptible d'être
mise à la disposition de la plante par rapport à la
quantité de K effectivement exportée égale ici à 63 p.p.m.

T A B L E A U 9

tendance à libérer Kne Exportation maximale	Forte	Moyenne	Faible
Forte	Rat	Am	Ram Om
Moyenne	At	Mft - Ot - Pm - Sm - Rm - Mft -	
Faible	Rt - St - Pt - Gt - Yt - Ym -	Hit - Gm - Him -	

Classement des différents échantillons étudiés, d'après leur comportement potassique d'après le test de culture de STANFORD - DE MENT

Nous distinguons 2 groupes très caractéristiques : le groupe I, représenté par l'échantillon Rat qui se caractérise par une réserve extrêmement mobile et quantitativement importante. Et le groupe III, représenté par les échantillons Et, St, It, Gt, Yt et Xa, qui se caractérise par une réserve extrêmement mobile mais quantitativement très faible.

Tous les autres échantillons étudiés peuvent être rassemblés dans un groupe II, intermédiaire entre les précédents.

Pour le groupe I, tout se passe comme si le potassium échangeable était soit peu utilisé par la plante, soit constamment renouvelé à partir des réserves.

Pour le groupe III dont la teneur en potassium est généralement faible, tout se passe comme si la quantité globale de potassium disponible était faible. Elle constitue dès lors un facteur limitant pour la culture dès son implantation.

Pour le groupe II, le potassium échangeable et le non initialement échangeable libéré participe d'une façon équivalente à l'exportation.

II 4. RELATION ENTRE LA REPONSE DES SOLS ETUDIES AUX APPORTS POTASSIQUES EN CULTURE DE PLEIN CHAMP ET LES RESULTATS OBTENUS PAR LE TEST DE CULTURE DE STANFORD - DE MENT.

II 4.1 Réponse des sols aux apports d'en gras potassiques en plein champ :

A partir des comptes-rendus des essais d'apport d'engrais potassiques effectués d'une part par la Société Commerciale des Potasses et de l'Azote en France, depuis 1963, et d'autre part par l'Institut

de Recherche d'Agronomie Tropicale à Madagascar, nous avons résumé dans le tableau 10 la réponse des sols considérés aux apports d'engrais potassiques.

Etant donné que les sols portent des cultures très diverses, il est difficile d'établir une comparaison entre eux. Toutefois en considérant la même culture, quand c'était possible, nous avons établi un classement en fonction de l'intensité des réponses.

Nous distinguons 4 groupes de sol :

- 1) Réponse très fortement positive (sols : R, P, S
et Hi)
- 2) Réponse fortement positive (sols : A et G)
- 3) Réponse moyennement à faiblement positive
(sols : O et Mf)
- 4) Réponse nulle (sols : Ra et Y)

II 4.2 Comparaison entre le classement obtenu par le test de culture et celui obtenu par la réponse au champ :

En comparant les différents types de comportements potassiques auxquels nous avons abouti d'après le test de culture (tableau 9) et le classement établi dans le paragraphe précédent, nous constatons les faits suivants :

Les types de sol qui ont des comportements potassiques différents d'après le test de culture, tels que Ra, A, P et Mf répondent également de façon différente aux apports d'engrais potassiques. Par contre, les types de sol qui ont un comportement potassique semblable d'après le test de culture tels que R, P et S d'une part, O et Mf d'autre part, répondent de façon identique aux apports d'engrais potassiques.

Font exception à cette règle, les sols de Madagascar Y et Hi. La réponse très forte du sol Hi dont le comportement potassique d'après le test de culture est voisin de celui de Mf, a été constatée sur maïs.

T A B L E A U 10

Echantil- lons	Réponse	
ROMANS - R -	Réponse très fortement positive sur prairie temporaire	+++++
PONT ST- MARTIN - P -	Réponse très fortement positive sur prairie temporaire	+++++
ABLIS - A -	Réponse fortement positive sur Maïs Réponse moyenne sur céréales	+++ +++
STE MARTHE - S -	Réponse très fortement positive sur pomme de terre et maïs	+++++
LE RAFIDIN - Ra -	Réponse nulle sur céréales	
OZOIR - O -	Réponse moyennement positive sur maïs Réponse faiblement positive sur céréales	+++ ++
MARBOEUF	Réponse faiblement positive sur plantes sarclées Réponse nulle sur céréales	++
AMBOHIMAN- DROSO - Hi -	Réponse très forte sur maïs	+++++
AMPANGABE - G -	Réponse fortement positive sur maïs	++++
MAHITSY - Y -	Réponse nulle sur riz	

Réponse des sols étudiés aux apports d'engrais potassiques
en culture de plein champ.

On peut penser qu'à la suite de cette culture qui a effectivement bénéficié de l'apport d'engrais potassique, sur la parcelle enrichie, il s'est produit un lessivage important qui a entraîné une perte de potassium dans le sol. Le sol Him a été ainsi ramené à un niveau potassique peu différent de celui du sol Hit d'où leur comportement potassique identique d'après le test de STANFORD - DE LENT.

La réponse nulle du sol Y dont le comportement potassique d'après le test de culture se rapproche de celui du groupe R, S, P, a été constatée sur riz. Or cette culture exporte très peu de potassium : 20 Kgs de potassium/ha/an avec restitution des pailles (Mme HUGUET). On peut penser que le riz trouve suffisamment de potassium dans la parcelle témoin pour donner un rendement élevé, d'où la réponse nulle enregistrée.

CONCLUSION :

Une relation semble exister entre la réponse des sols étudiés, aux apports d'engrais potassiques en culture de plein champ et les résultats obtenus par le test de culture de STANFORD - DE LENT. Mais l'extrapolation des résultats obtenus en pots de végétation aux cultures de plein champ exige une grande prudence, car la réponse au champ dépend non seulement du type de sol mais aussi de la culture et des conditions dans lesquelles elle s'effectue.

Dans le test de culture de STANFORD - DE LENT tous les sols sont soumis dans les mêmes conditions à la même culture, donc à la même demande potassique, des comparaisons sont alors possibles. Mais en plein champ les cultures et les conditions de culture, donc la demande potassique, variant d'un sol à l'autre, les résultats obtenus peuvent être différents des conclusions auxquelles on aboutit par le test de culture.

Une amélioration de la méthode serait peut-être à chercher dans ce sens.

CONSLUSION GENERALE

La disponibilité des sols en potassium pour la végétation est sous la dépendance d'un certain nombre de facteurs liés au sol, à la plante et aux relations sol-plante.

L'aptitude d'un sol à alimenter en potassium une récolte peut être étudiée au moyen du test de STANFORD - DE MENT. Celui-ci permet d'apprécier la masse globale de potassium échangeable ou non, immédiatement disponible pour la végétation ; la dynamique relative de libération des 2 états du potassium disponible du sol et le devenir potassique d'un échantillon de sol après culture.

Les résultats obtenus montrent cependant que dans les sols très riches, ou très pauvres en potassium échangeable, il est difficile de préciser les conditions de mobilisation des réserves potassiques susceptibles d'intervenir à moyen terme dans l'alimentation de la plante. La mobilisation de ces réserves exigerait dans le cas des sols très riches une prolongation du temps de contact sol-plante incompatible avec le principe de la méthode. Dans le cas des sols très pauvres, un déficit d'alimentation potassique peut dès le départ de la culture constituer un facteur limitant de la croissance des plantes.

A N N E X E

PRINCIPE DES METHODES D'ANALYSE UTILISEES

Nous nous bornerons à indiquer le principe des méthodes d'analyse que nous avons utilisées :

I ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Le principe est fondé sur la loi de STOKES qui régit la vitesse de sédimentation des particules en suspension.

L'obtention de la suspension aqueuse de sol est précédée d'une attaque de la matière organique par de l'eau oxygénée (à froid puis à chaud) et d'une dispersion des colloïdes par l'hexamétaphosphate de sodium en milieu ammoniacal.

Le prélèvement des différentes particules en suspension (argile, argile + limon) se fait à l'aide de la pipette de Robinson, celui des sables se fait après lavage, séchage et tamisage.

II DOSAGES CHIMIQUES

II 1. Calcaire :

II 1.1 Calcaire total

Détermination volumétrique faite au calcimètre de BERNARD. On compare le volume du CO_2 dégagé sous l'action d'un acide fort par un poids donné de terre à celui qu'on obtient dans les mêmes conditions de température et de pression avec du CaCO_3 pur.

II 1.2 Calcaire actif

.. Méthode DROUINEAU -

Est considéré comme calcaire actif, la fraction du Ca CO_3 total du sol qui réagit en 2 heures sur une solution d'Oxalate d'ammonium $\text{C}_2 \text{O}_4 (\text{NH}_4)_2, 0,2$ Normale, en excès. Il y a formation d'Oxalate de calcium insoluble. Après filtration on dose l'Oxalate d'ammonium n'ayant pas réagi avec une solution titrée de permanganate de potassium (KMnO_4).

III 2. Azote organique :

On attaque l'azote organique du sol par de l'acide sulfurique ($\text{H}_2 \text{SO}_4$) concentré et chaud. Il se forme du sulfate d'ammonium. L'ammoniac est décelé ; du sel formé par une lessive de soude en excès, fixé par l'acide borique et dosé par une solution titrée d'acide sulfurique. De la teneur du sol en azote organique on en déduit celle de la Matière Organique pour mille.

III DOSAGES PHYSIQUES

III 1. pH III 1.1 pH eau

C'est le pH d'une suspension de sol dans l'eau dans le rapport $\frac{\text{sol}}{\text{eau}} = \frac{1}{2,5}$

III 1.2 pH KCl

C'est le pH d'une suspension de sol dans une solution de Chlorure de potassium neutre et normale dans le même rapport que pour pH eau.

Les mesures sont effectuées au pH mètre.

III 2. Dosage du potassium par photométrie de flamme :

Principe du photomètre de flamme :

Un électron excité, revenant à son état

initial émet une radiation de longueur d'onde bien précise, caractéristique de son niveau d'énergie, donc de l'atome auquel appartient l'électron.

On pulvérise dans une flamme une solution contenant l'élément à doser. Les atomes de ce dernier sont d'abord excités puis revenant à leur état normal émettent des radiations précises, qui sont captées, amplifiées et transformées par l'appareil en énergie *électrique* dont l'intensité est fonction du nombre d'atomes excités.

Le dosage se fait donc après étalonnage de l'appareil. Toutes les mesures portant sur le potassium ont été faites au photomètre de flamme.

III 2.1 Potassium échangeable :

On percole 10 g de sol séché par 200 ml d'acétate d'ammonium neutre et normale. Il y a échange des ions NH_4^+ de la solution contre les ions K^+ du sol. On dose le potassium dans le percolat obtenu.

III 2.2 Potassium des végétaux :

On procède, après calcination à 420°C de 1 g de l'échantillon végétal à doser, à l'attaque des cendres par l'acide nitrique (HNO_3) concentré. Il se forme dans la solution du nitrate de potassium. De la concentration de la solution en potassium on en déduit la teneur du végétal en cet élément en grammes pour cent de matière sèche.

III 2.3 Potassium total des sols :

Un gramme de sol finement broyé est attaqué par un mélange d'acides perchlorique et fluorhydrique à chaud. Le résidu sec est repris par l'acide chlorhydrique (HCl) 6 N. Le potassium est dosé au photomètre de flamme.

III 2.4 Potassium extrait par le tétra-
phénylborate de sodium :

Principe :

Au contact d'une solution de tétraphénylborate de sodium et de chlorure de sodium (Na TPB + Na Cl) il y a échange des ions K^+ du sol contre les ions Na^+ de la solution.



La précipitation du tétraphénylborate de potassium formé maintient la concentration en potassium de la solution d'extraction au-dessous de la concentration limite d'échange ; ce dernier peut donc se poursuivre.

Technique :

On met au contact 1 g de sol et 20 ml d'une solution (Na Cl 1,5 N + Na TPB 0,05 N).

- . on agite pendant un temps t donné à une température constante ;
- . on ajoute, après contact, 1 ml d'acétate d'ammonium neutre et normal. (Les ions NH_4^+ bloquent les sites libérés par les ions K^+)
- . On dissout le tétraphénylborate de potassium dans 25 ml d'acétone 100 % ;
- . on filtre sur "Buchner" (les rincages se faisant à l'acétone 50 %)
- . on ajoute 2,3 ml de $H_2 SO_4$ 12 N ;
- . on évapore à sec ;
- . on répend le résidu par de l'acétate d'ammonium ;
- . on filtre sur papier filtre ;
- . on ajuste à 100 ml à l'acétate d'ammonium ;
- . on dose le potassium au photomètre de flamme.

Solutions d'étalonnage :

On dissout dans l'acétate d'ammonium neutre et normale :

{ 6,658 g/l de $\text{SO}_4 (\text{NH}_4)_2$
48,330 g/l de $\text{SO}_4 \text{Na}_2$
6,66 ml/l de $\text{H}_2 \text{SO}_4$ pur
} m mg/l de $\text{K}_2 \text{SO}_4$ (m étant connu)

B I B L I O G R A P H I E

- C. DUTHION - Le Potassium dans le sol
(Fertilisation, N° 52 Juin 1966, p.73)
- L. WIKLANDER - Forms of K in the soil
(Potassium Symposium, 1954, p. 109)
- J.D. DE MENT - G. STANFORD - B.N. BRADFORD -
A Method for Measuring short term nutrient absorption
by plants : II Potassium
(Soil Science Proceedings, 1959, p.47)
- A.D. SCOTT - L. WELCH -
Release of none exchangeable
Soil K during short periods of cropping and sodium
Tétraphénylboron extraction,
(Soil Science Proceedings, 1961, p.28)
- J. QUELENER - ROLLAND -
Application de la technique de STANFORD - DE MENT à
l'extraction du potassium des sols,
(Annales Agronomiques, 1970, p. 819)
- R. BLANCHET et M. BOSC -
Bilans de potassium et alimentation potassique des
plantes en présence de retrogradions et libérations
d'ions K^+ non échangeable,
(Annales Agronomique, 1967, p. 601)
- § ANDERSSON - MS - KEYES - MG and CRONER - GW -
USDA Technique BULL 813 (1942)
- §§ PAGE - JB - and BAVER - LD -
Proceedings soil Science Am 4, 150 (1940)
- §§ MORLAND and GIESEKING - Soil Science, 71, 381 (1951)
- §§ VOLK - GW - Soil Science, 45, 263 (1938)
- § - auteurs cités par WIKLANDER dans "Forms of K in
the soil".
- §§ - auteurs cités par SCHUFFELLEN dans "Potassium fixa-
tion in soils".

A.C. SCHUFFELEN and H.W. VANDER MAREL

Potassium fixation in soils

(Potassium Symposium, 1955)

R. BLANCHEET - J. GUYOT - J. CHAUSSIDON -
CROUZET - Colette CHAUMONT -

Influence prédominante des argiles illitiques
sur l'alimentation potassique des plantes dans
divers types de sols,

(Annales Agronomiques, 1965, p. 177)

Colloque sur la fertilisation des sols tropicaux,
Tome 1 et 2, (Tananarive - 19, 25 novembre 1967)

Compte-rendu des Essais de Fertilisation 1963 -
1968,

(Société Commerciale des Potasses et de l'Azote,
Services Agronomiques)
