

É T U D E D E L ' É V O L U T I O N D U P O T A S S I U M D A N S L E S T A C H E S D ' U R I N E A U P A T U R A G E

INTRODUCTION

A LORS QUE LE PROBLEME DES BESOINS EN ELEMENTS FERTILISANTS DES SURFACES FOURRAGERES FAUCHEES EST RELATIVEMENT SIMPLE, CELUI DES SURFACES pâturées est rendu plus difficile du fait du recyclage par les excréments des animaux. Nous nous intéresserons ici spécialement au potassium qui est, avec l'azote, l'élément minéral le plus abondant dans les excréments.

Le potassium recyclé au pâturage se trouve, pour la plus grande partie, dans les urines et ce sont d'ailleurs ces dernières qui posent un problème pratique de fertilisation, du fait que leur irrégularité de distribution est incontrôlable. Il est à craindre qu'elles n'entraînent un véritable gaspillage de potassium car les quantités apportées par unité de surface sont très élevées, encore que très variables, même pour un type d'animaux donné (3, 4, 5, 7, 12, 14).

Les questions que l'on peut se poser concernent :

- a) la distribution spatio-temporelle des taches d'urine sur la surface pâturée,
- b) la distribution du potassium à l'intérieur des taches elles-mêmes,
- c) la durée et l'importance de leur effet,
- d) le bilan du potassium ainsi retourné à la prairie.

Depuis une quinzaine d'années environ, ces questions ont fait l'objet de travaux de divers chercheurs, surtout aux Etats-Unis (11, 14, 15), en Australie (10) et en Nouvelle-Zélande (2, 3, 4, 5, 16). En Europe, des études ont été menées sur les taches d'urine d'ovins et de bovins aux Pays-Bas (17) et en Grande-Bretagne (1, 7, 8, 9, 13). Les techniques utilisées ont été variées, les essais étant menés soit sur des taches naturelles, soit sur des taches artificielles créées avec de l'urine naturelle ou avec une solution reconstituée avec azote et potasse minéraux, à dose constante ou à dose variable.

Jusqu'à présent, il ne semble pas que beaucoup de travaux expérimentaux aient été effectués en France dans ce domaine. L'essai dont il est question ici a été réalisé avec des taches artificielles faites avec de l'urine naturelle de vaches. Nous avons fait varier l'époque d'apport, afin de rechercher l'influence de la saison sur l'évolution du potassium ; notre recherche s'est limitée aux points c) et d) de l'énumération ci-dessus.

METHODE EXPERIMENTALE

L'essai a été établi sur une prairie naturelle habituellement pâturée en pâturage libre, située sur la commune de Saint-Philbert-de-Grand-Lieu (Loire-Atlantique) à une vingtaine de kilomètres de Nantes et à près de 30 kilomètres du littoral de l'Océan.

Le sol et le sous-sol étaient des limons sableux avec la composition moyenne approximative suivante :

	<i>Sol</i>	<i>Sous-sol</i>
Eléments grossiers (supérieurs à 2 mm) (%) ..	4,4	5,1
Analyse physique de la terre fine :		
Sable grossier (2 mm à 0,2 mm)	45,9	42,0
Sable fin gros (0,2 à 0,05 mm)	21,9	21,7
Sable fin fin (0,05 à 0,02 mm)	9,0	10,8
Limon (0,02 à 0,002 mm)	10,8	12,0
Argile (inf. à 0,002 mm)	9,5	11,0
Perte au feu	2,2	1,6
Sesquioxydes	0,7	0,9
Analyse chimique de la terre fine :		
pH	6,8	6,9
Calcaire total : CO ₃ Ca	—	—
Azote total : N 0/00	1,30	1,00
Acide phosphor. assimilable : P ₂ O ₅ 0/00 ..	0,27	0,26
Potasse échangeable : K ₂ O 0/00	0,05	0,03
Chaux échangeable : CaO 0/00	0,96	0,48
Magnésie échangeable : MgO 0/00	0,11	0,07
Capacité totale échang. en mEq. p. 100 g ..	10,5	9,0

La flore était composée au départ (14 novembre 1966) d'environ 90 % de graminées : essentiellement les espèces *Poa trivialis*, *Holcus lanatus*, *Lolium perenne*, *Agrostis canina* et, dans une moindre mesure : *Festuca pratensis*, *Agropyrum repens*, *Holcus mollis*, *Cynosurus cristatus*, etc. et 10 % de dicotylédones, surtout : *Trifolium repens*, *Ranunculus bulbosus*, diverses composées. Les Grandes Oseilles (*Rumex spp.*) étaient fréquentes, mais non dans la partie consacrée à l'essai.

Traitements :

À trois reprises (15 novembre 1966 : traitement d'automne ; 18 avril 1967 : traitement de printemps ; 17 juillet 1967 : traitement d'été) il fut 13

collecté à l'étable l'urine matinale d'une quinzaine de vaches laitières du propriétaire de la prairie. Cette urine, mélangée pour l'homogénéisation, fut, après prélèvement pour l'analyse, épandue sans tarder à la main au moyen d'un broc au centre de parcelles carrées d'un mètre de côté. L'observation ayant montré qu'une émission d'urine des vaches en question correspondait en moyenne à 3 litres, il fut versé en chaque centre de parcelle 3 litres du mélange. A chaque époque d'apport, il fut fait dix de ces épandages, ce qui utilisa donc 30 litres d'urine pour chaque traitement. A côté de chaque parcelle ainsi traitée, il fut réservé une parcelle carrée de même grandeur servant de témoin. Au bout de quelques jours, une coloration plus intense laissait voir la partie de chaque parcelle affectée par l'urine : cette tache était alors délimitée par un fil plastique fixé de façon permanente au sol par des piquets ; sur le témoin voisin on délimitait alors une surface identique. L'herbe des taches d'urine et des « taches » témoins était récoltée à part et constitua le matériel expérimental. Les taches avaient environ 1.960 cm² de surface.

L'ensemble des trente parcelles arrosées et des trente parcelles témoins étaient disposées au hasard selon le dispositif suivant :

E.T.	E.U.	A.T.	A.U.	E.T.	Allée centrale	E.U.	E.T.	A.U.	A.T.	E.T.
A.U.	A.T.	P.T.	P.U.	E.U.		E.U.	A.T.	P.U.	P.T.	E.U.
E.T.	E.U.	E.T.	E.U.	A.U.		E.U.	E.T.	A.T.	A.U.	P.T.
P.U.	P.T.	P.T.	P.U.	A.T.		P.T.	P.U.	P.U.	P.T.	P.U.
A.T.	A.U.	A.U.	A.T.	P.U.		E.U.	E.T.	A.T.	A.U.	E.U.
E.T.	E.U.	P.U.	P.T.	P.T.		A.T.	A.U.	P.U.	P.T.	E.T.

A.U. : traitement d'automne avec urine.
 A.T. : traitement d'automne témoin.
 P.U. : traitement de printemps avec urine.
 P.T. : traitement de printemps témoin.
 E.U. : traitement d'été avec urine.
 E.T. : traitement d'été témoin.

 limite des couples.

La comparaison se fit sur chacun des couples constitués par une parcelle avec tache d'urine et une parcelle témoin. L'ensemble du dispositif fut entouré d'une barrière afin que les animaux pâturant le reste de la prairie ne pussent y accéder.

L'analyse de l'urine montre que les apports en éléments fertilisants furent les suivants :

	<i>Eléments apportés (mg/dm² = kg/ha)</i>			
	<i>N</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>	<i>(K)</i>
Epandage d'automne (15-11-1966) ..	640	3	2.610	(2.170)
Epandage de printemps (18-4-1967)	1.390	3	2.630	(2.180)
Epandage d'été (17-7-1967)	750	2	1.900	(1.575)

Les fumures suivantes furent en outre appliquées à l'ensemble des parcelles (correspondant aux apports usuels sur pâturages par les meilleurs exploitants locaux) :

<i>Date</i>	<i>N</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>	<i>Engrais</i>
1 ^{er} décembre 1966	—	60	60	Scories potassiques 14-14
25 avril 1967 ...	40	—	—	Ammonitrate 33,5 %
5 décembre 1967	—	60	60	Scories potassiques 13-13
14 mars 1968 ...	40	—	—	Ammonitrate 33,5 %
22 décembre 1968	—	60	60	PK 300 19-19
26 mars 1969 ...	40	—	—	Ammonitrate 22 %

L'apport du 26 mars 1969 fut renouvelé le 8 mai 1969, après la première coupe, afin de s'assurer que la fourniture d'azote ne limitait pas l'expression par les plantes de la différence d'approvisionnement en potasse.

Les coupes furent faites au même rythme que les passages du troupeau pâturant à l'extérieur de l'essai, la dernière coupe étant faite pour chaque

traitement trois ans après l'épandage. Ceci donne le calendrier de coupes suivant :

<i>Traitements</i>	<i>Dates des coupes</i>
Automne	17-4-1967
Automne et printemps	29-5-1967, 17-7-1967
Automne, printemps et été .	25-9-1967 15-4-1968, 20-5-1968, 17-7-1968, 19-9-1968, 4-11-1968 6-5-1969, 17-6-1969, 6-10-1969
Printemps et été	20-4-1970
Été	25-5-1970

Mesures :

On a relevé à chaque coupe, séparément et pour chaque tache :

- 1) Le rendement en matière sèche de graminées.
- 2) Le rendement en matière sèche de dicotylédones (légumineuses + plantes diverses).
- 3) La teneur de la matière sèche en K chez les graminées.
- 4) La teneur de la matière sèche en K chez les dicotylédones.

De cette façon, on a pu calculer l'exportation totale de potassium par les graminées d'une part, les dicotylédones de l'autre (parties aériennes seulement). La comparaison des rendements a permis d'évaluer la proportion de graminées dans l'herbe totale.

Pour toutes ces mesures (rendements, exportations), l'analyse statistique a porté sur la différence entre tache d'urine et « tache » témoin associée ; cette différence était comparée à zéro par le test *t* (à 9 degrés de liberté, car il y a dix répétitions pour chacun des trois traitements) ; une différence significative par rapport à zéro indiquait donc une persistance de l'effet d'apport d'urine. La comparaison pour chaque couple de ses deux éléments fit constater ultérieurement que la dispersion des témoins était faible vis-à-vis de celle des taches d'urine, si bien que l'analyse eût pu se faire par la méthode habituelle des blocs.

Le sol et le sous-sol des parcelles furent analysés en début et en fin d'essai. Les différences de teneurs en K échangeable ayant été trouvées faibles, il fut procédé à une analyse par extraction biologique (méthode STANFORD-de MENT) d'échantillons moyens de taches d'urine et de témoins afin de voir si des différences indécélables à l'analyse du potassium échangeable pourraient exister entre les niveaux de potassium absorbable par les racines végétales.

RESULTATS

1) Rendements en matière sèche :

Pour le traitement d'automne, il y a eu une différence hautement significative (au seuil de probabilité 1 %) entre taches d'urine et témoins, à la première coupe du printemps suivant l'épandage (coupe du 17 avril 1967) ; cette différence était entièrement due aux graminées (cf. tableau I).

Dès la deuxième coupe, il n'y avait plus de différence significative entre taches d'urine et témoins. En troisième coupe, il y eut une différence significative au seuil 5 % (mais tout juste significative) et négative cette fois (rendement des taches inférieur de 351,5 kg/ha, soit 18 %, à celui des témoins) ; cette différence était due aux légumineuses seules. A partir de ce moment, plus aucune différence significative (positive ou négative) ne fut décelée dans les rendements totaux. Il faut noter cependant qu'à la coupe du 20 mai 1968 (deuxième coupe de cette année), les graminées des taches eurent un rendement supérieur à celui des témoins (différence tout juste significative au seuil 5 %, portant sur 239 kg/ha, soit 16 % du témoin) ; cette différence était trop faible pour avoir été significative au niveau des rendements totaux (graminées + dicotylédones). En pratique, on peut dire que l'effet de l'épandage d'automne sur les rendements en matière sèche a cessé dès le printemps suivant.

Pour le traitement de printemps (épandage le 18 avril 1967), il y eut une différence significative (seuil 5 %) à la coupe suivant l'épandage (deuxième de l'année) ; cette différence s'accrut encore à la suivante (troisième de l'année) pour devenir hautement significative (seuil 1 %) et enfin à la dernière coupe de 1967 elle fut tout juste significative au seuil 5 % (non significative pour les graminées et les dicotylédones considérées séparément).

TABLEAU I

RENDEMENTS EN MATIERE SECHE.
DIFFERENCE ENTRE TACHES D'URINE ET TEMOINS
(kg/ha = mg/dm²)

Seuls sont donnés ici les résultats des coupes où les différences entre rendements totaux ont été significatives.

Traitement	Date de coupe		Différence absolue	Différence en % des témoins	Sign.
Automne ...	17-4-1967	G.	1.264,5	74,4	(**)
		D.	— 89,0	— 39,4	N.S.
		T.	1.175,5	61,0	(**)
Automne ...	17-7-1967	G.	4,0	0,5	N.S.
		D.	— 355,5	— 29,7	(*)
		T.	— 351,5	— 18,1	(*)
Printemps ...	29-5-1967	G.	1.073,5	29,6	(*)
		D.	64,0	11,3	N.S.
		T.	1.137,5	27,1	(*)
Printemps ...	17-7-1967	G.	1.410,0	172,1	(**)
		D.	— 194,0	— 21,5	N.S.
		T.	1.216,0	70,7	(**)
Printemps ...	25-9-1967	G.	398,0	47,4	N.S.
		D.	— 92,0	— 14,0	N.S.
		T.	306,0	17,0	(*)
Eté	25-9-1967	G.	1.431,0	98,2	(**)
		D.	86,5	12,2	N.S.
		T.	1.517,5	70,1	(**)
Eté	15-4-1968	G.	1.251,5	38,8	(**)
		D.	59,0	52,9	N.S.
		T.	1.310,5	39,3	(**)
Eté	19-9-1968	G.	373,0	24,1	N.S.
		D.	269,5	33,7	N.S.
		T.	642,5	27,4	(**)
Eté	4-11-1968	G.	255,0	22,7	N.S.
		D.	152,5	71,3	N.S.
		T.	407,5	30,4	(*)

N.B. : G. = Graminées ; D. = Dicotylédones ; T. = total (G. + D.).

N.S. = non significatif ; (*) = significatif au seuil de probabilité 5 % ;
(**) = au seuil 1 %.

Aucune différence de rendement ne fut significative pour les dicotylédones. A partir de 1968, on ne décéla aucune différence significative dans les rendements.

Pour le traitement d'été, les différences ont été hautement significatives dès la première coupe suivant l'épandage (quatrième coupe de 1967 : 25 septembre), ainsi que lors de la première coupe de l'année suivante (15 avril 1968) ; dans les deux cas, seules les graminées étaient en cause. Il n'y eut plus de différences significatives lors des deux coupes suivantes (20 mai et 17 juillet) mais, chose curieuse, il y eut de nouveau des différences significatives (aux seuils 1 % et 5 % respectivement) aux deux dernières coupes de 1968, mais pour les rendements totaux seulement (non pour les graminées ou dicotylédones considérées séparément). Aucune différence significative n'apparut en 1969 ou 1970.

Dans aucun cas l'arrière-effet de l'urine sur les rendements n'a donc persisté au-delà du deuxième hiver suivant l'apport.

2) Composition botanique :

Au moment de chaque coupe, les graminées, les légumineuses et les autres dicotylédones (« plantes diverses » : composées, renoncules, etc.) ont été récoltées et séchées à l'air séparément. Les proportions de poids de plantes séchées permettent donc d'avoir une indication de l'importance de chacune de ces trois catégories au moment de chaque coupe.

Pour la détermination de la matière sèche (séchage à l'étuve) et de la teneur en potassium, nous avons été amenés à ne plus considérer que deux catégories, afin de simplifier le travail expérimental : graminées d'une part, ensemble des dicotylédones de l'autre.

Les données dont nous disposons sur les proportions de graminées portent sur la matière sèche, par contre, pour les « plantes diverses », nous ne disposons que des poids de plantes séchées à l'air.

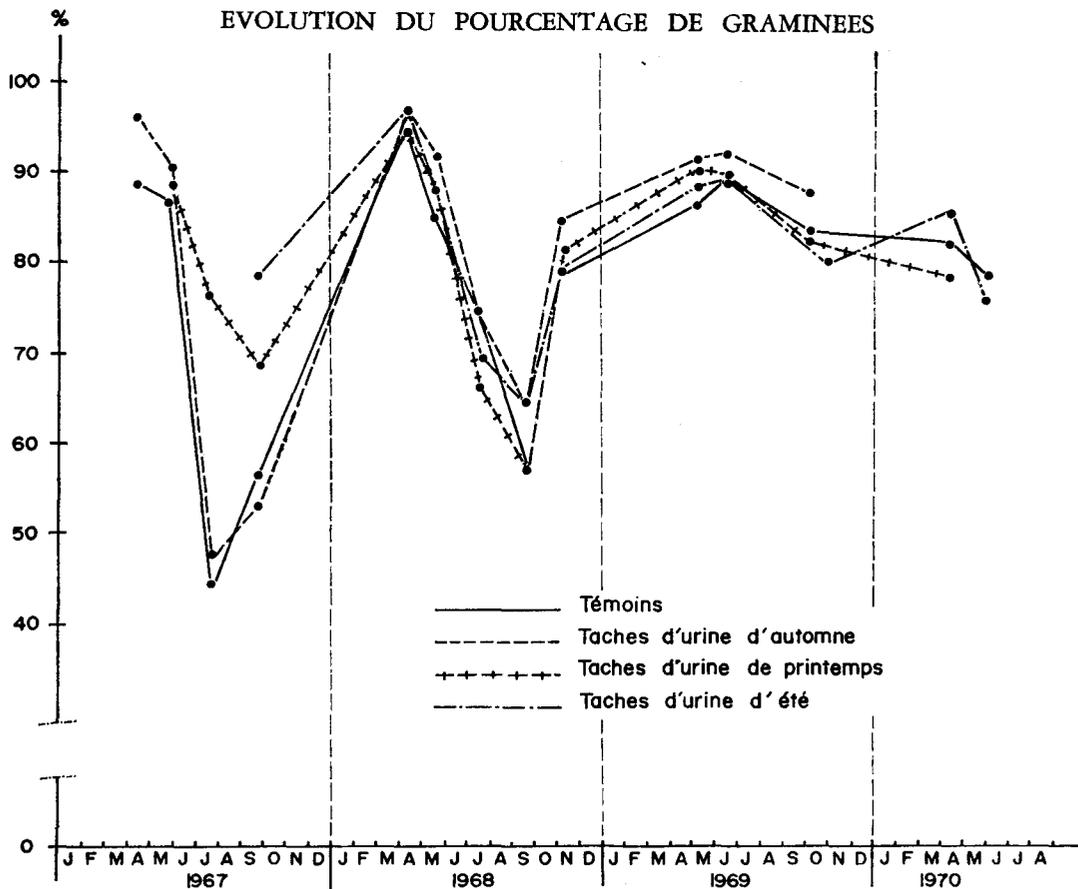
En ce qui concerne la *proportion de graminées*, il fut observé qu'elle était au début plus élevée dans les taches que dans les témoins ; ceci n'est pas surprenant, puisque, comme il est dit plus haut, l'épandage d'urine a

favorisé la pousse des graminées seules. L'effet n'a cependant été significatif que dans la première coupe suivant l'épandage d'automne.

De coupe en coupe, la proportion de graminées a varié fortement, avec un minimum chaque année pendant les mois d'été (cf. graphique 1).

GRAPHIQUE 1

EVOLUTION DU POURCENTAGE DE GRAMINEES



En ce qui concerne *les dicotylédones autres que les légumineuses*, aucune différence de proportion ne fut observée entre taches d'urine et témoins, pour aucun traitement ni à aucune époque. On ne peut donc pas faire état d'un développement de « flore de lisier » dans les taches d'urine de cet essai. Par contre, la proportion de ces plantes augmenta régulièrement d'année en année (à dates de coupe comparables) du début à la fin de l'essai (cf. graphique 2) et de façon parallèle pour les témoins et les taches d'urine ; ceci est donc le signe d'une dégradation de la prairie. Il est à remarquer que les deux moitiés du terrain expérimental séparées par l'allée centrale (cf. plus haut le schéma du dispositif) ont eu de façon consistante des proportions différentes de ces « plantes diverses » : celles-ci étaient systématiquement plus abondantes dans la moitié gauche que dans la moitié droite ; le graphique 2 montre que la variation avec le temps fut parallèle dans les deux moitiés.

3) Exportations de potassium :

Dans chaque couple tache-témoin, on a comparé l'exportation de potassium, mesurée par le produit : rendement en matière sèche \times teneur en potassium (K) de la matière sèche. Le calcul a été fait séparément pour les graminées et pour les dicotylédones.

Pour le traitement d'automne, il y eut, dès la première coupe suivant l'épandage (17 avril 1967), une différence hautement significative (au seuil de probabilité 1 %) pour les graminées, en faveur des taches d'urine ; les dicotylédones, par contre, exportèrent la même quantité de potassium. Dès la deuxième coupe, les différences disparurent. Cependant, lors de la deuxième coupe de 1968 (20 mai), une différence hautement significative réapparut chez les graminées (leur rendement en matière sèche était, lui aussi, significativement supérieur) et, bien que l'exportation de potassium par les dicotylédones ait été la même, il y avait encore une différence significative (seuil 5 %) au niveau des exportations totales. Cette exception mise à part, les taches et les témoins exportèrent les mêmes quantités de K à partir de la deuxième coupe de 1967).

C'est avec le traitement de printemps que les différences persistent le plus longtemps (cf. tableau II) ; si l'on met à part la coupe du 20 mai 1968 (où les exportations des taches et des témoins se trouvèrent non significativement différentes), on trouve des exportations significativement supérieures

GRAPHIQUE 2

EVOLUTION DU POURCENTAGE DE PLANTES DIVERSES

(Moyenne des taches et des témoins)

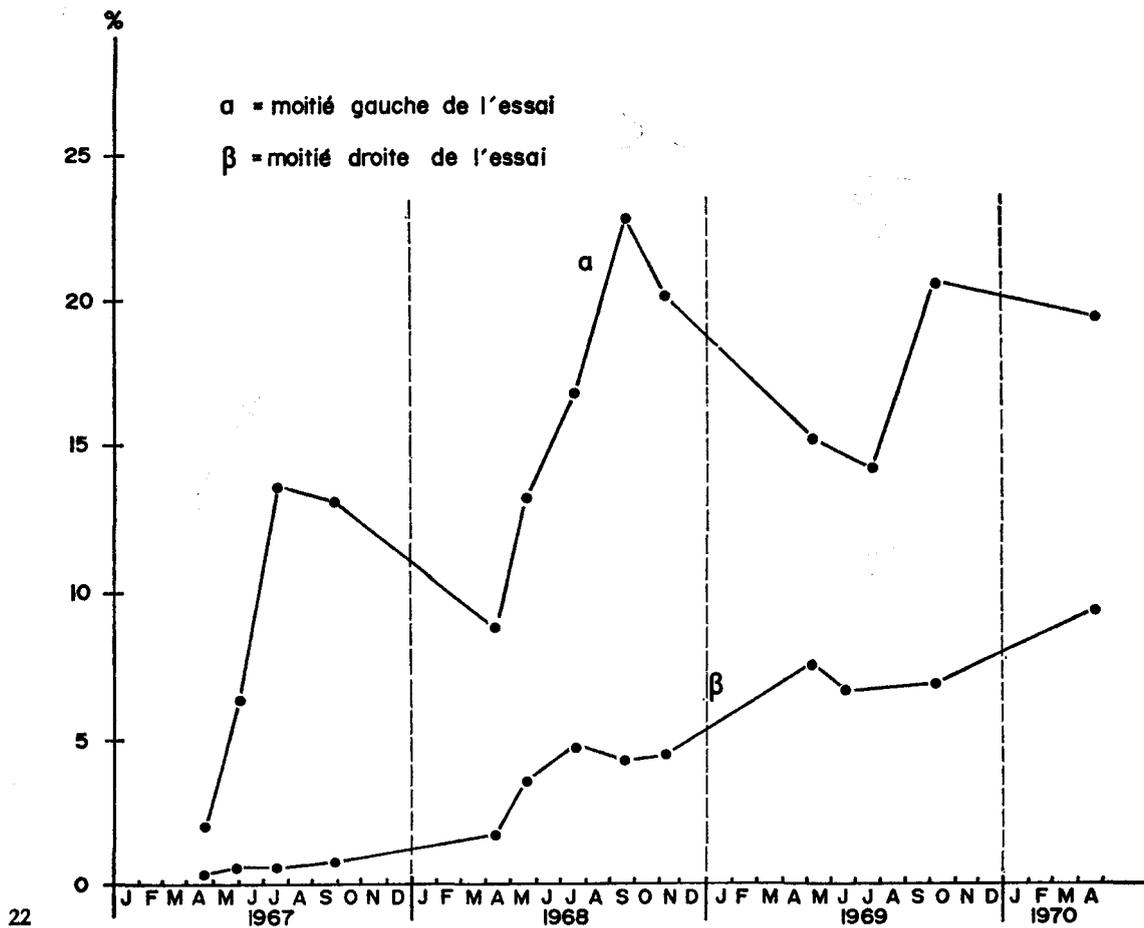


TABLEAU II
EXPORTATION DE POTASSIUM
DIFFERENCE ENTRE TACHES D'URINE ET TEMOINS
(kg K/ha = mg K/dm²)

Seuls sont donnés ici les résultats des coupes où les différences entre exportations totales ont été significatives.

Traitement	Date de coupe		Différence absolue	Différence en % des témoins	Significat.	Traitement	Date de coupe		Différence absolue	Différence en % des témoins	Signification
Automne	17-4-1967	G.	39,63	84,7	(**)	Printemps	6-5-1969	G.	15,59	38,6	(**)
		D.	— 0,91	— 23,6	N.S.			D.	— 1,39	— 13,0	N.S.
		T.	38,72	76,5	(**)			T.	14,20	27,8	(*)
Automne	20-5-1968	G.	6,25	19,7	(**)	Printemps	6-10-1969	G.	3,84	15,2	N.S.
		D.	— 0,69	19,0	N.S.			D.	1,55	29,6	N.S.
		T.	5,56	15,7	(*)			T.	5,39	17,7	(*)
Printemps	29-5-1967	G.	88,38	99,6	(**)	Printemps	20-4-1970	G.	8,10	39,7	(*)
		D.	15,42	169,3	N.S.			D.	1,99	29,4	N.S.
		T.	103,80	106,1	(**)			T.	10,09	37,1	(**)
Printemps	17-7-1967	G.	54,31	370,0	(**)	Eté	25-9-1967	G.	50,47	241,0	(**)
		D.	13,06	115,7	N.S.			D.	7,52	60,0	N.S.
		T.	67,37	259,4	(**)			T.	57,99	173,2	(**)
Printemps	25-9-1967	G.	19,39	155,6	(**)	Eté	15-4-1968	G.	43,33	72,1	(**)
		D.	6,12	58,1	N.S.			D.	2,95	126,1	N.S.
		T.	25,51	110,9	(**)			T.	46,28	74,1	(**)
Printemps	15-4-1968	G.	24,98	50,0	(*)	Eté	20-5-1968	G.	7,09	20,8	N.S.
		D.	— 0,14	— 2,1	N.S.			D.	3,91	117,1	N.S.
		T.	24,84	44,0	(**)			T.	11,00	29,4	(**)
Printemps	17-7-1968	G.	7,44	23,6	N.S.	Eté	17-7-1968	G.	2,46	5,8	N.S.
		D.	12,23	96,1	(*)			D.	18,17	220,8	(*)
		T.	19,67	44,4	(**)			T.	20,63	40,6	(*)
Printemps	19-9-1968	G.	10,64	56,2	(*)	Eté	19-9-1968	G.	10,13	39,1	(*)
		D.	8,32	46,2	N.S.			D.	12,31	101,3	N.S.
		T.	18,96	51,3	(**)			T.	22,44	59,0	(**)
Printemps	4-11-1968	G.	14,53	79,7	(**)	Eté	4-11-1968	G.	11,62	52,2	(**)
		D.	1,75	34,6	N.S.			D.	4,67	137,8	(*)
		T.	16,28	69,9	(**)			T.	16,29	63,5	(**)

N.B. : G. = Graminées ; D. = Dicotylédones ; T. = total (G. + D.).
 N.S. = non significatif ; (*) = significatif au seuil de probabilité 5 % ;
 (**) = au seuil 1 %.

dans les taches jusqu'à la première coupe de 1969 ; à la deuxième coupe de 1969, les différences n'étaient plus significatives, à la troisième et dernière, elles l'étaient tout juste au seuil 5 % (non pour les graminées ni les dicotylédones prises séparément) ; elles redevinrent même hautement significatives à la première coupe de 1970, mais il fallut malheureusement interrompre l'essai ensuite. Notons que, comme pour les rendements, l'effet le plus grand de l'épandage de printemps n'eut pas lieu à la première coupe suivant cet épandage, mais à la deuxième (17 juillet 1967).

Pour le traitement d'été, il y eut des différences significatives (aux seuils 5 % et 1 %) depuis la première coupe suivant l'épandage (dernière coupe de 1967) jusqu'à la dernière coupe de 1968 incluse, ensuite plus aucune différence ne fut significative.

Il est à noter qu'en général les différences d'exportation de K n'ont été dues qu'aux seules graminées (de même que les différences de rendement). Cependant, à la coupe du 17 juillet 1968, les dicotylédones des taches d'urine des traitements de printemps et d'été exportèrent plus de potassium que les dicotylédones des témoins correspondants, sans qu'il y ait eu des différences de rendement ; le même phénomène se reproduisit à la coupe du 4 novembre 1968 pour le traitement d'été.

4) Bilan du potassium :

Les exportations cumulées de potassium donnent une estimation des quantités de cet élément prélevées par l'herbe au cours de l'essai, si l'on fait abstraction des quantités contenues dans les racines et autres organes souterrains, qui ne quittent pas la prairie. La différence entre taches d'urine et témoins de ces quantités cumulées permet donc d'estimer la part de l'apport qui s'est retrouvée dans l'herbe (cf. graphique 3).

En nous arrêtant aux dernières coupes où apparaissaient des différences significatives, nous obtenons les valeurs du tableau III.

En cumulant les exportations jusqu'à la fin de l'essai, donc en ajoutant des différences non significatives, on serait arrivé aux pourcentages de 3,13 et 13,15 pour les traitements d'automne et d'été respectivement (pour le traitement de printemps les différences étaient encore significatives en fin d'essai).

GRAPHIQUE 3

DIFFERENCES CUMULEES DES EXPORTATIONS DE K
(kg/ha)

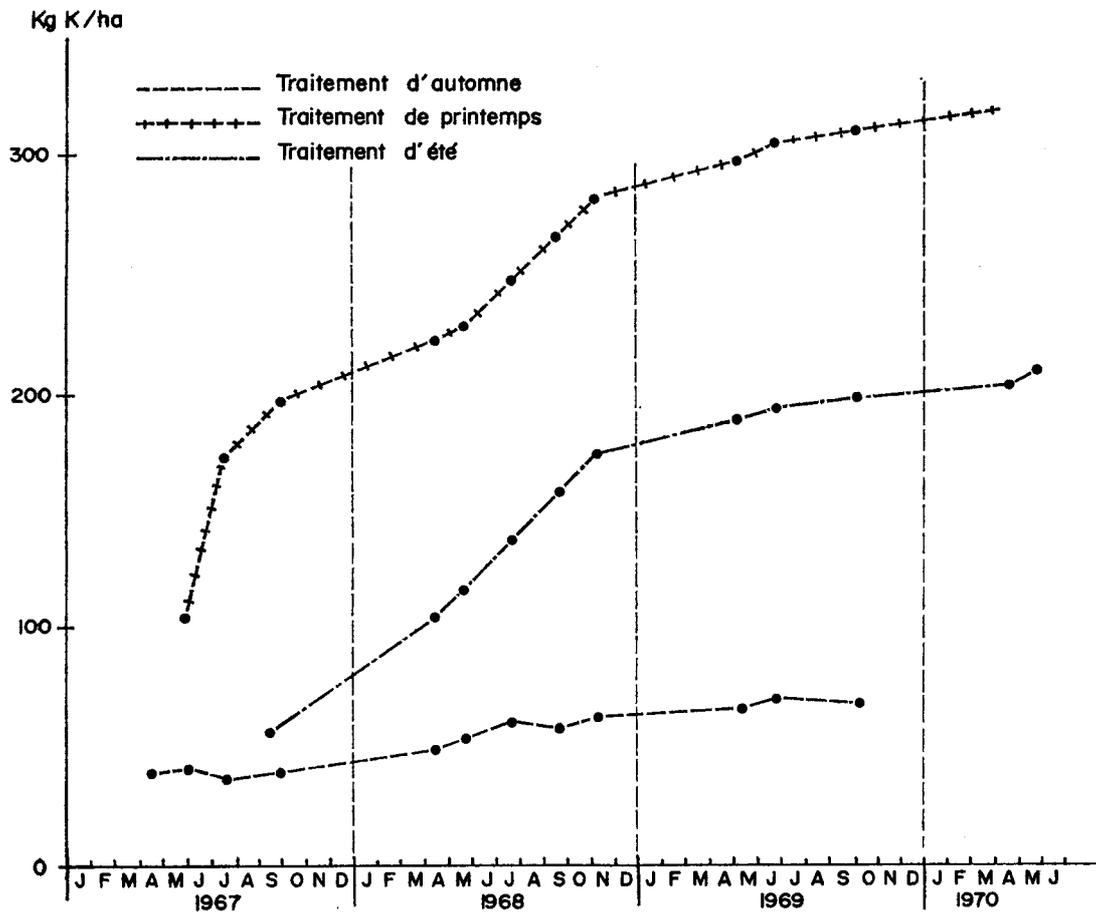


TABLEAU III
DIFFERENCES CUMULEES
ENTRE EXPORTATIONS TOTALES DE K DES TACHES D'URINE
ET DES TEMOINS

<i>Traitement</i>	<i>Date de la dernière diff. significative</i>	<i>Export. cumul. à cette date kg K/ha</i>	<i>Apport initial par l'urine kg K/ha</i>	<i>Proportion de l'apport initial, %</i>
Automne ...	20-5-1968	53,69	2.170	2,47
Printemps ..	20-4-1970	319,29	2.180	14,65
Eté	4-11-1968	174,63	1.575	11,09

De loin, la plus grande partie du potassium apporté ne se trouve donc pas dans l'herbe. Pour savoir s'il se retrouvait dans le sol en fin d'essai, nous avons prélevé des échantillons de sol et de sous-sol à différentes profondeurs (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm) sous chaque tache et chaque témoin après la dernière coupe de chaque traitement (quatre échantillons par niveau et par parcelle, mélangés). Ces échantillons ont été analysés pour l'azote total, l'acide phosphorique assimilable et les cations échangeables : K₂O, CaO, MgO.

Les résultats moyens sont consignés dans les tableaux IV, V et VI. Nous avons chaque fois indiqué, à titre de comparaison, les valeurs trouvées en début d'essai pour la couche supérieure (0-10 cm ; les couches plus profondes n'avaient alors pas été analysées).

TRAITEMENT D'AUTOMNE

TABLEAU IV
NIVEAUX DE FERTILISANTS
A DIFFERENTES PROFONDEURS DU SOL
(Traitement d'automne, analyse en fin d'essai : 2 décembre 1969)

<i>Profond. (cm)</i>	<i>N total 0/00</i>		<i>P₂O₅ ass. 0/00</i>		<i>K₂O éch. 0/00</i>		<i>CaO éch. 0/00</i>		<i>MgO éch. 0/00</i>	
	<i>U.</i>	<i>T.</i>	<i>U.</i>	<i>T.</i>	<i>U.</i>	<i>T.</i>	<i>U.</i>	<i>T.</i>	<i>U.</i>	<i>T.</i>
0-10 ...	1,345	1,350	0,346	0,349	0,059	0,056	0,960	0,904	0,121	0,110
10-20 ...	0,975	0,955	0,268	0,261	0,047	0,042	0,824	0,840	0,108	0,110
20-30 ...	0,840	0,860	0,221	0,212	0,042	0,039	0,672	0,648	0,100	0,093
30-40 ...	0,640	0,630	0,115	0,114	0,038	0,036	0,576	0,568	0,101	0,101
D.	1,305	1,290	0,346	0,337	0,054	0,056	0,560	0,640	0,091	0,103

N.B. U. = taches d'urine ; T. = témoins ; D. = valeurs en début d'essai (15 novembre 1966 pour la couche 0-10 cm).

Evolution du potassium

D'après le tableau, on constate une diminution régulière de la teneur en éléments fertilisants (sauf la magnésie) avec la profondeur, sous les taches comme sous les témoins. D'autre part, aucune différence entre taches et témoins n'est significative, même en ce qui concerne la potasse. Les teneurs de la couche supérieure sont tout à fait comparables à ce qu'elles étaient en début d'essai, trois années auparavant, sauf qu'il y a eu un certain enrichissement en chaux. Le point essentiel est que l'on ne retrouve dans cette analyse aucun effet de l'apport d'urine en automne 1966.

TRAITEMENT DE PRINTEMPS

TABLEAU V

NIVEAUX DE FERTILISANTS
A DIFFERENTES PROFONDEURS DU SOL
(Traitement de printemps, analyse en fin d'essai 20 avril 1970)

Profond. (cm)	N total 0/00		P ₂ O ₅ ass. 0/00		K ₂ O écb. 0/00		CaO écb. 0/00		MgO écb. 0/00	
	U.	T.	U.	T.	U.	T.	U.	T.	U.	T.
0-10 ...	1,265	1,240	0,328	0,334	0,058	0,050	0,832	0,848	0,090	0,099
10-20 ...	0,925	0,900	0,243	0,248	0,056	0,038	0,632	0,696	0,081	0,089
20-30 ...	0,815	0,785	0,195	0,194	0,064	0,038	0,600	0,584	0,086	0,088
30-40 ...	0,620	0,640	0,101	0,098	0,069	0,035	0,576	0,560	0,097	0,098
D.	1,350	1,265	0,410	0,375	0,067	0,071	0,880	0,952	0,104	0,118

N.B. U. = taches d'urine ; T. = témoins ; D. = valeurs en début d'essai (18 avril 1967) pour la couche 0-10 cm.

Il existe des différences hautement significatives (au seuil de probabilité 1 %) entre les niveaux de potasse des niveaux inférieurs à 10 cm entre taches et témoins (pas de différence significative pour la couche 0-10 cm). Si l'on traduit ces différences en quantités d'éléments potassium (K) avec un poids moyen de terre pris égal à 1.000 t/ha pour une couche de 10 cm, on arrive aux résultats suivants :

couche 10-20 cm : 15 kg/ha	}	Total : 65 kg/ha
couche 20-30 cm : 22 kg/ha		
couche 30-40 cm : 28 kg/ha		

On retrouve donc 65 kg de potassium sous forme échangeable à des profondeurs de 10 à 40 cm sous les taches d'urine ; cette quantité correspond à 3 % environ des 2.180 kg apportés initialement, c'est-à-dire très peu. Il est remarquable qu'on en trouve de plus en plus au fur et à mesure que l'on va en profondeur ; bien qu'on n'ait pas fait de prélèvement pour analyse à plus de 40 cm, cela laisse à penser qu'une quantité non négligeable doit se retrouver à de plus fortes profondeurs.

Pour les autres éléments, il n'y a pas de différences significatives. Par rapport à la situation en début d'essai, on note un léger appauvrissement en tous les éléments.

TRAITEMENT D'ETE

TABLEAU VI

NIVEAUX DE FERTILISANTS
A DIFFERENTES PROFONDEURS DU SOL
(Traitement d'été, analyse en fin d'essai : 25 mai 1970)

Profond. (cm)	N total 0/00		P ₂ O ₅ ass. 0/00		K ₂ O écb. 0/00		CaO écb. 0/00		MgO écb. 0/00	
	U.	T.	U.	T.	U.	T.	U.	T.	U.	T.
0-10 ...	1,425	1,370	0,352	0,363	0,066	0,063	1,144	1,160	0,126	0,129
10-20 ...	1,050	0,995	0,255	0,255	0,071	0,056	0,936	0,992	0,115	0,122
20-30 ...	0,915	0,865	0,210	0,202	0,082	0,055	0,904	0,976	0,119	0,131
30-40 ...	0,710	0,650	0,113	0,107	0,086	0,057	0,856	0,928	0,140	0,165
D.	1,495	1,485	0,411	0,420	0,078	0,074	1,312	1,200	0,143	0,134

N.B. U. = taches d'urine ; T. = témoins ; D. = valeurs en début d'essai (10 août 1967*) pour la couche 0-10 cm.

Comme pour le traitement de printemps, on trouve un enrichissement progressif en potasse échangeable avec une profondeur croissante sous les taches d'urine ; les différences avec les témoins, non significatives pour la

* En raison de la sécheresse, les prélèvements pour l'analyse n'avaient pu être faits avant l'épandage d'urine (17 juillet 1967) ; on voit que le 10 août il n'y avait guère encore de différence entre U. et T.

couche 0-10 cm, sont de nouveau hautement significatives pour les couches plus profondes.

Les différences, exprimées en K, à raison de 1.000 t/ha de terre par couche de 10 cm, sont les suivantes :

couche 10-20 cm : 12 kg/ha	}	Total : 58 kg/ha
couche 20-30 cm : 22 kg/ha		
couche 30-40 cm : 24 kg/ha		

On retrouve de nouveau environ 3 % du potassium apporté sous forme échangeable entre 10 et 40 cm de profondeur. Comme pour le traitement de printemps, on peut penser qu'il se trouve encore certaines quantités de l'élément à des profondeurs plus grandes.

Pour les éléments autres que le potassium, une seule différence est significative (au seuil de probabilité 5 %) : c'est celle qui concerne la teneur en magnésium de la couche 30-40 cm. Il y a eu appauvrissement en magnésium échangeable sous les taches d'urine (25 kg/ha MgO, soit 15 kg/ha Mg, par rapport aux témoins) ; cet appauvrissement est sans aucun doute lié à l'enrichissement en potassium : un ion a remplacé l'autre sur le complexe adsorbant. Pour le calcium on retrouve la même tendance, mais elle n'est pas significative.

Ainsi, la recherche du potassium échangeable ne permet guère d'améliorer le bilan de cet élément si l'on se borne, comme nous l'avons fait, aux 40 premiers centimètres. Nous avons donc repris les mêmes échantillons de terre et nous les avons épuisés en potassium par des cultures de plantules d'orge (méthode d'analyse biologique STANFORD-de MENT) pour voir s'il existait des différences entre le potassium absorbable par les végétaux (et non pas seulement le potassium échangeable) ; on peut considérer qu'il s'agit du potassium disponible en un temps court. Cette analyse a été faite sur un échantillon moyen seulement par traitement et par niveau de profondeur (c'est-à-dire que les dix répétitions ont été chaque fois réunies). Les résultats, exprimés en kg/ha de K, sont consignés dans le tableau VII ; on ne peut leur accorder une signification statistique.

Pour le traitement d'automne, on retrouve même moins de potassium sous les taches que sous les témoins ; pour les deux autres traitements, de printemps et d'été, on trouve respectivement environ 6 % et 3 % des

apports initiaux. Les conclusions ne sont donc pas fondamentalement modifiées par rapport à celles que l'on pouvait tirer des résultats du potassium échangeable.

TABLEAU VII

POTASSIUM ABSORBABLE EN FIN D'ESSAI
(d'après la méthode de STANFORD-de MENT)
Différences entre taches et témoins (en kg de K/ha)

Traitement Profondeur (cm)	Automne	Printemps	Eté
0-10	— 4	16	9
10-20	3	28	2
20-30	— 7	36	23
30-40	— 9	42	20
Total	— 17	122	54

Le potassium total a également été dosé sur les mêmes échantillons moyens ; les différences obtenues sont considérables et du même ordre de grandeur en valeur absolue que les apports par l'urine (différence négative dans le cas du traitement d'automne, donc il y aurait eu enrichissement relatif du témoin) ; 1.160 kg/ha, 1.900 kg/ha et 790 kg/ha pour les traitements d'automne, de printemps et d'été respectivement. Il est difficile d'en tirer des conclusions sûres car, en l'absence de répétitions, la représentativité des échantillons n'est pas connue ; cependant, il n'est pas exclu de penser que, pour les traitements de printemps et d'été, ces différences reflètent la rétrogradation d'une partie plus ou moins grande du potassium apporté par l'urine (puisque'il s'agit de potassium compris dans le potassium total mais non dans le potassium disponible à bref délai).

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les résultats obtenus dans cet essai ont été très variables suivant l'époque d'application d'urine. Après un épandage d'automne, donc de fin de saison de pâturage, presque tout le potassium avait disparu au bout de trois ans,

puisque rien ne se retrouvait dans le sol (ni sous forme échangeable, ni sous forme rétrogradée) et que 3 % environ seulement avaient été absorbés par l'herbe. L'absorption par les parties souterraines, non mesurée, ne doit sans doute pas changer beaucoup l'ordre de grandeur du résultat, pas plus que dans le cas des deux autres traitements. Nous pouvons donc admettre que la quasi-totalité du potassium avait été entraînée à plus de 40 cm de profondeur. En réalité, l'effet de l'urine s'était arrêté bien avant trois années, puisque la dernière différence significative s'était manifestée le 20 mai 1968, soit dix-huit mois après l'épandage.

Après l'épandage de printemps, au contraire, il y eut une récupération beaucoup plus importante par l'herbe, puisque trois ans après les différences étaient encore significatives et qu'à ce moment il y avait eu près de 15 % de l'apport absorbé par les parties aériennes. Il est d'ailleurs permis de penser que des différences n'auraient pas persisté beaucoup plus longtemps puisque, à cette époque, la teneur en K disponible de la couche supérieure du sol était revenue à la valeur du témoin. En tenant compte du potassium échangeable des 40 premiers cm (3 % du total) et même si on remplace celui-ci par le potassium d'extraction biologique (6 % du total), on ne peut quand même échapper à la conclusion que 75 à 80 % environ du potassium apporté ont été soit rétrogradés, soit entraînés à des profondeurs supérieures à 40 cm. Etant donné que les analyses de potassium total ont été faites sur des échantillons non répétés et que nous ne disposions pas de lysimètre pour recueillir les eaux de drainage, il ne nous est malheureusement pas possible de dresser le bilan de K de façon plus précise.

Pour le traitement d'été, les résultats ont été intermédiaires entre ceux des deux autres traitements. La quantité absorbée par les parties aériennes de l'herbe a été de 11 % et la quantité disponible sous les taches d'urine (diminuée de celle des témoins) de 3 % seulement. La perte par rétrogradation ou par entraînement en profondeur a donc été d'environ 85 %. Les effets de l'urine ont persisté jusqu'en décembre 1968, soit pendant dix-sept mois au moins, les différences devenant non significatives à partir de mai 1969, c'est-à-dire vingt-deux mois après l'épandage.

L'importance de l'entraînement en profondeur du potassium apporté par l'urine doit nous faire prendre en considération les précipitations atmosphériques. Le tableau VIII donne les précipitations mensuelles pour la période de l'essai, relevées à l'aérodrome de Nantes (Château-Bougon), à environ 15 kilomètres du champ d'essai.

TABLEAU VIII
RELEVÉ DES PRÉCIPITATIONS MENSUELLES
PENDANT LA PÉRIODE DE L'ESSAI
(en mm)

<i>Mois</i>	1966	1967	1968	1969	1970
Janvier		50	62	97	92
Février		79	56	24	99
Mars		106	26	71	50
Avril		11	44	50	40
Mai		132	62	93	14
Juin		26	98	31	
Juillet		6	68	11	
Août		52	58	18	
Septembre ..		61	105	82	
Octobre		98	51	7	
Novembre ..	109	94	21	145	
Décembre ..	108	63	100	91	

Si nous considérons la somme des précipitations tombées le mois de l'épandage et les trois mois suivants, nous trouvons 346 mm pour l'épandage d'automne, 175 mm pour l'épandage de printemps et une valeur intermédiaire, 217 mm, pour l'épandage d'été. L'importance des pertes, et en particulier l'importance des quantités entraînées dans les couches situées entre 10 et 40 cm de profondeur se classent dans le même ordre. Nous pensons donc que les précipitations tombant à la saison de l'apport d'urine, et par là le lessivage, jouent un rôle important dans la répartition finale du potassium. L'urine elle-même doit certainement favoriser le lessivage, puisque nous en avons apporté chaque fois 3 litres sur une surface de 1.960 cm², ce qui représente une hauteur de 15 mm et cet apport s'est fait en un temps très bref. Nous faisons remarquer que sur les parcelles témoins nous n'avons pas apporté d'eau, contrairement à ce que font certains expérimentateurs ; en effet, nous avons simplement cherché à comparer des taches d'urine avec des vrais témoins, qui représentent les surfaces ne recevant rien au cours de pâturage réel.

Un autre phénomène a dû jouer dans le même sens : après un épandage d'automne, il n'y a guère eu de plantes en croissance susceptibles de profiter

du potassium ainsi mis à leur disposition ; après l'épandage de printemps au contraire, ce potassium a pu être absorbé par des plantes en croissance vigoureuse et cette absorption a pu se poursuivre plus ou moins intensément pendant six mois au moins, en concurrence avec tout lessivage potentiel ; après l'épandage d'été, cette absorption n'a pu se faire que pendant trois ou quatre mois, d'où les différences dans la proportion de potassium récupéré (absorbé) ou récupérable (disponible non rétrogradé). En pratique, tout au moins sous nos climats, il importe peu que ce soit l'un plutôt que l'autre de ces phénomènes qui soit le facteur décisif, car la saison suivant immédiatement un apport d'automne est généralement aussi la plus pluvieuse, celle qui suit un apport de printemps (donc l'été) la plus sèche.

Le fait que les graminées aient mieux profité de l'apport d'urine que les dicotylédones est remarquable ; elles sont certainement mieux outillées pour l'absorption du potassium. Il y a cependant eu quelques cas dans cet essai où des différences d'exportation de potassium par les dicotylédones ont été significatives (par exemple, coupe du 17 juillet 1968, traitements de printemps et d'été) : il y avait alors moindre concurrence entre les deux types de plantes, du fait de la croissance moins vigoureuse des graminées en été. Il reste que globalement, l'apport d'urine a tendance à faire augmenter la part relative des graminées dans l'herbage, tout au moins au début, comme cela a été aussi observé dans d'autres études faites sous le climat ouest-européen (9, 13).

L'effet de l'apport d'urine a eu tendance à persister plus longtemps sur les exportations de potassium que sur les rendements (cela a surtout été net dans le cas de l'épandage de printemps). On peut donc penser qu'à un moment donné un facteur autre que le potassium a été limitant ; à partir de ce moment, il y a eu consommation de luxe de potassium, les plantes continuant à accroître leur teneur en cet élément sans accroître leur rendement de matière sèche. Nous avons pensé à l'azote qui, apporté à haute dose par l'urine, a dû, comme le potassium, être lessivé. Aussi avons-nous apporté à l'ensemble de l'essai une dose supplémentaire d'azote (40 kg/ha) le 8 mai 1969. Cet apport n'a eu aucun effet sur l'évolution des différences entre taches et témoins, ni pour les traitements d'automne et d'été où ces différences avaient disparu, ni pour le traitement de printemps où l'on se trouvait justement en période de consommation de luxe du potassium (différences significatives entre les exportations, donc les teneurs, non significatives entre les rendements). On ne peut donc pas dire que ce soit simplement une

disparition de l'azote de l'urine antérieure à celle du potassium qui soit en cause ; sans doute y a-t-il épuisement accéléré des réserves du sol des taches d'urine en toutes sortes d'éléments, si bien qu'à un moment donné les suppléments de potassium restants s'accumulent dans la plante sans que celle-ci soit capable de synthétiser plus de matière sèche. Il est fort possible qu'il y ait en même temps consommation de luxe d'azote ; nous n'avons pu le vérifier faute d'avoir pu analyser les teneurs en azote de tous les échantillons.

Un point qui mérite la discussion est celui de la délimitation et de la dimension des taches d'urine. Nous les avons délimitées « à vue d'œil » en tenant compte de la coloration plus verte apparue sur l'herbe ; cette coloration est due à l'azote et nous ne pouvons pas être certains que la potasse n'ait pas agi dans un rayon plus grand que l'azote. D'autre part, les dimensions que nous avons trouvées (1.960 cm² environ par tache) sont assez faibles, car BROCKMAN (1) a relevé des estimations allant de 1.800 cm² jusqu'à 5.500 cm² selon les auteurs. La faiblesse des surfaces, dans le cas de notre essai, est sans doute due au fait que les épandages ont été faits au broc et par temps calme ; dans les conditions réelles de pâturage les animaux n'ont évidemment pas le souci d'un jet bien régulier, leurs propres mouvements et ceux du vent augmentent certainement beaucoup la surface affectée. Nous n'avons pas cherché à étudier l'influence de concentrations variables d'urine : les effets sont certainement plus intenses au centre des taches que vers la périphérie (effet d'« auréoles ») ; nos mesures intègrent ce qui se passe sous l'ensemble de la tache. On peut quand même se demander, étant donné ces faibles dimensions, s'il n'y a pas eu débordement des effets sur les témoins ; en effet, le centre de chaque tache et le centre du témoin correspondant n'étaient distants que d'un mètre et ceci aurait pu entraîner un nivellement prématuré des différences. En réalité, on aurait alors eu des différences systématiques entre les témoins des divers traitements ; en particulier on aurait eu des différences entre les témoins du traitement automne et ceux du traitement printemps (par exemple) à l'époque où les effets de l'épandage d'automne, mais non ceux de l'épandage de printemps, avaient cessé de se manifester. Or ceci n'a pas été le cas. On a pu d'autre part contrôler que les teneurs du sol et du sous-sol des allées (prélèvements également faits jusqu'à 40 cm) étaient comparables aux teneurs correspondantes des témoins. Les différences mesurées sont donc bien réelles.

34 Nous arrivons à la conclusion que, dans les conditions de cet essai, le gaspillage du potassium des urines est considérable. Selon l'époque de l'apport,

de 3 à 15 % seulement de cet élément ont été utilisés par les plantes. Bien que dans des périodes de sécheresse il puisse y avoir remontée du potassium depuis les couches profondes jusqu'au niveau des racines fonctionnelles, ce potassium potentiellement disponible est lui aussi en quantité très limitée (au plus 6 % de l'apport dans notre essai).

Les quantités fixées par les organes souterrains des plantes, nous l'avons dit, n'ont pas été mesurées dans cet essai mais, même si on en tient compte en leur attribuant une valeur arbitraire (fraction des quantités trouvées dans les parties aériennes), il reste que dans tous les cas la plus grande partie du potassium de l'urine est pratiquement perdue en cycle, soit par rétrogradation, soit par entraînement à grande profondeur et lessivage. Nous pouvons admettre, d'après les résultats de cet essai, que cette perte en cycle doit représenter 95 % environ pour l'apport d'automne, 75 % pour l'apport de printemps, 85 % pour l'apport d'été, pour donner des ordres de grandeur. Il serait cependant téméraire d'extrapoler ces résultats à des situations différentes de celles de cet essai par le climat et la texture du sol. Il semble que dans les sols à complexe absorbant plus fort, la rétention du potassium dure plus longtemps (6, 7), par contre, dans des sols plus légers, la persistance des effets est plutôt moindre encore : six mois dans un essai néo-zélandais (16), dix mois dans un essai américain (11), seize mois et demi dans un essai néerlandais (17).

En définitive, étant donné la grandeur des pertes sous taches d'urine et la durée de l'effet des apports, c'est la dimension et la distribution spatio-temporelle des taches qui constitue le facteur décisif pour le bilan global du potassium dans une prairie pâturée. Avec des taches suffisamment grandes et rapprochées dans le temps et dans l'espace, les pertes peuvent être, comme le pense BROCKMAN (1), assez limitées ; si par contre le régime de pâture est tel que la majeure partie de la surface ne reçoit aucune déjection, ou seulement de loin en loin, les pertes pourraient être voisines de celles que l'on constate dans les prairies fauchées.

C. PFITZENMEYER,
S.C.P.A., Mulhouse.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- (1) BROCKMAN J.S. (1970) : « Potassium requirements of intensive grass as related to system of utilisation ». Colloquium on Potassium and Systems of Grassland Farming, Grassland Research Institute, Hurley (G.-B.), 17-18, 6, 1970.
- (2) DAVIES E.B. and HOGG D.E. (1960) : « Potassium losses in pasture ». *N.Z. J. Agric.* 100 491-2.
- (3) DAVIES E.B., HOGG, D.E. and HOPEWELL, H.G. (1962) : « Extent of return of nutrient elements by dairy cattle. Possible leaching losses ». *Int. Soil Conf. New Zealand C.* 16, 3-8.
- (4) DOAK B.W. (1952) : « Some chemical changes in the nitrogenous constituents of urine when voided on pasture ». *J. Agric. Sci., Camb.* 42, 162-71.
- (5) DURING C and McNAUGHT K.J. (1961) : « Effects of cow urine on growth of pasture and uptake of nutrients ». *N.Z. J. Agric. Res.*, 4, 591-605.
- (6) GARAUDEAUX J. et CHEVALIER H. : Communication personnelle.
- (7) GETHING P.A. : Communication personnelle.
- (8) HERRIOTT J.B.D. and CROOKS P. (1970) : « Sward growth and animal excreta return effects ». Colloquium on Potassium and Systems of Grassland Farming, Grassland Research Institute, Hurley (G.-B.), 17-18, 6, 1970.
- (9) HERRIOTT J.B.D. and WELLS D.A. (1963) : « The grazing animal and sward productivity ». *J. Agric. Sci., Camb.* 61, 89-99.
- (10) HILDER E.J. (1966) : « Distribution of excreta by sheep at pasture ». Proc. 10th Int. Grassld Congr., Helsinki, 977-81.
- (11) LOTERO J., WOODHOUSE W.W. Jr. and PETERSEN R.G. (1966) : « Local effect on fertility of urine voided by grazing cattle ». *Agron. J.* 58, 262-5.
- (12) MACLUSKY D.S. (1960) : « Some estimates of the areas of pasture fouled by the excreta of dairy cows ». *J. Brit. Grassld. Soc.* 15, 181-8.
- (13) MUNDY E.J. (1961) : « The effect of urine and its components on the botanical composition and production of a grass Clover sward ». *J. Brit. Grassld. Soc.* 16, 100-5.
- (14) PETERSEN R.G., LUCAS H.L. and WOODHOUSE W.W. Jr. (1956) : « The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effect on pasture fertility : I. Excretal distribution ». *Agron. J.* 48, 440-4.
- (15) PETERSEN R.G., WOODHOUSE W.W. Jr. and LUCAS H.L. (1956) : « The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effects on pasture fertility : II. Effect of returned excreta or the residual concentration of some fertilizer elements ». *Agron. J.*, 48, 444-9.
- (16) SAUNDERS W.M.H. and METSON A.J. (1959) : « Fate of potassium applied to pasture on a soil derived from Andesitic ash ». *N.Z.J. Agric. Res.*, 2, 1211-31.
- (17) SLUIJSMANS C.M.J. (1963) : « Onderzoek naar de invloed van mest— en urineplekken op de kalihuishouding van grasland » (non publié). Rapport préliminaire de la Nederlandsche Kali Commissie 1963, communiqué gracieusement par l'auteur et par le Dr. J. TEMME, Wageningen.