

LES RESTITUTIONS DU BÉTAIL AU PÂTURAGE ET LEURS EFFETS

LA PRODUCTION FOURRAGÈRE D'UNE EXPLOITATION D'ÉLEVAGE EST ASSEZ ÉTROITEMENT DÉPENDANTE DES FLUX DE MATIÈRES ET D'ÉLÉMENTS MINÉRAUX QUI SE produisent à l'intérieur d'une parcelle ou entre les parcelles. Certains flux sont assez bien contrôlés par la récupération des fécès et des pissats à l'étable et leur redistribution à la volonté de l'agriculteur ; d'autres, au contraire, tels que le volume et la répartition des excréments au pâturage, les surconcentrations, les pertes d'azote dans l'atmosphère et le lessivage qui en résultent, échappent plus ou moins totalement à l'action directe de l'éleveur.

Quelles sont les conséquences du système de pâturage sur l'état de la prairie, son évolution et sa productivité ?

La présente revue bibliographique, portant sur plus de 90 titres d'auteurs français et anglo-saxons principalement, a été réalisée en vue de répondre à cette question.

Dans une première partie seront étudiées les caractéristiques générales des restitutions au pâturage, leur répartition et leur décomposition.

Les effets des déjections sur la production d'une pâture et les possibilités d'intervention feront l'objet de la seconde partie (1).

(1) Cette seconde partie sera publiée dans le prochain numéro de *Fourrages* (décembre 1978).

I^e partie

LES RESTITUTIONS AU PATURAGE

A. CARACTERISTIQUES GENERALES

On peut caractériser les restitutions au pâturage par leur origine et leur nature (féces ou pissats), la fréquence des émissions et les quantités excrétées, enfin par leur composition chimique.

1° Fréquence des émissions et quantités émises

La fréquence journalière des émissions est l'un des paramètres de la densité de répartition des féces et pissats sur l'étendue du pâturage. Il ressort des chiffres cités par douze auteurs que les bovins adultes défèquent en moyenne douze fois par jour et urinent neuf à dix fois. Les références concernant les ovins sont beaucoup plus laconiques sur ce sujet (tableau I A).

Les quantités excrétées sont sujettes à de fortes variations. Mac Lusky (58) met en évidence une forte corrélation ($r = 0,76$ à $P = 0,01$) entre la quantité d'aliments ingérée et la quantité de matières fécales.

Or le niveau de consommation de l'animal dépend de son poids (plus exactement son poids métabolique), de son état, des besoins à couvrir et enfin de la digestibilité des aliments proposés.

TABLEAU I A

FREQUENCE DES EMISSIONS DE FECES ET D'URINE

Auteur	Nombre de déjections/animal/ journée		Type d'animal
	Pissats	Bousats	
Castle et al (9)	9.8	11.5	Vaches laitières
Goodall (29)	11.0	12.0	—
Hammer (34)		7 à 9	Bovins à l'engrais
Hancock (33)	10.1	12.2	Vaches laitières
Johnstone-Wallace et Kennedy (45)	8.5	11.8	Bovins adultes
Mac Diarmid et Watkin (55-57)		13.9	Vaches laitières
Mac Lusky (58)		11.6	—
Morgan (62)	9.6	10.9	—
Petersen et al (66)	8.0	12.0	—
Waite et al (80)			—
Weeda (88)		10.5	Bovins à l'engrais
Whitehead (90)	8 à 12		Bovins
Whitehead (90)	8 à 24		Ovins

Pour des bovins, Whitehead (90) cite une production moyenne de :

- 16,4 g M.S. de fécès/kg P.V./jour,
 - 2,8 à 7,2 g M.S. d'urine/kg P.V./jour
- soit pour un animal de 350 kg de poids vif une déposition quotidienne de 5,8 et 1 à 2,5 kg M.S. respectivement de fécès et d'urine.

Marsh et Campling (59) parviennent à des conclusions plus modestes :

- 3,2 kg de matière organique par vache laitière et par jour, soit environ 4,0 kg de matière sèche fécale (à 20 % de cendres) et 28,6 kg de fécès humides. Les chiffres proposés pour des animaux à l'engrais sont légèrement inférieurs.

Pour les ovins au pâturage, Spedding (76) parvient aux chiffres suivants :

- 8,3 g M.S. de fécès/kg P.V./jour,
- 1,4 à 7,2 g M.S. d'urine/kg P.V./jour.

2° Eléments chimiques contenus dans les déjections

Répartition des éléments restitués entre les fécès et l'urine.

D'une manière générale, les différents éléments excrétés sont inégalement répartis entre les excréments solides, qui concentrent en grande partie les phosphates, le calcium et le magnésium, et les excréments liquides qui drainent potasse, sodium ainsi qu'une forte proportion de l'azote restitué (tableau II A et figure III A). Le solde (ce qui n'est pas restitué par les déjections) est distribué selon les besoins de production (viande, phanères, lait, sueur...).

TABLEAU II A

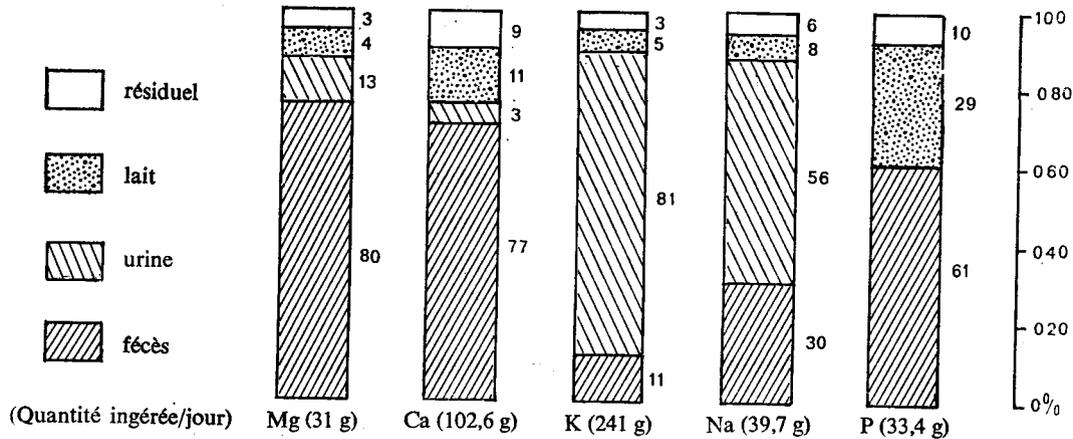
REPARTITION DES ELEMENTS RESTITUES
(en % des éléments ingérés chez des bovins laitiers au pâturage)
(Hutton et al, 41)

	N	P	K	Ca	Mg	Na
% d'éléments restitués dans les bouses	26	66	11	78	77	30
% d'éléments restitués dans l'urine	53	trace	81	trace	3	56
% total d'éléments restitués en fonction des éléments ingérés	79	66	92	78	80	86

FIGURE III A

EXCRETION D'ELEMENTS A TRAVERS FECES, URINE
ET PRODUCTION LAITIERE

(en % des éléments ingérés chez des bovins laitiers au pâturage)
(Davies et al, 16)



Hutton et al (43) montrent que la quasi-totalité des éléments sous forme non digestible se retrouvent dans les fécès. La partie digestible éliminée par l'organisme l'est dans l'urine (tableau IV A).

Ainsi, pour un aliment donné, la composition des fécès peut être considérée comme constante, tandis que celle des urines sera plus largement sensible aux besoins de production de l'animal.

TABLEAU IV A

REPARTITION DES ELEMENTS INGERES ENTRE FECES, URINE
ET PRODUCTION LAITIERE POUR DES BOVINS LAITIERS AU PATURAGE

(Hutton et al, 43)

Elément	Consommation journalière par animal	Digestibilité	Fécès % de la quantité d'élément ingérée	Urine	Lait	Résiduel
K	245.7 g	88 %	11.1	81	5	2.9
Na	39.9 g	67 %	30.5	55.9	7.9	5.7
Ca	103.7 g	22 %	77.1	3.0	10.9	9.0
P	33.9 g	34 %	65.8	—	25.7	8.4
N	366 g	74 %	25.6	53.0	17.1	4.3

Barrow et Lambourne (2) estiment que selon la richesse en azote ou en soufre de l'aliment,

- la proportion excrétée dans l'urine peut varier de 45 à 80 % et 6 à 90 % respectivement,
- la proportion d'azote fécal étant, elle, directement fonction de la digestibilité de la matière organique consommée (Thomas et Campling, 77).

Azote fécal = A — Bd d = digestibilité de la M.O. de l'aliment.

Composition chimique.

● *Les fécès* sont essentiellement constitués d'eau, de résidus de fourrage non digérés, de produits endogènes, de micro-organismes et des produits de leur métabolisme (Marsh et Campling, 59).

L'eau est fonction de l'humidité des aliments consommés et sujette à des variations saisonnières. Elle constitue environ 83 % du poids des fécès chez les bovins et 70 % chez les ovins (Herriot, 37 ; Frison, 24).

L'azote : La concentration en azote varie généralement de 2,0 à 4 % de la matière sèche chez les bovins (moyenne 2,4 %) (Herriot, 37 ; Frison, 24) et de 1,5 à 4,5 % pour les ovins (moyenne 2,7 %) (Spedding, 76). Elle serait fortement liée à la digestibilité du fourrage ingéré (Thomas et Campling, 77).

Les éléments minéraux : la teneur moyenne des matières fécales en minéraux est située dans une fourchette assez étroite, par trois auteurs différents.

TABLEAU V A

TENEUR MOYENNE DES FECES EN ELEMENTS MINERAUX
(en % M.S. fécale)
(Frison, 24 ; Herriott, 37 ; Coppenet, 13)

Elément	Bovins	Ovins
P ₂ O ₅	1.4	1.5
K ₂ O	1.2-1.4	1.6
CaO	2.9	
MgO	0.6	0.2 à 0.7
Na	0.8	0.05 à 0.45

Cependant ces teneurs moyennes sont très imprécises puisque l'excrétion est fonction :

- de la richesse du fourrage ingéré (tableau VI A),
- de la digestibilité des éléments absorbés.

TABLEAU VI A
VARIATION DE LA TENEUR EN DIFFERENTS ELEMENTS
DES FECES SELON LE MODE D'ENTRETIEN DES PATURES
(en % M.S. fécale)
(During et Weeda, 21-22)

<i>Teneur en % MS fécale</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>Mn</i>
Prairie non fertilisée moyenne	2.06	0.44	1.00	1.21	0,44	0.27	0.065
Prairie bien entretenue moyenne	2.87	0.99	1.31	1.95	0.64	0.38	0.026

La silice : elle provient essentiellement de particules terreuses ingérées en même temps que le fourrage et peut représenter 20 à 40 % de la M.S. fécale.

Les microorganismes : des bactéries, mortes ou vivantes (Lohnis et Fred cités par 59), originaires en majorité du rumen atteignent parfois 10 à 20 % du poids de fécès. Mason (61) estime que chez les ovins, 60 % de l'azote se retrouve sous forme bactérienne.

● *L'urine*, moins complexe, est encore plus sujette à variations puisque son rôle est l'élimination de ce qui n'est ni excrété par les fécès, ni utilisé par l'animal.

L'eau représente en moyenne 90 % de la masse restituée, 92 à 93 % chez les bovins et 87 % chez les ovins (Herriott, 37 ; Frison, 24).

L'azote : Whitehead (90) cite une concentration moyenne de 0,8 % de l'urine fraîche chez les bovins (0,25 à 1,30 %) et 0,9 % — chez les ovins (0,60 à 1,50 %).

Exprimé en % de la M.S., Frison (24) et Herriott (77) observent des valeurs moyennes de 10 à 11 % pour les bovins et 9,2 % pour les ovins.

L'azote urinaire se distribue de la façon suivante (Doak, 18) :

- 75 % sous forme d'urée,
- 4,1 % sous forme d'allantoïne,
- 2,6 % sous forme d'acide hippurique,
- 1,5 % sous forme de créatine ou créatinine,
- 12,4 % sous forme d'azote aminé.

Les éléments minéraux : leur importance relative dans la M.S. urinaire a été précisée par Spedding (76) pour les ovins et par divers auteurs : (Kosmat, 48 ; Petersen et al, 66 ; Pfitzenmeyer, 69) pour les bovins (tableau VII A).

TABLEAU VII A
TENEUR EN MINÉRAUX D'URINE DE BOVINS ET OVINS
en mg pour 100 g d'urine fraîche (1) ou en g pour 100 g (2)

<i>Auteur</i>	<i>P (1)</i>	<i>K (2)</i>	<i>Ca (1)</i>	<i>Mg (1)</i>	<i>Na (1)</i>
<i>Espèce ovine</i>					
Spedding (76)	6 à 14	0.7 à 2.0	5 à 45	7 à 113	0.95 à 50
Frison (24) - Herriott (37)	2	1.0			
<i>Espèce bovine</i>					
Kosmat (48)	4,0	1.04	100		
Petersen et al (66)	4,0	0.96			
Pfitzenmeyer (69)	4 à 8	1.00 à 1.40			
Frison (24) - Herriott (37)					
Coppenet (13)	2	1.00 à 1.25	4		

Il semble difficile de déterminer de façon précise la composition chimique élémentaire de l'urine. On y retrouve en effet la partie digestible des éléments ingérés en excès par rapport aux besoins de l'animal. Plus encore que pour les fécès, richesse de la ration et niveau de production zootechnique peuvent modifier la composition.

3° Importance des retours

Un troupeau produisant 10.000 litres de lait par an exporte seulement 15 kg P₂O₅, 18 kg K₂O et 18 kg CaO.

Un troupeau produisant 1.000 kg de viande ne fixe que 19 kg P₂O₅, 5 kg K₂O, 23 kg CaO et 30 kg N. (Kerguelen, 46 et Davidson, 15). La quantité qui est retournée sous forme de déjections est très importante (cf. A 21) et peut atteindre annuellement pour une vache laitière (Davies et al, 16) :

N 120 kg d'azote
P 85 kg de superphosphate (7,4 kg P)
K 135 kg de chlorure de potassium (81 kg K)
Ca 120 kg de gypse (35 kg Ca)
Na 30 kg de chlorure de sodium (12 kg Na)

ou d'après Frison (24), pour une vache de 600 kg :

83 kg N
11 kg P
86 kg K
39 kg Ca

pour une brebis non allaitante, annuellement :

N 14,6 kg d'azote (1)
P 13,2 kg de superphosphate (à 8,7 % P) (1)
28,8 kg de superphosphate (à 8,7 % P) (2)
K 34,4 kg de chlorure de potassium (2)
S 1,15 kg de soufre (2)

Référence : (1) Barrow et Lambourne (2).

(2) Sears et al. (73) : sur pâture intensive.

Les quantités retournées au sol par les animaux au pâturage sont sous la dépendance de facteurs plus ou moins contrôlables :

- climat,
- nature du sol,
- espèces végétales composantes de la prairie,
- méthodes de fertilisation et de pâturage.

B. MODE DE REPARTITION DES DEJECTIONS

Selon Marsh et Campling (59), la distribution des fécès et de l'urine suit une progression hasardeuse, mais ici le hasard est contrarié par certaines habitudes grégaires ou tout simplement l'attraction de lieux préférentiels pour les animaux :

- les points d'eau,
- les barrières ou les haies,
- les abris offrant notamment de l'ombre,
- certaines surfaces utilisées comme aires de repos.

De plus, l'intensité de couverture de la parcelle pâturée est tributaire :

- de la durée de pâturage,
- du niveau de la charge,
- du rythme quotidien de couverture du sol.

Par contre, la topographie n'aurait pas d'influence précise sur leur répartition pendant le pâturage proprement dit (Petersen et al, 67).

1° Lois de répartition

Cas de recouvrements inférieurs à 50 % :

Cette loi de distribution, très simple, peut s'exprimer sous la forme :

$$P = 100 \times N \times \frac{a}{A} = 100 \times Dt$$

où P = pourcentage de surface pâturée, couverte une fois au moins par une déjection.

N = nombre de déjections : n x T
avec n = nombre d'émissions

T = temps de pâture

a = surface couverte par une déjection

A = surface pâturée

$$Dt = N \frac{a}{A}$$

Elle ne prend en compte ni les possibilités de recouvrement des bouses, ni la tendance à la surfertilisation de certaines zones.

On peut cependant l'utiliser lorsque la densité de recouvrement du sol ou plus exactement d'affectation du sol n'excède pas 50 % de la surface totale pâturée. On dit que le sol est affecté par une déjection lorsque l'effet fertilisant se fait sentir, même si la déjection n'est pas visible.

Mac Lusky (58) établit ainsi qu'une parcelle de 1 ha peut être fertilisée à 50 % (limite d'utilisation de cette loi) en un an par 1,7 tête de bovins pâturant librement (fig. I B).

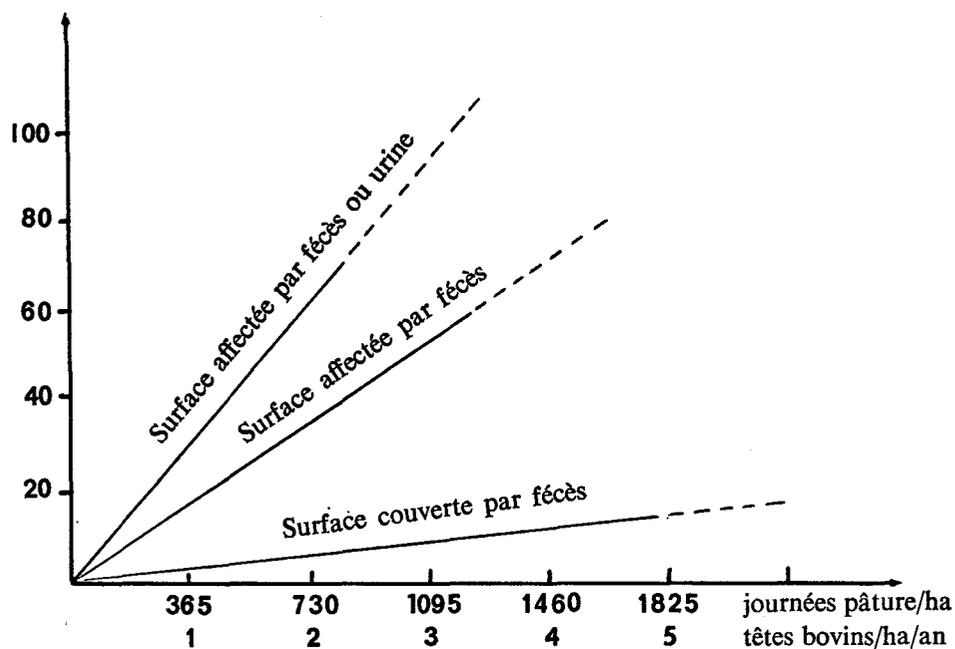


Fig. 1 B

AUGMENTATION DES SURFACES FERTILISEES
SELON LE TEMPS DE PATURAGE

(Mac Lusky, 40)

Cas des fortes densités de recouvrement (fort chargement ou longue période) :

Lorsque le taux d'affectation augmente pour devenir voisin de ou supérieur à 50 %, les probabilités de recouvrement et les possibilités de surfertilisation de certaines zones de la parcelle ne peuvent plus être négligées. On utilise alors la loi de probabilité établie par Petersen et al (66-67) de la forme :

$$P_t(r) = \frac{(k + r - 1)}{r(k - 1)} \times \frac{R^r}{q^r} \quad (\text{cf tableau II B})$$

avec $P_t(r)$ = probabilité qu'une zone pâturée soit couverte par t déjections à l'instant t (proportion de la zone couverte par t déjections)

k = paramètre, strictement positif, traduisant la tendance de l'animal à concentrer ses déjections en un point particulier de la parcelle (zone de repos, d'ombre, abreuvoir...)

$$\text{et } q = \frac{k + Dt}{k} \quad R = \frac{Dt}{k + Dt}$$

où Dt = densité des déjections à l'instant t = $Nt \times \frac{a}{A}$ (cf 11)

On peut aboutir à une simplification de cette équation en n'étudiant que la zone globalement fertilisée, sans différencier les parties recouvertes 1, 2, 3 ou n fois par une déjection (Richards et Wolton, 71). Puisque $P_t(0) = \frac{1}{q^k}$, le pourcentage de surface pâturée fertilisée au moins une fois équivaut à :

$$[1 - P(0)] \times 100 \% = 100 \% - 100 \left[\frac{k+D}{k} \right]^k \%$$

Le coefficient k , qui concrétise la tendance à la surfertilisation, a été fixé autour de 1,5 à 2,0 par Petersen et al (66-67) et déterminé de façon empirique par Richards et Wolton (72) comme pouvant varier de 5 à 10 (6,7 en moyenne).

Les paramètres des lois de répartition.

La densité moyenne des déjections D_t à l'instant t est elle-même décomposable en :

$$D_t = N \times \frac{a}{A}$$

avec N = nombre de déjections excrétées sur la parcelle de surface A
 = niveau de charge x nombre de journées de pâturage x nombre quotidien de déjections.

Le niveau de charge moyen

Dans le premier modèle, pour une même durée du pâturage, le niveau de charge (charge annuelle moyenne) modifie linéairement la densité moyenne de répartition Dt.

Par contre, si l'on utilise l'équation de Petersen et al. (67), on remarque que la surface couverte n'augmente pas proportionnellement à la charge instantanée (tableau II B).

TABLEAU II B

INFLUENCE DE LA CHARGE SUR LA REPARTITION
DE LA POTASSE SUR LA PATURE
(d'après Petersen et al, 67)

<i>Charge annuelle moyenne (UGB/ba)</i>	<i>Nombre de journées de pâture de gros bétail (journées d'UGB/ba/an)</i>	<i>Surface moyenne fertilisée en potasse à un niveau supérieur ou égal à 20 kg K₂O/ba (en % surface totale)</i>	<i>Dt x 100</i>
0,83	300	13	17
2,50	900	34	51
7,50	2 700	71	153

En effet, plus une pâture est exploitée de façon intensive, plus le nombre de déjections croît et avec lui les fréquences de recouvrement des bouses. On ne peut donc plus, à partir d'une certaine valeur de la densité moyenne de répartition (50 % d'après Mac Lusky, 58 et Richards et Wolton, 71) négliger ce facteur.

Cependant, à la suite d'observations empiriques, il semblerait que les fécès soient mieux répartis sous une forte pression de pâturage (Richards et Wolton, 71).

Par contre, dans les pâturages libres à ovins, le comportement très grégaire de ces animaux conduit à une surfertilisation très localisée et à un appauvrissement relatif des trois quarts de la parcelle de façon pratiquement indépendante du niveau de charge (Hilder, 39) (tableau III B).

TABLEAU III B
**INFLUENCE DU NIVEAU DE CHARGE SUR LA REPARTITION
 DES EXCRETATS SUR UNE PATURE A OVINS
 AU COURS D'UNE SAISON DE PATURAGE (1)**

Charge moyenne (ovins/ha)	% de fécès localisés sur 6,25% de la surf. totale (2)	% de la parcelle	
		enrichie	appauvrie
7.5	46	27	73
12.5	31	29	71
17.5	32	28	72
ppds 0.05	8.4	NS	NS
0.01	11.4	NS	NS

(1) Cette répartition est observée après 4 mois de pâture et se perpétue ensuite.

(2) Ces 6,25 % de la surface pâturée correspondent à l'aire de repos des animaux (1/16^e de la surface offerte).

On aboutit aux mêmes conclusions quant à la distribution de l'urine, évaluée à travers la concentration en potassium du sol (tableau IV B ; Hilder, 39).

TABLEAU IV B
**VARIATION DE LA CONCENTRATION
 EN POTASSIUM ECHANGEABLE**
*(dosé en meq/100 g de terre, dans la couche de sol située entre 0 et 10 cm
 entre les années 1963 et 1965)*

Charge moyenne (ovins/ha)	Distance au centre de l'aire de repos (en m)				
	2	6	20	80	160
7.5	+ 2,29	+ 1,02	+ 0,14	+ 0,02	- 0,11
12.5	+ 2,19	+ 1,03	+ 0,21	+ 0,03	- 0,03
17.5	+ 1,08	+ 1,56	+ 0,16	+ 0,03	- 0,07

Ainsi, dans tous les cas, ce sont près de 50 % des restitutions qui se concentrent sur moins de 20 % de la parcelle et 10 à 20 % sur à peine 1 % (Hilder, 39 ; Spedding, 76).

La surface couverte par une déjection (a).

Nous avons montré l'influence de N sur Dt, mais la densité moyenne de déjections est aussi proportionnelle à a, la surface couverte par une seule déjection.

Même ici, les chiffres cités par divers auteurs ne coïncident pas tout à fait. Il faut en effet indiquer que la surface occupée par une déjection est fonction :

- de la quantité excrétée (donc de la digestibilité et de la quantité d'aliments ingérés),
- de la fluidité des bouses (donc de l'humidité du régime),
- de la mobilité des animaux,
- de la hauteur du fourrage exploité en pâture.

Ainsi Petersen et al (66), s'appuyant sur les résultats de Giobel et Nilsson (1933), Johnstone - Wallace et Kennedy (45) et Norman et Green (65), citent une surface moyenne pour un bousat de 0,09 m² (0,06 à 0,13) et de 0,27 m² pour un pissat.

Richards et Wolton (71) sont plus pessimistes pour la surface occupée par un bousat (0,05 m²) et plus larges pour les pissats (0,49 m²).

Par journée de pâturage, les estimations varient aussi du simple au double (tableau V B).

TABLEAU V B

SURFACE MOYENNE COUVERTE PAR LES DEJECTIONS (BOVINS)
(par journée de pâture)

<i>Auteur</i>	<i>Surface couverte par les bouses (m²)</i>	<i>Surface couverte par des pissats (m²)</i>
Petersen et al (66)	1.11	2.24
Mac Diarmid et Watkin (57)	0.92	—
Mac Lusky (58)	0.68	—
Richards et Wolton (71)	0.60	4.41

Des variations saisonnières peuvent intervenir, liées à la teneur du régime en matière sèche (Mac Diarmid et Watkin, 57) (tableau VI B).

TABLEAU VI B
VARIATION SAISONNIERE (BOVINS LAITIERS)
DE LA SURFACE MOYENNE JOURNALIERE
COUVERTE PAR LES DEFEICATIONS

<i>Saison</i>	<i>Race</i>	<i>Surface couverte (m²)</i>
Hiver	Frisonne (72)	0.92
Printemps	Jersey (40)	0.84
Eté	Jersey (40)	1.21

La surface affectée par une déjection.

Là encore il existe un foyer de divergence entre les auteurs, dont certains estiment que la zone d'influence d'une déjection ne se limite pas à la surface où elle est strictement en contact avec le sol.

Ainsi, alors que Petersen et al (67) admettent l'hypothèse où seule la surface couverte est susceptible de bénéficier de l'effet fertilisant des déjections, divers auteurs : Mac Lusky (58), Norman et Green (65), Greenhalgh et Reid (30), During et Weeda (21), Lotero et al (53), mettent en avant une surface affectée variant de 5 à 12 fois la surface couverte (6 en moyenne).

Abondant dans ce sens, Boswell et Smith (4) montrent que le piétinement des animaux disperse des particules de matière fécale sur une surface cent fois supérieure à celle recouverte visuellement par une bouse.

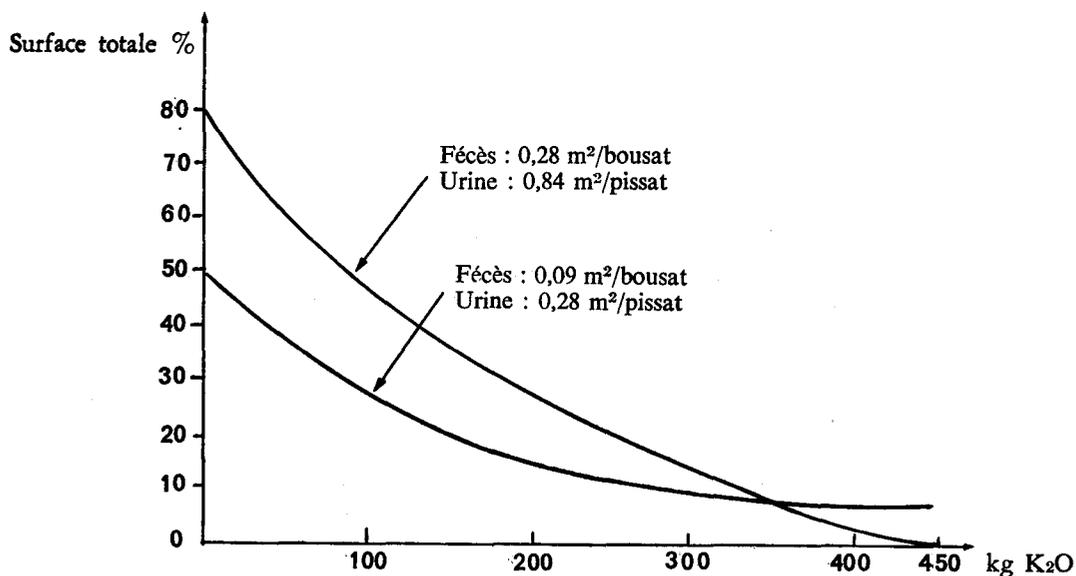
Ce ratio « S affecté / S couverte » a tendance d'une part à diminuer lorsque la pression de pâturage augmente (Greenhalgh et Reid, 30), d'autre part à croître :

- avec l'humidité du régime alimentaire (During et Weeda, 21),
- avec la hauteur du fourrage pâturé (Mac Lusky, 58).

Ainsi que le montre la figure VII B (Petersen et al, 67) il importe de cerner aussi précisément que possible cette donnée qui conditionne fortement la valeur fertilisante des déjections.

FIG. VII B

COURBE DES FREQUENCES CUMULEES DES SURFACES
CONSIDEREES COMME BENEFICIAINT DE DIFFERENTS NIVEAUX
DE FERTILISATION POTASSIQUE (1)
SELON L'IMPORTANCE DES SURFACES COUVERTES
PAR LES DEJECTIONS
(Chargement = 2,5 UGB/ha)



Ainsi, sur une partie pâturée régulièrement par 2,5 UGB/ha, 50 % de la parcelle a à sa disposition en permanence une dose de potasse de l'ordre de 25 kg/ha. Si l'on triple la surface couverte par les déjections, ce sont 80 % de la surface pâturée qui bénéficieront de cette fertilisation.

(1) On suppose un apport initial de 500 kg de potasse sous les bousats et les pissats et une dégradation mensuelle du stock initial de 5 %.

Remarque. — La surface affectée peut différer de la surface couverte notamment à cause des extensions latérales de racines, rhizomes ou stolons émis par des plantes extérieures à la zone couverte (Petersen et al, 67).

Taux de disparition des éléments présents dans les déjections.

Nous passerons en revue ultérieurement les renseignements concernant la rémanence des différents éléments contenus dans les déjections.

D'une façon générale, il faut cependant concevoir dès maintenant l'importance de cette donnée, envisagée sous un angle mathématique, à travers l'exemple du potassium donné par Petersen et al (67).

Si l'on suppose qu'une déjection apporte localement une dose équivalente à 565 kg de potasse/ha, au bout de plusieurs années de pâture, un état stable est en place pour lequel les zones récemment recouvertes bénéficient d'un enrichissement maximum tandis que les zones plus anciennement affectées voient leur stock initial réduit, selon un taux d'appauvrissement fixé par l'importance des phénomènes :

- de rétrogradation
- de lessivage
- d'absorption par le végétal.

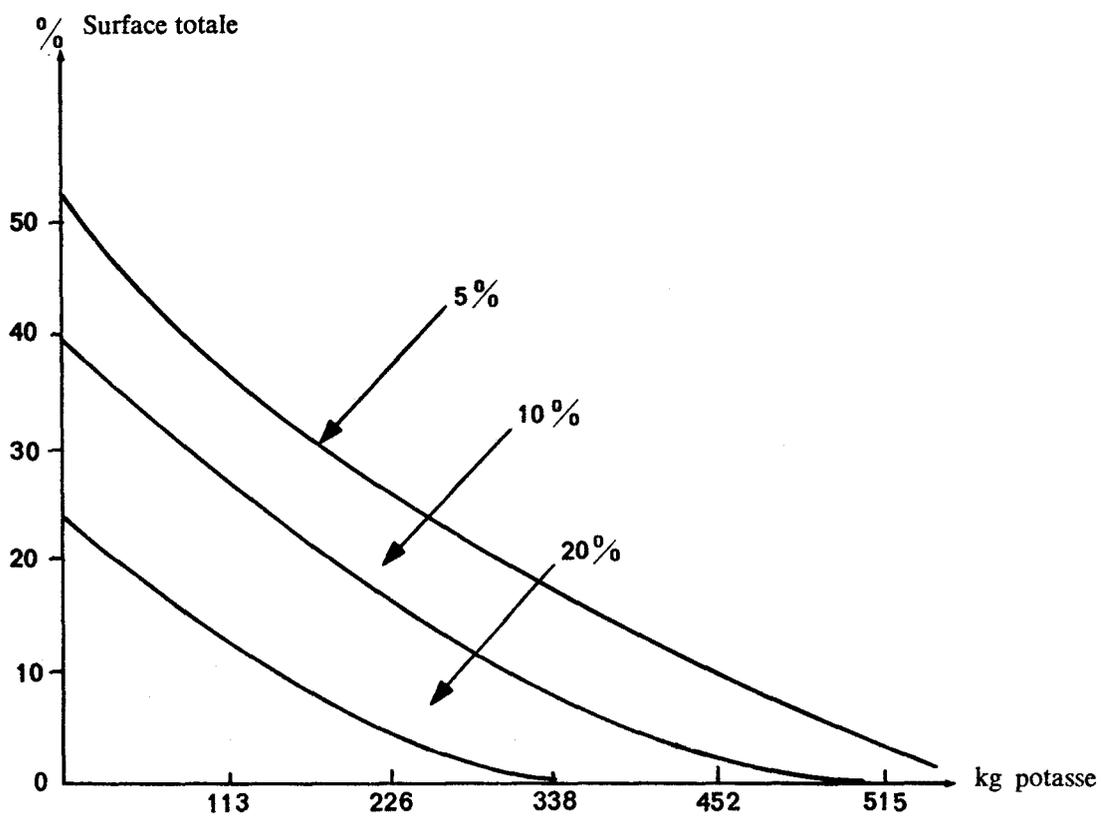
Ainsi, plus ce taux d'appauvrissement est élevé, plus la disparition du stock de potasse en un point est rapide et par conséquent plus la part de pâture bénéficiant d'une réserve est négligeable (fig. VIII B).

Pour trois taux hypothétiques (5, 10 ou 20 % par mois), l'état d'équilibre se caractériserait ainsi par un stock d'au moins 25 kg de potasse pour :

- plus de 50 % de la pâture au taux de — 5 %/mois
- 35 % de la pâture au taux de — 10 %/mois
- 20 % de la pâture au taux de — 10 %/mois.

FIG. VIII B

FREQUENCES CUMULEES DES SURFACES BENEFICIANT
D'UNE RESERVE DE FERTILISATION POTASSIQUE
POUR TROIS TAUX D'APPAUVRISEMENT
DE LA ZONE RACINAIRE DU SOL
(Petersen et al, 67)



Exemples d'utilisation (Richards et Wolton, 71).

Pour une seule pâture, la proportion couverte par les déjections peut être évaluée de façon suffisamment précise par l'équation :

$$P = 100 \times Dt$$

Dans ce cas en effet, Dt est fort inférieur à 0,5 et les probabilités de recouvrement entre déjections demeurent négligeables.

Soit une surface couverte moyenne de 0,49 m² pour un pissat, de 0,05 m² pour un bousat en supposant un nombre approximatif de 12 défécations et 9 urinations par jour. On peut calculer Dt, la densité moyenne de répartition des excréments :

pour l'urine Dt = 0,000441 × nombre de journées de pâture

pour les fécès Dt = 0,000060 × nombre de journées de pâture

(cf tableau IX B)

TABLEAU IX B

DENSITE MOYENNE DES EXCRETATS (Dt)
POUR UNE SEULE PATURE A DIVERS NIVEAUX DE CHARGE

Niveau de charge = Nbre de têtes x Nbre de jours de pâture/ha	Dt urine	Dt fécès
100	0.0441	0.0060
125	0.0551	0.0075
150	0.0661	0.0090
175	0.0771	0.0105
200	0.0882	0.0120

Si l'on table sur un effet rémanent

— pour l'azote urinaire de 3 mois (Blagdon, 1969 ; During et Mac Naught, 20 ; Norman et Grenne, 65 ; Sears et Thurston, 74),

— pour l'azote fécal et la potasse urinaire de 2 ans (Blagdon, 1969 ; Brocman, 1971 ; During et Mac Naught, 20 ; Norman et Green, 65),

le nombre de pâtures concernées augmente : il est respectivement de 3 et 14 dans ces deux exemples.

Au bout de 3 pâtures de 200 journées UGB chacune, Dt vaut 0,26. Si on utilise la loi binominale négative (avec un k égal à 7,0), P est alors égal à 23 %. On peut donc ici encore utiliser $P = 100 Dt$ avec une faible marge d'erreur.

Cependant, lorsque le nombre de pâtures concernées par l'effet rémanent des restitutions est de 14, Dt devient égal à 0,168 pour les fécès et 1,235 pour l'urine. Si l'on peut encore négliger les possibilités de recouvrement dans le premier cas, il faut par contre en tenir compte dans le second où, en posant k égal à 7,0, la loi binominale de Petersen et al (66) donne une proportion effectivement couverte (une ou plusieurs fois) par l'urine de 68 %.

2° Répartition des déjections dans le temps

Si la répartition des déjections présente une grande hétérogénéité dans l'espace comme nous venons de l'étudier, elle n'en est pas pour autant régulière tout au long du jour. Ainsi, un troupeau bovin pâture successivement deux parcelles différentes, l'une durant le jour, l'autre durant la nuit, tend inévitablement à appauvrir la première au profit de la seconde car une majorité des excréments s'effectue entre la traite du soir et celle du matin, plus précisément de 18 h à 2 h selon Mac Lusky (58) et Goodall (29) (tableau X B).

TABLEAU X B
REPARTITION DES DEJECTIONS
ENTRE PARCS DIURNE ET NOCTURNE
(d'après Hancock, 34)

<i>Auteurs</i>	<i>Temps passé au parc diurne (% 24 h)</i>	<i>Restitution au parc diurne (% restitutions quotidiennes)</i>	
		<i>Fécès</i>	<i>Urine</i>
Castle, Foot et Halley (9)	49	41	37
Hancock (33)	58	55	53
Morgan (62)	45	40	40
Wardop (84)	43	34	37

De la même façon, Castle et Halley (9) estiment que 52 % des déjections fécales se produisent entre la traite du soir et celle du matin, et 12 %

lors de la traite ou de déplacements de parcelles. Goodall (29) les répartit entre 46 % pendant la nuit, 43 % pendant le jour et 11 % dans les déplacements.

Le comportement grégaire des ovins provoque une forte concentration de fumure pendant la nuit, qui n'a pas été précisément chiffrée.

3° Comment corriger l'irrégularité de répartition des déjections ?

Nous pouvons citer quelques moyens d'action imaginés pour pallier à la forte hétérogénéité de répartition des restitutions sur les parcelles pâturées :

- intervention de moyens mécaniques, ébousages, hersage en vue d'une redistribution des fécès,
- fauchage des refus ou alternance de fauches et de pâtures, afin de permettre une accélération du cycle des éléments sur la parcelle,
- modification des méthodes de pâturage, parcage des animaux en nuitée pour bénéficier de la concentration locale des déjections en la dirigeant,
- substitution du pâturage tournant au pâturage libre et réduction de la taille des parcelles.

Nous discuterons de l'efficacité de ces diverses techniques après avoir exposé le rôle joué par les déjections sur le pâturage et aussi sur le comportement des animaux qui l'exploitent.

C. DECOMPOSITION DES DEJECTIONS

1° Décomposition des fécès

Lorsqu'un bousat ou une crotte tombe sur le sol, elle devient rapidement le siège d'agressions physiques ou biologiques qui tendent à la faire disparaître de la surface. Les multiples acteurs de cette dégradation ont été décrits (Marsh et Campling, 59) :

— de petits animaux, pour la plupart invertébrés (larves d'insectes, mouches coprophages puis lombricides) creusent des galeries, enfouissent des fragments de matière fécale (Whitt, 1960 ; Mohr, 1942 cités par Marsh et Campling, 59). Laurence (1953) estime que lors des premières phases de décomposition, 1/8 du poids des bouses est constitué par des larves d'insectes ;

- des oiseaux en quête de nourriture fouillent et picorent la bouse ;
- la pluie maintient une humidité et un état physique favorables à l'activité biologique ; en son absence, une croûte protectrice se développe en surface et fait obstacle à la décomposition (Weeda, 67) ;
- des micro-organismes interviennent enfin, bactéries essentiellement, dont l'activité peut être tant aérobie qu'anaérobie, mésophile ou thermophile ; certaines moisissures et quelques protozoaires s'attaquent principalement à la cellulose.

Cette décomposition produit dans un premier temps du dioxyde de carbone, des nitrites, des nitrates, de l'ammoniac et de l'eau et prépare la synthèse de composés humiques à grosse molécule.

Le laps de temps nécessaire à l'accomplissement de la chaîne de phénomènes qui mène à la disparition des bouses varie selon :

- le climat (la pluie agit comme un accélérateur) (Weeda, 88 ; Mac Diarmid et Watkin, 57 ; tableau I C),
 - la quantité d'azote disponible pour les micro-organismes,
 - l'abondance d'invertébrés (notamment de lombricides) dans le sol.
- Ainsi, un sol de prairie est plus rapidement nettoyé qu'un sol de culture annuelle (Neilson, 1951 ; Waters, 1951 cité par Marsh et Campling, 59).

TABLEAU I C

REMANENCE DES DEFECATIONS SUR SOL DE PRAIRIE
SELON L'EPOQUE D'APPLICATION

(Mac Diarmid et Watkin, 57)

Nombre de jours écoulés depuis la pâture	Pourcentage de bousats encore visibles selon l'époque d'application		
	Hiver	Printemps	Eté
0	100	100	100
16		98	
24	4		
35		91	
41			99
55		2	
59			89
80			21
98			7

*Restitution du
bétail au pâturage*

L'effet des fécès sur le sol se fait sentir à deux niveaux :

— l'amélioration des propriétés physiques du sol. Kosmat (48) constate une amélioration de la stabilité structurale (+ 50 %) et de l'aération du sol (+ 58 %) parallèlement à l'augmentation du taux d'humus (+ 10 %), tandis que Daring et Weeda (22) pensent que cette amélioration des propriétés structurales du sol amène un croît des réserves en eau du sol ;

— l'amélioration des propriétés chimiques.

L'effet de la remise en circulation des éléments prélevés dans le fourrage par les animaux est d'autant plus intéressant qu'il permet une accélération des flux à deux niveaux :

— les restitutions succèdent rapidement à l'ingestion et peuvent être décomposées bien avant que les refus contemporains soient incorporés à la litière ;

— d'autre part, Kajak (1974) constate que le taux de minéralisation de la matière organique d'origine animale est plus élevé que celui des végétaux morts (tableau II C).

TABLEAU II C
TAUX DE MINÉRALISATION DE FECES ET DE MATIÈRE VÉGÉTALE
(Kajak, 1974)

	<i>Taux de minéralisation</i>			<i>Auteurs</i>
	<i>Période (jours)</i>	<i>Rythme mg/l</i>	<i>Taux %/jour</i>	
M.O. animale	moy.		1.28	
Fécès (bovins)	13	200	1.54	Mac Diarmid et Watkin (1972)
	30	310	1.03	
Fécès en place dans un habitat de Lolio-Cynosuretum cristati (ovins)	13-15	200-210	1.4-1.54	Olechowicz (1974)
	30	320	1.07	
M.O. végétale	moy.		0.63	
Lolio cynosuretum cristati	30	190	0.63	Andrzejewska (1974)
Spartina alterniflora	30	220	0.73	Odum et De La Cruz (1967)
Serratuleto-festucetum	30	175	0.45	
Glaciola officinalis				
Carex praecox	30	135-150	0.45-0.50	Jarklowa (1972)
Glycerietum maxime	30	165	0.55	
Stellario-Deschampsietum	30	144	0.48	Jakubczyk (1971)
Arrhenatheretum elatoris	30	249-420	0.83-1.40	Lomnicki et Bandola (1967)

Selon certains résultats non encore publiés (Loiseau, 1978), il semblerait que la vitesse de minéralisation des fécès de brebis soit plus rapide sur un sol de prairie entretenue que sur un pâturage dégradé. Par contre, il n'y a guère de différence pour les litières (tableau III C).

TABLEAU III C

VITESSE DE MINERALISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE VEGETALE ET ANIMALE
SUR LES SOLS DE PRAIRIES DIVERSEMENT INTENSIFIES
(Loiseau, 1977)

	Litière sur nardaie		Crottes sur nardaie		Crottes sur prairie à base de fétuque rouge-paturin tr. blanc
	F	T	F	T	
Disparition hors-sol de matières organiques					
MS 1 ^{er} jour (30 juin)	100	100	100	100	100
MS 76 ^e jour (24 août)	78	80	55	68	50
Vitesse de décomposition (en %/jour)	0.29	0.26	0.59	0.42	0.66
MS 104 ^e jour (20 sept.)	76	78	55	65	42
Vitesse de décomposition (en %/jour)	0.23	0.21	0.43	0.34	0.56

● *Le pH* — le pH a tendance à augmenter sous l'action des fécès, permettant la libération d'éléments fixés à pH faible (phosphates par exemple) (During et Weeda, 22). Mais cette hausse est franche pour les quatre premiers centimètres du sol, modérée pour les quatre suivants et pratiquement nulle au-delà de 8 cm (Davies et al, 16).

● *L'azote* — les fécès apportent un gain en azote total au sol (During et Weeda, 22). Cet azote fécal reste dans le sol beaucoup plus longtemps que l'azote urinaire. Présent sous forme organique, il est moins rapidement assimilable mais offre moins de prise au lessivage.

During et Mac Naught (20), Norman et Green (65), Sears et Thurston (74) estiment que sa rémanence dans le sol avoisine deux ans tandis que During et Weeda (22) constatent la présence de 20 % de l'azote fécal dans les 2,5 premiers centimètres trois ans après l'application.

Au bout d'un an, Davidson (15) observe en profondeur (à 0,30 m) un enrichissement du sol en azote tant organique qu'inorganique.

La perte d'azote par volatilisation est négligeable (4,7 % de l'azote fécal). Elle se produit pendant la première semaine (78 %) et ne concerne que la fraction ammoniacale (Mac Diarmid et Watkin, 56).

● *Les phosphates* — la concentration du sol en phosphates assimilables augmente sous l'effet de deux facteurs combinés :

— l'apport brut des phosphates présents dans les fécès,

— la libération de phosphates bloqués, grâce à l'amélioration du pH.

Kosmat (48) cite ainsi un enrichissement du sol de 50 % à la suite de l'apport de bousats. Selon Davies et al (16), ces phosphates seraient localisés dans les 5 premiers centimètres du sol.

Les pertes par lessivage sont négligeables puisque le phosphore est un élément très peu mobile.

● *La potasse* — tout le potassium apporté se trouve sous forme hydrosoluble (Davies et al, 16), donc rapidement assimilable par la plante.

Kosmat (48) trouve une élévation des réserves du sol de l'ordre de 120 %. La rémanence de cet élément dans le sol serait voisine de vingt mois d'après During et Weeda (22), plus proche de trente mois selon Petersen et al (67).

● *Les autres éléments* — le sol s'enrichit de façon parallèle en magnésium et calcium échangeable (During et Weeda, 22) ; Davies et al (16) notent un enrichissement en calcium échangeable de 10 % dans les quatre premiers centimètres du sol, 2,4 % pour les quatre suivants et 0,9 % entre 8 et 15 cm. L'enrichissement en magnésium échangeable s'élevant respectivement pour les mêmes profondeurs à + 5,5 % (soit l'équivalent de 3 t/ha de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$), + 2,4 % et + 0,6 %.

— 62 % de ce magnésium se présente sous une forme hydrosoluble, donc assimilable et lessivable.

2° Décomposition de l'urine

Evolution de l'azote urinaire (cf. Fig. IV C).

L'hydrolyse de l'urée qui constitue 75 % de l'azote urinaire s'accompagne d'une augmentation rapide du pH du sol (jusqu'à pH 9 en sol acide : Doak (18). Très vite, le sol est saturé en azote ammoniacal et les pertes par volatilisation (jusqu'à 12 % d'après Doak (18) par lessivage ou simplement par absorption directe sous forme d'ion NH_4+ ou même d'urée,

deviennent importantes. L'oxydation de cet azote ammoniacal conduit temporairement à une accumulation de nitrites qui évoluent en nitrates lorsque les conditions de milieu (notamment le pH) redeviennent favorables à l'activité des bactéries nitrificatrices et à l'absorption racinaire (figure 5 C d'après Gisiger).

L'hydrolyse de l'urée dépend étroitement des conditions régnantes dans le sol :

- de la température,
- de l'humidité (maximum à 24 %).

La nitrification est favorisée par la présence d'allantoïne et d'hétéroauxine dans l'urine, mais inhibée lorsque le pH dépasse 8. Dans ce cas, les nitrites s'accumulent (Doak, 18).

En sol faiblement acide, l'azote ammoniacal est peu nitrifié et les pertes par lessivage sont limitées (Gisiger, 28).

Evolution de la potasse urinaire.

L'apport de potasse par l'urine se fait à doses massives (équivalentes à 1 à 2 t de K_2O/h (Pfitzenmeyer, 68 ; Davies et al., 16). On peut penser qu'à de telles doses d'apport réponde un lessivage intense. D'après Pfitzenmeyer (68), il atteindrait 10 % en sol argileux, 30 % en sol limoneux et 60 % en sol sableux.

Des expériences en pot menées par Hogg (cité par Davies et al, 16) sur différents sols enrichis par une solution de KCl équivalente à 500 kg/ha et soumis à une alternance de phases de dessiccation et de lessivage intense, tendent à montrer que les pertes en potasse, négligeables en sol argileux et pour certains sols limoneux, peuvent atteindre 30 à 70 % de l'apport (cf. tableau VI C). Cependant une restriction importante est apportée par Davies et al (16). Pour ces auteurs, le potassium contenu dans le chlorure de potassium est beaucoup plus facilement lessivable (dix fois plus pendant la première semaine) que le carbonate ou le bicarbonate de potassium, formes qui constituent 50 % de la potasse urinaire (Dmochowski et Schillak, 1950, cités par Davies et al, 16). Or pour les trois sols les plus lessivables, 25 à 35 % de la potasse était lessivée pendant la première semaine.

FIG. IV C

EVOLUTION DE L'AZOTE URINAIRE DANS LE SOL
(Doak, 1952)

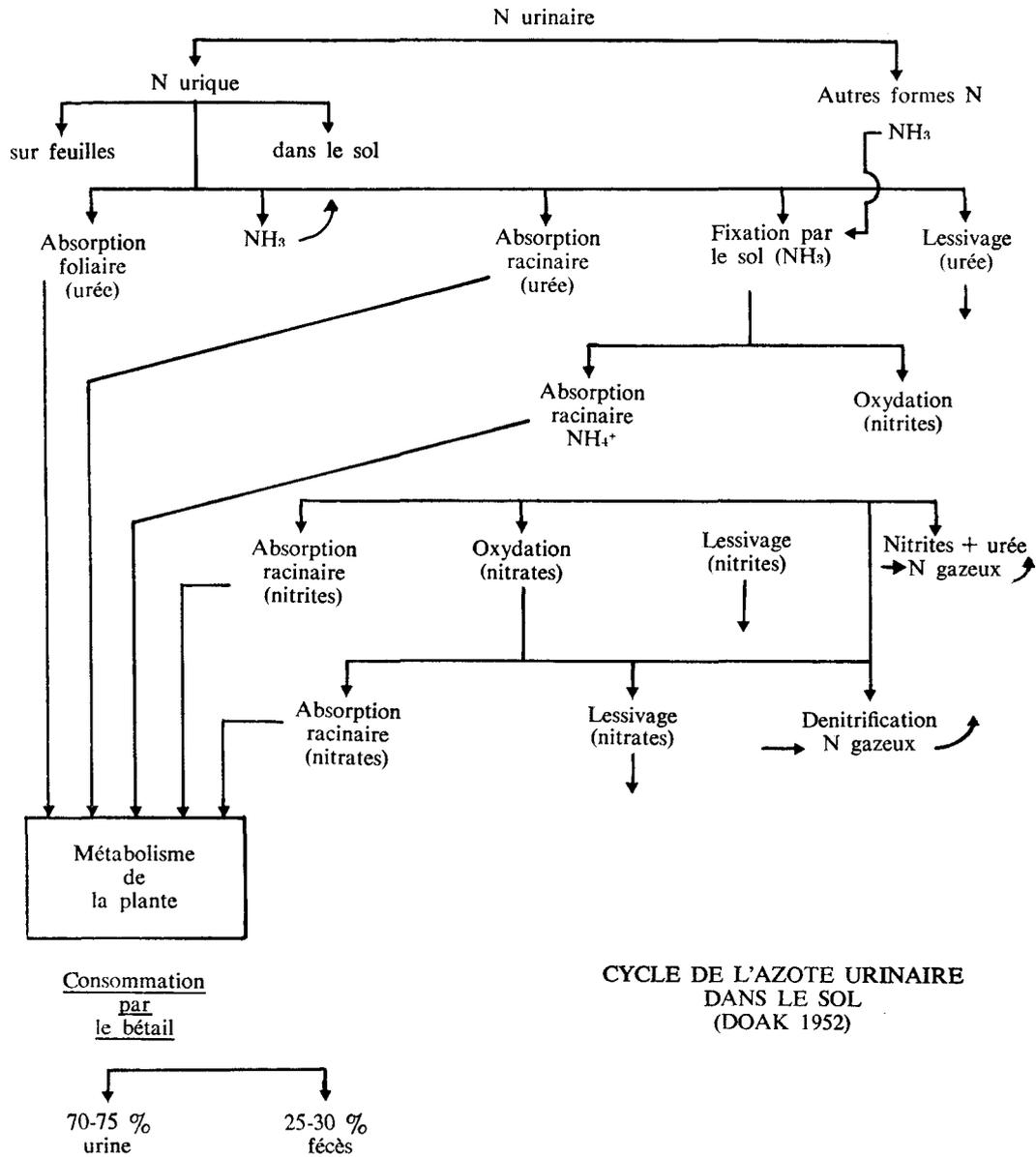
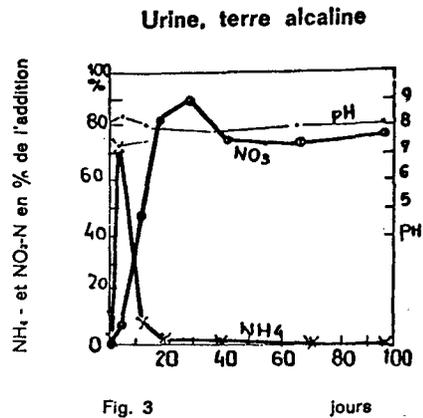
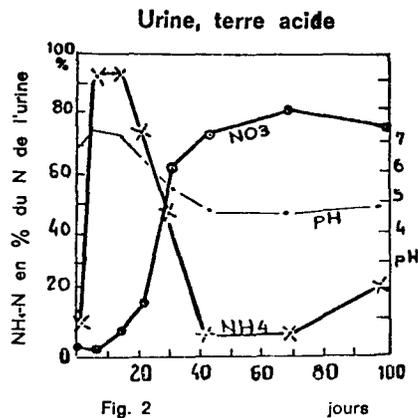
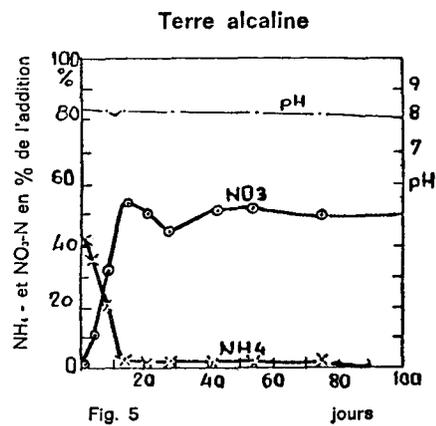
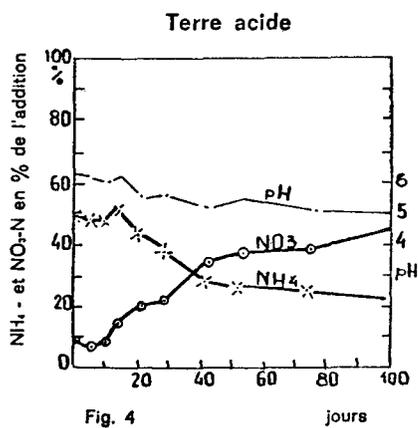


FIG. V C NITRIFICATION DE DIFFERENTS PRODUITS AZOTES
(Gisiger)



CARBONATE D'AMMONIUM



ACIDE HIPPIRIQUE

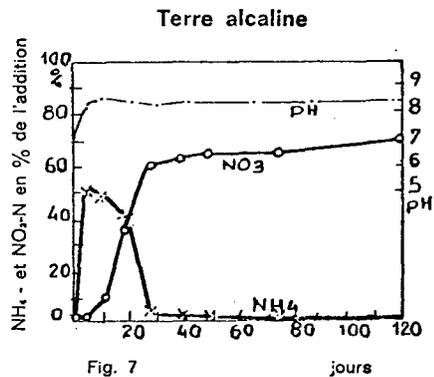
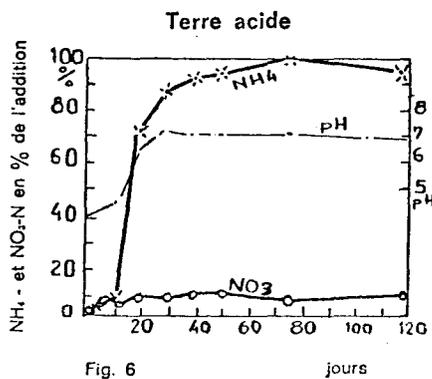


TABLEAU VI C

IMPORTANCE DU DRAINAGE DE LA POTASSE
DANS DIFFERENTS SOLS
(Hogg, 1960)

Type de sol	% de K drainé en % apport en six semaines
Limon jaune gris	6.2
Limon argileux brun	1.5
Limon sableux jaune brun	6.2
Rendzine	3.8
Podzol nordique	28.5
Limon jaune brun	43.5
Tourbe	30.5
Limon sableux jaune brun sur ponce	68.6
Sable (podzol)	67.9
Sable jaune brun	53.4

En sol argileux, Saunders et Metson (cités par Garaudeaux et al, 26) observent que si le lessivage est moins intense, 30 % de la potasse apportée peut être fixée par le complexe argilo-humique et dissimulée à l'absorption racinaire par rétrogradation.

En sol limoneux par contre, malgré une nette déficience en argile, Davies et al (16) montrent (sans l'expliquer) que les pertes du sol sont très faibles et que pratiquement tout le potassium peut être exporté par la plante.

Les cas de lessivage, observables à court terme, ne doivent pas faire considérer les apports potassiques par l'urine comme fréquemment inefficaces. En effet, le schéma général du potassium dans le sol est complexe et ce qui est drainé à une certaine profondeur peut être remis en circulation dans la solution du sol, lorsque par exemple des phénomènes de remontées capillaires (E.T.P. supérieure aux précipitations) ou tout simplement l'absorption racinaire dans une nappe phréatique se produisent.

Jacques LANÇON

*Travail réalisé sous la responsabilité scientifique
de F.-X. de MONTARD, Station d'Agronomie,
I.N.R.A., Clermont-Ferrand.*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- (1) AGLADZE G.D. et LECHBORASHVILY G.A. : *Nardus pastures of Georgia and their improvement.*
- (2) BARROW N.J. et LAMBOURNE L.J. (1962) : « Partition of excreted N, S and P between the faeces and urine of sheep being fed pasture. » *Aust. J. agric. Res.* Vol. 13 (461-71).
- (3) BONISCHOT R. (1971) : « Pourquoi faucher des refus ? » *Trait d'Union agricole* n° 41, avril 1971.
- (4) BOSWELL C.C. et SMITH A. (1976) : « The use of a fluorescent pigment to record the distribution by cattle of traces of faeces from dung pats. » *J. Br. Grassld Soc.* Vol. 31 (135-6).
- (5) BROCKMAN J.S. et WOLTON K.M. (1963) : « The use of nitrogen on grass/white clover swards. » *J. Br. Grassld Soc.* Vol. 18 (7-13).
- (6) BROMFIELD S.M. (1961) : « Sheep faeces in relation to the P cycle under pastures. » *Aust. J. agric. Res.* Vol. 12 (111-23).
- (7) BRUNDAGE A.L. et PETERSEN W.E. (1952) : « A comparison between daily rotational grazing and continuous grazing. » *J. dairy Sci.* Vol. 35 (623-30).
- (8) CAPUTA J., GOSPORDARCZYK F., PRIEGER K. (1973) : « Le comportement des refus sur un pâturage rationnel. » *La recherche agronomique en Suisse*, vol. 12, 1 (51-66).
- (9) CASTLE M.E., FOOT A.S. et HALLEY R.J. (1950) : « Some observations on the behaviour of dairy cattle with special reference to grazing. » *J. dairy Res.* Vol. 17 (215-30).
- (10) CASTLE M.E. et DRYSDALE A.D. (1966) : « Liquid manure as a grassland fertilizer 5 - The response to mixtures of liquid manure and dung. » *J. agric. sci. Camb.* Vol. 67 (397-404).
- (11) COLLINS P.D. (1971) : « The potassium cycle in grassland management. » *Potassium and systems of grassland farming*, 1971 (103-11).
- (12) COOKE G.W. (1967) : *The control of soil fertility*. London, 1967.
- (13) COPPENET M. (1976) : « Plans de fumure dans les exploitations d'élevage. » *Fermes modernes* 1976 (97-104).
- (14) COWLING D.W. et LOCKYER D.R. (1963) : « Nitrogenous fertilizers and the role of legumes. » *Herb. Abstr.* 1964, n° 1560
- (15) DAVIDSON R.L. (1964) : « Theoretical aspects of nitrogen economy in grazing experiments. » *J. Br. Grassld Soc.* Vol. 19 (273-80)
- (16) DAVIES E.B., HOGG D.E. et HOPEWELL G.H. (1962) : « Extent of return of nutrient elements by dairy cattle; possible leaching losses. » *Int. Soil Sci. Conf.* n° 7 (715-19).
- (17) DE MONTARD F.X. (1975) : « Valorisation des déjections animales. Fumier-purin-lisier. » Journée de l'Association normande de production fourragère. Lycée agricole « Le Robillard », 21 février 1975, publié in *Fourrages* n° 69 (41-60), 1977.
- (18) DOAK B.W. (1952) : « Some chemical changes in the nitrogen constituents of urine when voided on pasture. » *J. agric. Sci.* Vol. 42 (162-73).
- (19) DOAK B.W. (1954) : « The presence of root inhibiting substances in cow urine and the cause of urine burn. » *J. agric. Sci.* Vol. 44 (133-9)

- (20) DURING C. et MacNAUGHT K.I. (1961) : « Effects of cow urine on growth of a pasture and nutrient uptakes. » *NZ J. agric. Res.* 4 (591-605).
- (21) DURING C. et WEEDA W.C. (1973) : « Some effects of cattle dung on soil properties, pasture production and nutrient uptakes. - I. Dung as a source of phosphorus. » *NZ J. agric. Res.* Vol. 16 (423-30).
- (22) DURING C., WEEDA W.C. et DOROFÄEFF F.D. (1973) : « Some effects of cattle dung on soil properties, pasture production and nutrient uptakes. - II. Influence of dung and fertilizers on sulfate absorption, pH, cation exchange, capacity and the K, Mg, Ca and N economy. » *NZ J. agric. Res.* Vol. 16 (431-8).
- (23) DUSSERRE C. (1933) : « Action de l'azote du purin épandu à doses croissantes sur prairie. » *Landw. Jahrb. Schweiz.* Vol. 47 (578-81).
- (24) FRISON M. (1967) : « Caractéristiques physico-chimiques du lisier. » *Journées d'information sur le lisier*, Lyon, 21-22 novembre 1967.
- (25) GACHON (1974) : « Réflexions sur l'utilisation des engrais. » *B.T.I.* n° 294 (839-49).
- (26) GARAUDEAUX J., CHEVALIER H. et PFITZENMEYER C. (1975) : « Contribution à l'étude des pertes de potassium au pâturage. » *C.R. Ac. Agric. de France*, 28 mai 1975 (571-80).
- (27) GARAUDEAUX J. (1960) : « Difficultés rencontrées dans l'utilisation des engrais potassiques sur prairie. » *Fourrages* n° 3, juillet 1960 (28-41).
- (28) GISIGER L. (1967) : « Nouvelles expériences sur la production, la valeur et l'emploi du lisier en Suisse. » *Journées d'information sur le lisier*, Lyon 21-22 novembre 1967.
- (29) GOODALL V.C. (1951) : « Grassland division trials clearly show dangers of permanent night paddocks on dairy farm. » *NZ dairy exporter*. Vol. 27 (34-7).
- (30) GREENHALGH J.F.D. et REID W. (1968) : « The effects of grazing intensity on herbage consumption and animal production. - III. Dairy cows grazed at 2 intensities on clean or contaminated pasture. » *J. agric. Sci. Camb.* Vol. 70 (33-8).
- (31) GUNARY D. (1968) : « The availability of Phosphorus in sheep dung. » *J. agri. Sc., Cam.* Vol. 71 (222-8).
- (32) HABOUSTIAK J. (1972) : « Results in the improvement of the *Nardetum strictae* types of swards by folding and by introduction of legume-grass and grass mixtures. » *Vedecke Prace, Vyskumny Jstav Luk A Pasienkov v banskej bystinci*. Vol. 7 (43-58).
- (33) HANCOCK J. (1950) : « Studies in monozygotic cattle turns. - III. Uniformity trials : grazing behaviour. » *NZ J. Sci. tech.* Vol. 32 (4) (22-59).
- (34) HANCOCK J. (1953) : « Grazing behaviour of cattle. » *Anim. Breed Abstr.* Vol. 21, 1 (1-13).
- (35) HARMSSEN V.W. et SCHREVEN D.A. Van (1955) : *Adv. Agron.* Vol. 7 (299-398)
- (36) HERRIOTT J.B.D., WELLS D.A. et DILNOT J. (1959) : « The grazing animal and sward productivity » *J. Brit. Grassld Soc.* Vol. 14, 3 (191-8).
- (37) HERRIOTT J.B.D. (1967) : « Le lisier, engrais des prairies. » *Journées d'information sur le lisier*, Lyon, 21-22 novembre 1967.
- (38) HERRIOTT J.B.D. et CROOKS P. (1971) : « Sward growth and animal excreta return effects. » *Potassium and systems of grassland farming 1971* (123-9).

- (39) HILDER E.J. (1966) : « Distribution of excreta by sheep at pasture. » *Proc. 10th Int. grassld Congr.* Helsinki, July 1966 (977-81).
- (40) HOLMES W. (1968) : « The use of nitrogen in the management of pasture for cattle. » *Herb Abstr.* 1968. Vol. 38 (265-77).
- (41) HUTTON J.B. et JURY K.E. (1964) : « Studies of the nutritive value of NZ dairy pastures. - III. The comparative value of various feed faeces relationship in herbage intake studies with dairy cattle. » *NZ J. agric. Res.* Vol. 7 (583-95).
- (42) HUTTON J.B., JURY K.E. et DAVIES B. (1965) : « Studies of the nutritive value of NZ dairy pastures. - IV. The intake and utilisation of Mg in pasture herbage by lactating dairy cattle. » *NZ J. agric. Res.* Vol. 8 (479-96).
- (43) HUTTON J.B., JURY K.E. et DAVIES B. (1967) : « Studies of the nutritive value of NZ dairy pasture. - V. The intake and utilisation of K, Na, Ca, P and N in pasture herbage by lactating dairy cattle. » *NZ J. agric. Res.* Vol. 10 (367-83).
- (44) JAKIMOWA J., RADKOV D., BENKOV B., TOTEV T., UZUNOV M. (1972) : « Research results in the improvement of grassland swards of the *Nardus stricta* type in Bulgaria. » Ref. cf 32 (59-82).
- (45) JOHNSTONE - WALLACE P.B. et KENNEDY (1944) : « Grazing management practices and their relationship to the behaviour and grazing habits of cattle. » *J. Agric. Sci.* Vol. 34 (190-7).
- (45 bis) KAJAK A. (1974) : « Analysis of a sheep pasture ecosystem in the Pieniny mountains (The Carpathians) XVII Analysis of the transfer of Carbon. » *Ekol Polska* 22, 3/4 (711-32).
- (46) KERGUELEN M. (1960) : « Quelques aspects de la fertilisation des prairies permanentes. » *Fourrages* n° 3, juillet 1960 (50-89).
- (47) KIELPINSKI J., KARKOSZKAW W. et WISNIEWSKA St. (1961) : « Experiments with folding at Jaworki near SZCZAWNICA ; the fertilisation of a fallow community close to the association of mat grass (*Hieracieto Nardetum strictae*). » *Roczniki Nauk Rolniczych* Tom 75 F1 (75-100).
- (48) KOSMAT M. Von (1965) : *Die Bodenfruchtbarkeit unter Gerbstellen einer Werdefläche Bodenkultur* 16 (95-108).
- (49) KOSTUCH R. (1972) : « Result of a 7 years trial in the control of bent grass (*Nardus stricta*) in conditions of the hill range of Beskydy Sadechi. » Ref. cf 32 (11-24).
- (50) LAISSUS (1961).
- (51) LIDTKE W. et MIKOLAJCZAK E. (1972) : « Comparison of some methods of bent grass (*Nardus stricta*) control in the Sudet region of Poland. » Ref. cf 32 (125-38).
- (52) LOISEAU P. (1977) : Communications personnelles.
- (53) LOTERO J., WOODHOUSE W.W. J.R. et PETERSEN R.G. (1966) : « Local effect of urine voided by grazing cattle. » *Agron. J.* Vol. 58, 3 (262-5).
- (54) MAC ALLISTER J.S.V. (1971) : « Nutrient balance on livestock farms. » *Potassium and systems of grassland farming* SCPA (113-21).
- (55) MAC DIARMID B. et WATKIN B.R. (1971) : « The cattle dung patch 1 - Effect of dung patches on yield and botanical composition of surrounding and underlying pasture. » *J. Br. Grassld Soc.* Vol. 26 (239-45).

- (56) MAC DIARMID B.N. et WATKIN B.R. (1972) : « The cattle dung patch : 2. Effect of a dung patch on the chemical status of the soil and ammonia nitrogen losses from the patch. » *J. Br. Grassld Soc.* Vol. 27 (43-8).
- (57) MAC DIARMID B.N. et WATKIN B.R. (1972) : « The cattle dung patch : 3. Distribution and rate of decay of dung patches and their influence on grazing behaviour. » *J. Brit. Grassld Soc.* Vol. 27 (48-54).
- (58) MAC LUSKY P.S. (1960) : « Some estimates of the areas of pasture fouled by the excreta of dairy cows. » *J. Brit. Grassld Soc.* Vol. 15 ; 2 (181-8).
- (59) MARSH R. et CAMPLING R.G. (1970) : « Foreling of pasture by dung. » *Herb. Aust.* 40 (123-30).
- (60) MARTEN G.C. et DONKER J.D. (1966) : « Animal excrement as a factor influencing acceptability of grazed forage. » *Proc. 10th Grassld Congr. Helsinki* (359-63).
- (61) MASON V.C. (1969) : « Some observations on the distribution and origin of nitrogen in sheep faeces. » *J. agric. Sci, Cam.* Vol. 73 (99-111).
- (62) MORGAN J.T. (1951) : « Observations on the behaviour and grazing habits of dairy cattle at Pantyrhuard Farm, Carmarthenshire. » *Assn for the study of animal behaviour.* London 8th Janv. 1951.
- (63) 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.* Vol. 16 (2) (100-5).
- (64) NIEDERMAIER K. (1972) : « Some results in bent grass (*Nardus stricta* L.) control conducted according to the common method in Roumania in 1963-67. » *Ref. cf 32* (139-56).
- (65) NORMAN M.J.T. et GREEN J.O. (1958) : « The local influence of cattle dung and urine upon the yield and botanical composition of permanent pastures. » *J. Brit. Grassld Soc.* Vol. 13 (39-45).
- (66) PETERSEN R.G., LUCAS H.L., WOODHOUSE W.W.J. (1956) : « The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effect on pasture fertility 1. Excretal distribution. » *Agronom. J.* Vol. 48 (440-4).
- (67) PETERSEN R.G., WOODHOUSE W.W.J.R. et LUCAS H.L. (1956) : « The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effects on pasture fertility 2. Effects of returned excreta on the residual concentration of some fertilizer elements. » *Agronom. J.* Vol. 48 (444-9).
- (68) PFITZENMEYER C. (1971) : « A note on the release of potassium from urine patches. » *Potassium and systems of grassland farming 1971* (SCPA) (131-4).
- (69) PFITZENMEYER C. (1963) : « Exportation de potasse par le pâturage. » *Fourrages* n° 15, septembre 1963.
- (70) PROCTER J., HOOD A.E.M., FERGUSON W.S. et LEWIS A.H. (1950) : « The close folding of dairy cows. » *J. Br. Grassld Soc.* Vol. 5 (243-50).
- (71) RICHARDS J.R. et KAREN M. WOLTON (1976) : « The spatial distribution of excreta under intensive grazing cattle. » *J. Br. Grassld Soc.* Vol. 31, 2 (89-92).
- (72) SEARS P.D. et NEWBOLD R.P. (1942) : « The effects of sheep droppings on yield, botanical composition and chemical composition of pasture. I. Establishment of the trial, technique of measurement and results for 1940-41 reason. » *NZ J. Sci. Tech. Ser. A.* Vol. 24 (36-61).

- (73) SEARS P.D., GOODALL V.C. et NEWBOLD R.P. (1948) : « The effects of sheep droppings on yield botanical composition and chemical composition of pasture. II. Results for the years 1942-44 and final summary of the trial. » *NZ J. Sci. Tech. Série A*, vol. 30 (231-50).
- (74) SEARS P.D. et THURSTON W.G. (1953) : « The effects of sheep droppings on yield, botanical composition of pasture. III. Results of field trial at Lincoln, Canterbury for the years 1944-47. » *NZ J. Sci. Tech. Série A*, vol. 34 (445-59).
- (75) SEKIGUCHI et al (1970) : « Effects of cow urine on chemical properties of pasture. » *Bull Mokkaido Prof. agric. Exp. Stn n° 20 (52-60). Herb. Abstr.* 1971, n° 64.
- (76) SPEDDING G.R.W. (1971) : « Grassland ecology. » *Grazing* - Oxford 1971 (p. 101 sqq).
- (77) THOMAS S. et CAMPLING R.G. (1976) : « Digestibility and faecal nitrogen relationship. » *J. Brit. Grassld Soc. Vol.* 31 (69-72).
- (78) TOMKA O., TOMASIK J. et ZILAK M. (1972) : « Research results from 1963-68 in the improvement of grassland swards of the *Nardetum strictae* type in Czechoslovakia. » *Ref. cf* 32 (17-42).
- (79) VICKERY P.J. (1962) : « Grazing and net primary production of a temperate grassland. » *J. appl. ecol.* 9, 1 (307-14).
- (80) WAITE R., MAC DONALD W.B. et HOLMES W. (1951) : « Studies in grazing management. III. The behaviour of dairy cows grazed under the close folding and rotational systems of management. » *J. agric. Sci.* Vol. 41 (163-73).
- (81) WALKER J.W. et ROSE T.H. (1952) : « The use of fertilizers on herbage cut for conservation I et II. » *J. Brit. Grassld Soc. Vol.* 7, 3 (107-30)
- (82) WALKER T.W., EDWARDS G.H.A., CAVELL A.J. et ROSE T.H. (1953) : « The use of fertilizers on herbage cut for conservation III. » *J. Brit. Grassld Soc. Vol.* 8 (45-70).
- (83) WALKER T.W., ADAMS A.F.R. et ORCHISTON H.D. (1953) : « The use of fertilizers on herbage cut for conservation IV. » *J. Brit. Grassld Soc. Vol.* 8 (281-99).
- (84) WARDROP J.C. (1951) : « Observations on grazing dairy cows at Henley, Manor Farm, Crewkerne, Sommerset. » *Assn for the study of animal behaviour.* Lond 8th Jan. 1951.
- (85) WARDROP J.C. (1953) : « Studies on the behaviour of dairy cows at pasture. » *Brit. J. anim. behaviour.* Vol. 1 (23-31).
- (86) WATKIN B.R. (1954) : « The animal factor and levels of nitrogen. » *J. Brit Grassld Soc. Vol.* 9 (35-46).
- (87) WATKIN B.R. (1957) : « The effect of dung and urine and its interaction with applied nitrogen phosphorus and potassium on the chemical composition of pasture. » *J. Brit. Grassld Soc. Vol.* 12 (264-77).
- (88) WEEDA W.C. (1967) : « The effect of cattle dung patches on pasture growth, botanical composition and pasture utilisation. » *NZ J. agric. Res.* Vol. 10 (150-9).
- (89) WHEELER J.L. (1958) : « The effect of sheep excreta and nitrogenous fertilizer on the botanical composition and production of a ley. » *J. Brit. Grassld Soc. Vol.* 13 (196-202).
- (90) WHITEHEAD (1970) : « The role of nitrogen in grassland productivity. » *Bull. 48 Commonwealth Bureau of pastures and field crops, Hurley, Berkshire, England.*