

*ESSAIS DE FERTILISATION MINÉRALE
SUR PÂTURAGE ET SUR PRAIRIE DE FAUCHE
EN MONTAGNE VOLCANIQUE DU
MASSIF-CENTRAL HUMIDE*

II - ESSAI DE FERTILISATION MINÉRALE
SUR UNE PRAIRIE PERMANENTE DE FAUCHE

INTRODUCTION

SUR LES PRAIRIES PERMANENTES « DE FAUCHE » DES MONTS D'AUVERGNE, L'EXPLOITATION DE L'HERBE CONSISTE GÉNÉRALEMENT EN UNE COUPE À FOIN, UN regain de foin d'été et une pâture d'arrière-saison. Au début du printemps, la prairie subit parfois une légère pâture de déprimage. Ces modes d'exploitation se font selon plusieurs variantes qui ont été étudiées par ailleurs (R. ARNAUD et al., 1978).

La prairie reçoit des restitutions organiques, les déjections du bétail au cours de la pâture, mais aussi d'importants apports de lisier ou de fumier. La fumure minérale est traditionnellement faible, réduite à un apport d'anhydride phosphorique et de chaux sous forme de scories. Dans certains cas (parcelles éloignées ou en location précaire), les apports minéraux peuvent être nuls et les apports de lisier très réduits.

L'analyse des données en régression multiple (F.X. de MONTARD, 1983) permet de calculer l'effet moyen des fertilisations apportées par l'exploitant :

*par R. Arnaud,
F.X. Montard et
M. Niquieux*

— On observe un gain moyen annuel de matière sèche de 94 kg par tonne de lisier, de 15 kg par kg d'azote minéral épandu et de 10 kg par kg de P₂O₅ épandu, en supplément d'une production sans apports de 5760 kg de M.S. par hectare et par an.

— La récolte d'herbe (foin) exporte 1,4 kg d'azote supplémentaire par tonne de lisier épandu (lisier complet, sans dilution, dont la teneur moyenne en azote total est estimée à 4,2 %).

— Bien que les sols volcaniques soient réputés riches en phosphore assimilable, la fertilisation phosphatée y a un effet marquant par suite d'une très forte fixation du phosphore.

— Cette étude, menée par voie d'enquête, ne fait pas apparaître l'influence des apports de potasse : ils sont en effet très liés aux restitutions organiques d'azote et de phosphore car il n'y a pratiquement pas d'apports minéraux potassiques indépendants.

Pour mieux chiffrer les besoins en éléments nutritifs des prairies de fauche de cette région, et notamment les besoins en potasse, on a étudié, dans un essai exploité intégralement en fauche, l'influence des divers modes de fumure minérale sur la production de matière sèche, la teneur de l'herbe en matières azotées et en minéraux et l'évolution botanique de la végétation, en l'absence de restitutions organiques.

CARACTÉRISTIQUES DE L'ESSAI

1. Présentation

L'essai a été réalisé sur le domaine I.N.R.A. de Laqueuille à une altitude de 1050 m, dans les conditions de climat et de sol décrites dans la première partie de cet article (1). Étant donné l'importance de plus en plus grande prise par l'ensilage dans ces régions, la première exploitation a été

(1) Essai de fertilisation minérale sur pâturage et sur prairie de fauche en montagne du Massif-Central humide. I - Détermination des doses d'azote et de potasse optimales en condition de pâturage intensif par des ovins, FOURRAGES n° 93, pp. 3-33.

effectuée au stade ensilage, vers le milieu de juin (en moyenne le 23 juin) au lieu de la coupe traditionnelle à foin de début ou de mi-juillet. La seconde exploitation se situe à la mi-août (16 août) et correspond à un « regain ». La troisième coupe, correspondant à la pousse d'arrière-saison, a été réalisée fin octobre (18 octobre).

TABLEAU I
ANALYSE DE SOL À LA MISE EN PLACE DE L'ESSAI
(Laqueuille, Puy-de-Dôme)

Analyse physique (% de terre fine)	Sol		Analyse chimique	Sol	
	0-10 cm	10-30 cm		0-10 cm	10-30 cm
Sable grossier (2 à 0,2 mm)	11,5	11,0	pH	5,5	5,3
Sable fin (0,2 à 0,05 mm)	6,0	7,5	N total (%)	8,57	7,31
Limon grossier (0,05 à 0,02 mm)	9,0	8,5	P ₂ O ₅ citrique (%)	0,45	0,37
Limon (0,02 à 0,002 mm)	34,2	37,3	K meq (%)	0,68	0,53
Argile (inf. à 0,002 mm)	11,2	10,8	C meq (%)	4,53	2,35
Matière organique (%)	16,2	13,8	Mg meq (%)	0,34	0,50
Cap. totale d'éch. (meq %)	36,8	34,7	Na meq (%)	0,26	0,35
			K ₂ O échangeable (%)	0,32	0,25

Le tableau I donne la composition du sol au début de l'essai en 1974 ; le niveau de K₂O relativement élevé (0,32 % entre 0 et 10 cm) provient d'une exploitation avec apports de l'ordre de 90 unités par an depuis 8 ans. Il y a une quinzaine d'années, en 1966, sur la même parcelle, après de longues années d'exploitation de la prairie en système traditionnel, les teneurs en K₂O étaient de 0,22 % entre 0 et 10 cm (ce qui est proche de la moyenne régionale établie sur 40 prairies : 0,20 ± 0,07) et seulement 0,06 % entre 10 et 30 cm.

2. Fertilisation minérale

Les doses des éléments N-P-K apportées au sol ont été déterminées à partir des considérations suivantes :

- *Azote* : Les essais antérieurs ont montré qu'au-delà d'un apport annuel de l'ordre de 200 kg/ha, les augmentations de production sont très peu importantes. C'est pourquoi dans cet essai, hormis le témoin zéro, une seule dose a été utilisée : 180 kg/ha de N, soit 80 au départ de la végétation, 60 après la première exploitation, 40 après la deuxième.
- *Phosphore* : Sur ces sols bien pourvus, les essais antérieurs ont mis en évidence que les doses que nous apportions, généralement sous forme de scories potassiques à raison de 80 à 120 kg/ha de P, n'étaient pas entièrement utilisées pour la production d'herbe. Nous nous sommes donc limités à deux doses de P₂O₅ (30 et 60 kg/ha de P) sous forme de scories épandues en une seule fois en hiver.
- *Potassium* : La fourniture de cet élément, le plus souvent limitée aux fumures organiques traditionnelles, constitue l'objet principal de l'essai. Dans un régime de pâture intensive (voir la première partie de l'article), la fourniture de potasse par les déjections a été estimée à 140 kg effectivement prélevés par la végétation et l'apport de 80 kg de K₂O sous forme minérale est suffisant pour maintenir le niveau de production de matière sèche pendant 10 années, bien que les teneurs du végétal subissent une lente baisse. En l'absence de restitutions, il était probable que 80 unités se révéleraient insuffisantes ; 4 doses de K₂O ont donc été expérimentées : 0, 80, 160, 240 kg/ha, respectivement désignées par K₀, K₈₀, K₁₆₀, K₂₄₀.

Les fortes doses (K₁₆₀, K₂₄₀) ont été fractionnées en plusieurs épandages dans le but de favoriser une utilisation plus régulière du potassium par la prairie :

- K₈₀ : 80 kg en hiver
- K₁₆₀ : 80 kg en hiver + 80 kg après la 1^{re} coupe
- K₂₄₀ : 80 kg en hiver + 80 kg après la 1^{re} coupe
+ 80 kg après la 2^e.

L'essai en blocs à 6 répétitions, avec parcelles élémentaires de 5 m² récoltables, comprenait donc les traitements suivants (éléments en kg/ha) :

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
T1/T2	0	30/60	0
T3/T4	180	30/60	0
T5/T6	180	30/60	80
T7/T8	180	30/60	160
T9/T10	180	30/60	240

3. Conduite de l'essai

L'essai a débuté en 1974 et s'est poursuivi sur 5 années dont les caractéristiques dominantes furent les suivantes :

- En 1974, les deux premières coupes seulement ont été pesées : après la deuxième coupe, une période de relative sécheresse, puis des froids précoces ont entraîné une repousse pratiquement nulle qui a été fauchée.
- Le climat de l'année 1975 a été proche de la normale.
- L'année 1976 s'est caractérisée par une sécheresse d'hiver et de printemps. La pluviométrie est ensuite redevenue normale, excédentaire en automne.
- L'année 1977 a présenté des conditions de végétation normales, malgré un printemps et un été frais.
- 1978 est caractérisée par un déficit constant en eau pendant la saison de pousse, entraînant des productions faibles en deuxième et troisième exploitation.

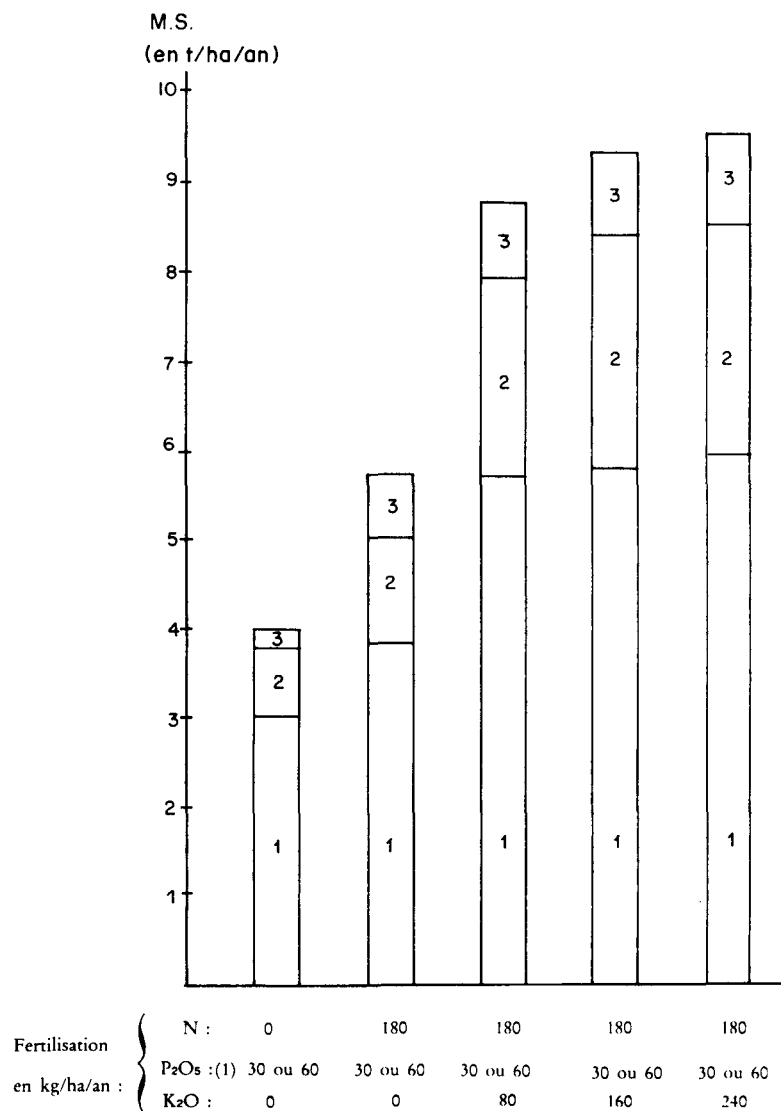
RÉSULTATS

1. Matière Sèche

Production de matière sèche : facteurs climatiques et nutritionnels

La matière sèche produite par coupe (figure 1) est étroitement dépendante des facteurs climatiques et de la réserve utilisée du sol (de MONTARD, 1981). L'étude des corrélations entre matière sèche et déficit hydri-

FIGURE 1
PRODUCTION ANNUELLE DE MATIÈRE SÈCHE
 (Moyenne 1975-1978)



(1) : Les résultats présentés sont les moyennes respectives des traitements T₁ et T₂, T₃ et T₄, T₅ et T₆, T₇ et T₈, T₉ et T₁₀

1 - 2 - 3 = 1^{re}, 2^e, 3^e exploitation

*Fertilisation minérale
sur prairie de fauche*

que indique que la valeur la plus probable de la réserve utilisée est de 40 mm et ce résultat est conforme à l'observation d'un enracinement peu dense au-delà de 25 ou 30 cm de profondeur. Les autres facteurs climatiques pris en considération sont la somme des heures d'ensoleillement avant la coupe et la moyenne des températures moyennes positives (somme des températures moyennes positives rapportée au nombre total de jours de la période). Pour la première coupe, ces facteurs sont comptabilisés à partir du 1^{er} avril.

L'étude de l'action de ces variables climatiques en régression multiple permet d'écrire l'équation suivante :

$$(1) \text{ M.S.} = - 0,77 + 0,013 \Sigma h - 0,073 \text{ D.H. (40)} - 0,089 \theta \pm 1,20$$

$$r^2 = 0,66 \text{ avec } n = 70 \text{ et } 66 \text{ ddl}$$

où M.S. est exprimé en t/ha par coupe ;

D.H. (40) désigne le déficit hydrique relatif : évapotranspiration calculée/évapotranspiration maximum dans l'hypothèse d'une réserve utilisée égale à 40 mm ;

Σh désigne le nombre d'heures d'ensoleillement pendant la période de pousse ;

θ désigne la moyenne des températures moyennes journalières positives pendant cette période ;

$\pm 1,20$ est l'écart-type résiduel.

Une grande partie de la variation restante est expliquée ($r^2 = 0,86$) très simplement par l'effet moyen des traitements de fertilisations azotée et potassique : + 21 kg de M.S. par kg d'azote épandu entre 0 et 180 kg et + 13 kg de M.S. par kg de potasse en moyenne sur les différents intervalles.

Par contre, on ne relève pas d'effet de la dose de phosphore, sauf en 1976 (+ 14,3 kg de M.S./kg de P_2O_5) principalement sur la 2^e coupe. L'effet important de la fertilisation phosphatée cité dans l'introduction de cet article (environ 10 kg de matière sèche par kg de P_2O_5) est en contraste avec ce résultat ; cette situation s'explique par une grande variabilité des teneurs en P_2O_5 des sols de la région.

Sur les traitements sans azote (P seul), le rendement annuel baisse progressivement au cours des années jusqu'aux environs de 3 t/ha. Sur les traitements N-P (sans potasse), on obtient 4 à 5 t/ha de M.S.

Sur les traitements complets N-P-K, on obtient entre 8 et 10 t/ha de M.S., potentialités déjà révélées par les essais précédents sur le même type de prairies (R. ARNAUD et al., 1978).

TABLEAU II
 PRODUCTION DE MATIÈRE SÈCHE
 SELON LE NIVEAU DE POTASSE APPORTÉE
 (en t/ha et en % ; traitements avec N₁₈₀ et
 moyenne des traitements P₃₀ et P₆₀)

Année	K ₀	K ₈₀	K ₁₆₀	K ₂₄₀
1974	6.75 (100)	8.19 (121)	8.28 (123)	8.06 (119)
1975	7.01 (100)	8.96 (128)	9.80 (140)	10.26 (146)
1976	5.74 (100)	8.39 (146)	8.60 (150)	9.02 (157)
1977	5.92 (100)	9.38 (158)	10.25 (173)	10.15 (171)
1978	4.33 (100)	8.41 (194)	8.77 (203)	8.66 (200)

La nutrition potassique a donc un grand poids. Toutefois, l'effet maximum est obtenu entre la dose K₀ et la dose K₈₀ : 37 kg de M.S./kg de K₂O. Il n'est plus que de 7 kg entre K₈₀ et K₁₆₀ et presque nul ensuite (figure 1).

C'est sur la deuxième exploitation que la différence relative entre traitements avec ou sans potasse est la plus forte : la production est doublée. Ces effets relatifs ont tendance à s'accroître au cours du temps par suite de l'affaiblissement progressif des possibilités de production du traitement K₀ (tableau II).

Teneurs du fourrage en matière sèche

Suivant les exploitations et les années, les teneurs en matière sèche de l'herbe récoltée sont très variables puisqu'on a noté des teneurs allant de 16 à 38 % avec des amplitudes entre traitements allant de 2 à 14 %. Ceci peut être attribué aux conditions atmosphériques, aux différences de stade végétatif et à la fertilisation (M. GILLET, 1980).

Mais quelles que soient les conditions atmosphériques lors de la récolte, le classement des traitements reste identique pour les trois exploitations et les différentes années de récolte. Les teneurs en matière sèche baissent régulièrement en allant des traitements sans potasse (et sans azote) aux traitements avec de fortes doses de potasse. Le phosphore semble avoir peu d'influence sur elles.

On a calculé un indice moyen de teneur en matière sèche par traitement et par coupe en appliquant l'indice 100 au traitement extériorisant la plus haute teneur en matière sèche à chaque date de coupe et en effectuant la moyenne de 1974 à 1978. La valeur de cet indice, *i* (M.S.), est étroitement dépendante des traitements :

$$(2) \quad i \text{ (M.S.)} = 99 - 0,044 K - 0,036 N$$

$$r^2 = 0,91 \quad n = 30$$

où K désigne la dose annuelle de potasse en kg/ha,
N désigne la dose annuelle d'azote en kg/ha.

Ainsi, il y a en moyenne un écart de l'ordre de 17 % entre les traitements extrêmes (N₀K₀ et N₁₈₀K₂₄₀). Cet écart représente une augmen-

tation de 3,5 à 4,5 points d'humidité sur les récoltes courantes du seul fait de la fertilisation. Pour l'azote, on retrouve ici un fait bien connu : « la fertilisation azotée enrichit la plante en eau jusqu'à 3 à 5 points pour cent » (M. GILLET, 1980). La fertilisation exige de toute évidence une amélioration des méthodes de récolte et de conservation des fourrages.

Mais on a aussi observé qu'une bonne alimentation en potasse permet à la plante de mieux satisfaire la demande climatique d'évapotranspiration. En effet, en période de sécheresse, on a plusieurs fois constaté le flétrissement et l'affaissement au sol de la végétation prairiale sur les parcelles sans potasse tandis que la turgescence était maintenue sur les parcelles recevant de la potasse.

2. Matières azotées

Variations saisonnières de la teneur en matières azotées totales

La teneur en matières azotées totales (M.A.T.) est plus élevée en deuxième et en troisième coupe qu'à la première effectuée à un stade « ensilage ». En fait, il y a une corrélation négative entre la teneur en M.A.T. (en %) et la production des coupes (M.S. en t/ha), mais la relation est différente selon la saison :

— A la première exploitation (de 1975 à 1978) :
M.A.T. = 20,4 - 1,40 M.S. (r = - 0,69)

— A la deuxième exploitation (de 1975 à 1978) :
M.A.T. = 24,7 - 3,04 M.S. (r = - 0,92)

— A la troisième exploitation :

En 1975 : M.A.T. = 23,6 - 3,62 M.S. (r = - 0,87), c'est-à-dire une équation très voisine de la précédente ; mais en 1977 et 1978, la dilution est beaucoup plus accentuée, probablement en raison de conditions froides peu favorables à la minéralisation :

En 1977 et 1978 : M.A.T. = 26,6 - 12,3 M.S. (r = - 0,86).

Production de matières azotées totales

44 Pendant les cinq années d'essai, on distingue trois niveaux de production en M.A.T. selon la fertilisation appliquée :

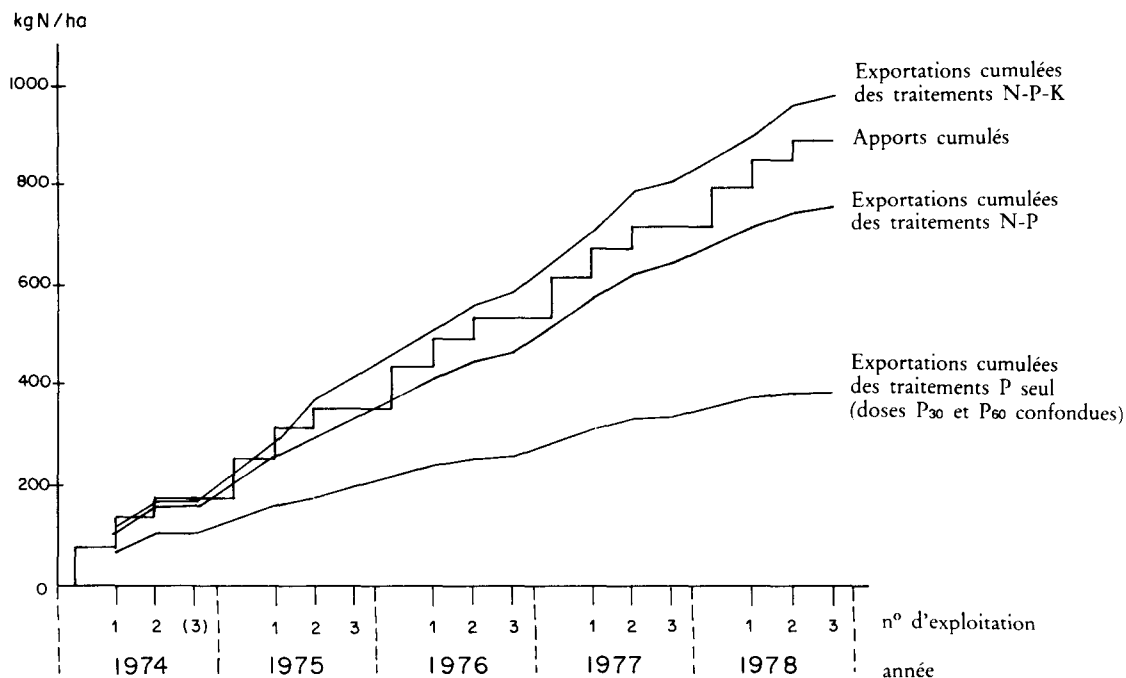
*Fertilisation minérale
sur prairie de fauche
en montagne*

- sur le traitement P (sans azote ni potasse) on obtient par an en moyenne 498 kg/ha de M.A.T. ; aucune différence entre les deux doses de fertilisation phosphatée ;
- sur le traitement N-P (sans potasse), on obtient le double, soit 991 kg/ha de M.A.T. ;
- sur les traitements N-P-K, on obtient 1 230 kg/ha de M.A.T. ; les différences entre les doses de potasse sont insignifiantes.

Exportations d'azote

Les exportations d'azote des parcelles recevant du phosphore sans azote ni potasse diminuent fortement au cours des ans : de 102 kg/ha en 1974 à 54 kg/ha en 1978.

FIGURE 2
EXPORTATIONS D'AZOTE CUMULÉES COMPARÉES AUX APPORTS SUR 5 ANS
(3 exploitations par an - 1, 2, 3)



Les parcelles recevant une fumure N-P-K ont des exportations d'azote très voisines des apports : 197 kg/ha pour un apport annuel de 180 kg.

Les parcelles recevant une fertilisation N-P, sans potasse, exportent un peu moins d'azote, soit 158 kg/ha : l'insuffisance de la nutrition potassique entraîne une sous-utilisation de l'azote apporté.

La comparaison graphique des apports et des exportations d'azote (figure 2) suggère une légère tendance à une meilleure minéralisation sous les traitements N-P-K, les exportations excédant les apports, et, au contraire, un fléchissement des exportations à partir de la troisième année sous les traitements N-P sans potasse.

3. Potassium : teneurs et exportations

Lors de l'installation de l'essai, le sol était bien pourvu en potassium ; cependant la différenciation entre les traitements est déjà perceptible en première coupe en 1974 et s'accroît vite et fortement (figure 3).

Les teneurs en K d'un même traitement N-K sont peu différentes suivant les doses de P, avec cependant, généralement, une légère supériorité (7 % en moyenne) des traitements à dose double.

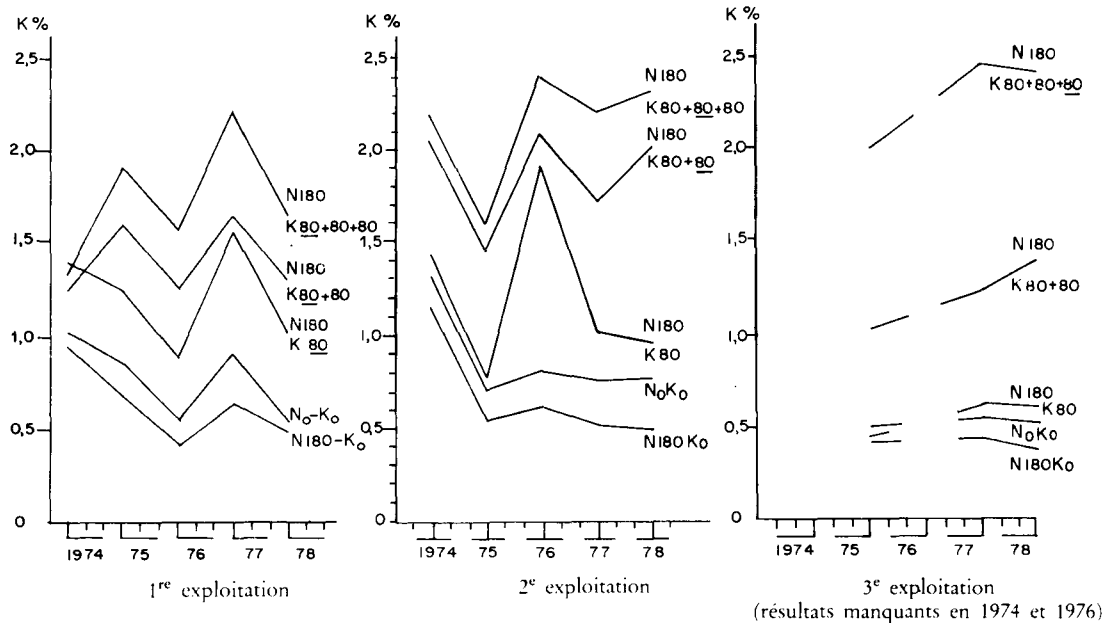
Les teneurs en K s'établissent à un niveau bas pour les parcelles sans K. En moyenne annuelle (pondérée en fonction de la production de matière sèche), on a une teneur de 0,75 % pour les traitements sans azote (T1, T2) et seulement de 0,55 % pour les traitements avec azote (T3, T4), dont la production en matière sèche est supérieure. Des symptômes de carence apparaissent alors (rougissement des feuilles).

Dans les traitements avec azote et potasse (T5 à T10), on constate un relèvement très important des teneurs à la coupe qui suit l'application et un effet limité sur les teneurs de la coupe suivante, ce dernier effet s'accroissant avec l'augmentation du niveau global des apports. L'effet très marqué de K₈₀ sur la deuxième exploitation de 1976 est dû à la faible production consécutive à la sécheresse.

46 Ces évolutions amènent à penser que le fractionnement est intéressant : un apport massif risque de provoquer une « consommation de

FIGURE 3

TENEUR DU FOURRAGE EN POTASSIUM AUX 3 EXPLOITATIONS SUR 5 ANS

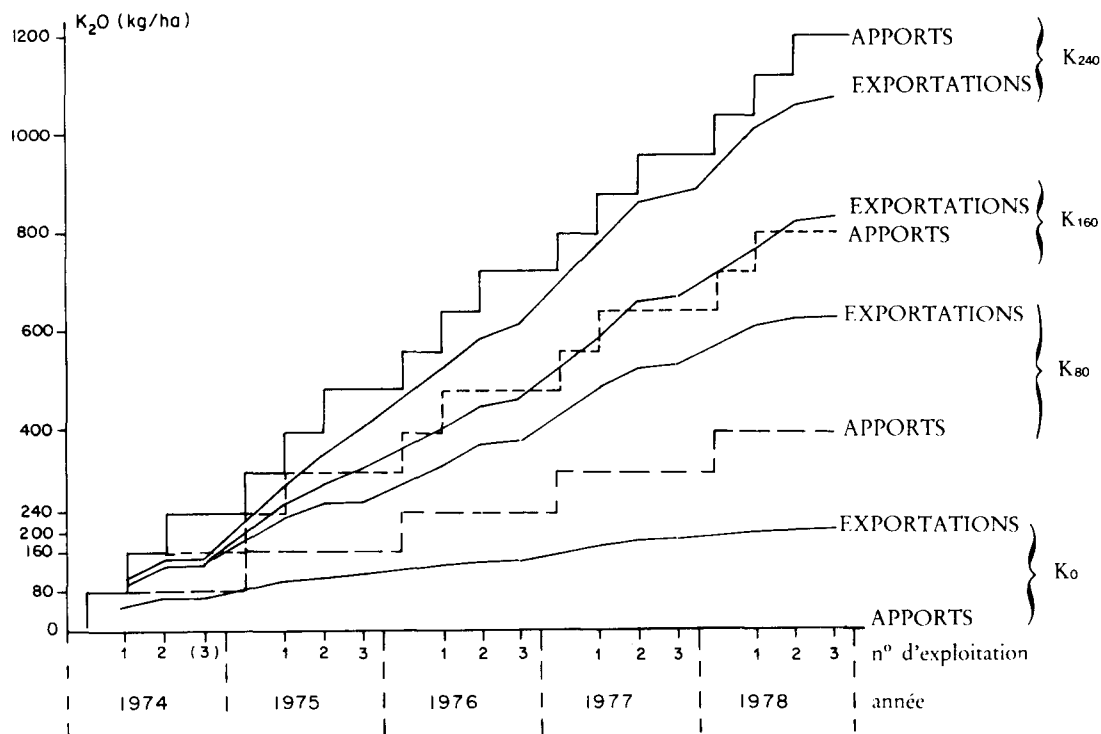


Les teneurs indiquées correspondent à la moyenne des traitements P₃₀ et P₆₀.
On a souligné les apports de potasse correspondant à chaque exploitation.

luxé » de la coupe qui le suit, sans bénéfice au point de vue production de matière sèche, et un manque consécutif aux coupes suivantes.

Il faut cependant remarquer que le maintien de teneurs élevées grâce au fractionnement n'est intéressant que s'il s'applique à des coupes suffisamment productives, ici la première qui représente la plus grosse partie de la production annuelle et la deuxième qui fournit un regain de haute valeur alimentaire. Le relèvement des teneurs de la troisième exploitation n'a qu'un effet négligeable sur la production en raison des faibles possibilités de pousse en fin de saison.

FIGURE 4
EXPORTATIONS DE POTASSE CUMULÉES
COMPARÉES AUX APPORTS SUR 5 ANS POUR 4 NIVEAUX D'APPORT



La figure 4 comparant les apports cumulés de potasse aux exportations montre la tendance à l'épuisement du sol en K₀ et K₈₀. Dans les deux cas, le sol fournit environ 200 kg de K₂O en 5 ans, ce qui est modeste, compte tenu de la capacité d'absorption des graminées pour cet élément, surtout en présence d'azote. Sur les sols de faible densité apparente (0,7), une bonne teneur en K ne signifie pas forcément que le niveau de réserves est élevé.

48 Au niveau K₁₆₀, la compensation est presque réalisée entre les exportations

*Fertilisation minérale
sur prairie de fauche*

et les apports. Le traitement K_{240} constitue un niveau d'apports légèrement excédentaire mais l'excédent stocké par le sol ne s'accroît nullement au fil des ans.

Ainsi, la dose K_{160} correspond à un optimum à la fois pour la production de matière sèche et pour le maintien des réserves du sol, bien que les teneurs du fourrage correspondantes puissent a priori être considérées comme assez basses. En effet, des teneurs en potassium inférieures à 1,6 sont généralement considérées comme faibles et dans les conditions particulières de cet essai on entre dans la consommation de luxe avec des teneurs à peine supérieures à 2,0 %. Il est possible que le rythme de cession du potassium à la plante soit particulièrement en relation avec des propriétés originales et mal connues des andosols.

4. Phosphore : teneurs et exportations

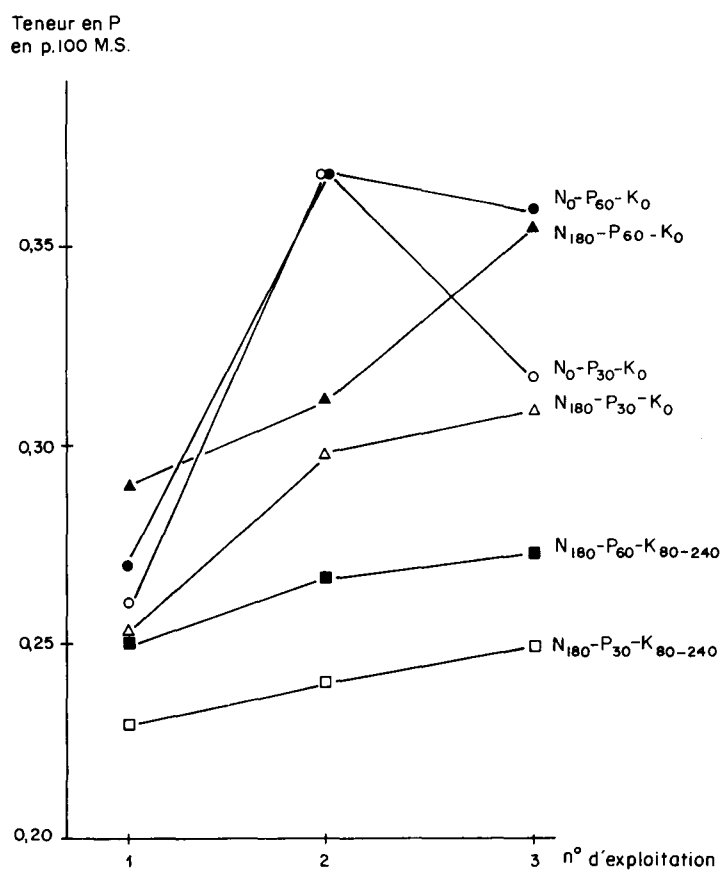
Les teneurs en phosphore (figure 5) sont plus élevées dans les traitements P (sans N ni K) et les traitements N-P (sans K).

Les faibles productions des traitements sans N ni K entraînent de faibles besoins en P, de sorte que la dose P_{30} est suffisante, dans ce cas, pour équilibrer les exportations et maintenir des teneurs supérieures à 0,25 % (niveau témoin d'une alimentation assez satisfaisante) ; le niveau critique pour lequel la production s'effondre est très inférieur, vers 0,10 % de P environ (d'après des chiffres de L. GACHON non publiés sur ray-grass en pots Chaminade). La dose P_{60} n'améliore pas les teneurs (sauf en troisième coupe), car l'absorption de phosphore apporté en couverture nécessite aussi une bonne alimentation en azote et en potassium.

Sous les traitements N-P, les besoins en P sont un peu plus élevés que pour les traitements P seul, environ 40 kg/ha de P_2O_5 , et la dose appliquée a une influence sur les teneurs, la dose P_{30} étant suffisante.

Les traitements les plus productifs, N-P-K, assurent une exportation légèrement inférieure à 60 kg/ha/an de P_2O_5 . Les teneurs sont alors peu inférieures à 0,25 pour P_{30} et légèrement supérieures pour P_{60} .

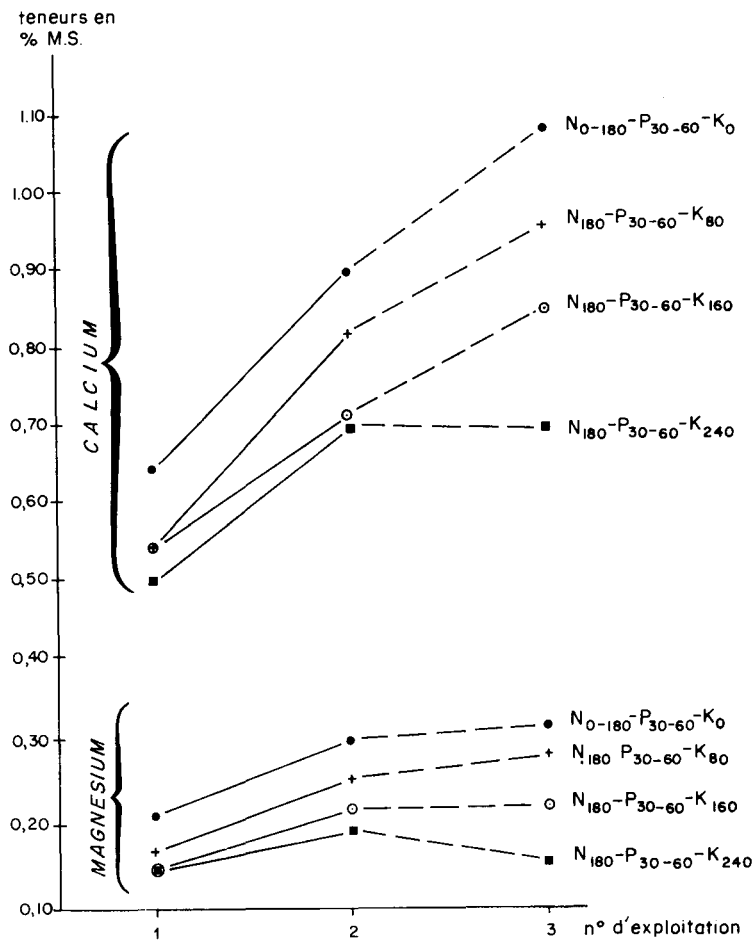
FIGURE 5
TENEURS EN PHOSPHORE
AUX DIFFÉRENTES EXPLOITATIONS
(moyennes de 1975 à 1978, pondérées par rapport à la production
de matière sèche)



On peut donc estimer qu'une dose annuelle de l'ordre de 50 kg de P₂O₅ correspond au maintien des stocks du sol dans les conditions optimales de fumure de l'essai (N₁₈₀ et K₁₆₀).

*Fertilisation minérale
sur prairie de fauche*

FIGURE 6
TENEURS EN CALCIUM ET EN MAGNÉSIUM
AUX DIFFÉRENTES EXPLOITATIONS
 (exploitations 1 et 2 : moyennes de 1974 et 1975, pondérées par rapport
 à la production de matière sèche ; exploitation 3 : 1975)



5. Teneurs en calcium et en magnésium

Pour ces éléments, nous ne disposons que de deux années d'analyses, 1974 (2 coupes) et 1975. Mais les deux facteurs qui agissent ont des effets très francs qu'on peut relier à un effet de dilution (figure 6).

Les teneurs augmentent fortement de la première à la troisième coupe et baissent nettement avec l'accroissement des doses de potasse, c'est-à-dire, dans les deux cas, en sens inverse de la variation de la quantité de matière sèche récoltée : une plus forte croissance n'est pas suivie par une absorption de Ca et de Mg en proportion.

6. Évolution du sol

Les analyses effectuées en fin d'essai sur trois horizons de 0 à 5 cm, de 5 à 15 cm et de 15 à 30 cm, montrent que les seuls paramètres qui manifestent une franche différenciation en fonction des traitements sont le taux de potassium des horizons 0-5 cm et 5-15 cm, le taux de carbone du sol et le rapport C/N de l'horizon 0-5 cm. Les autres paramètres sont à peu près constants ou ont subi des variations aléatoires sans rapport avec les traitements.

Les traitements ont entraîné les différenciations suivantes en 5 ans :

$$(3) C = 129 - 0,013 N + 0,036 K \quad r^2 = 0,910$$

C : taux de carbone pour mille ;

N et K : dose annuelle de ces éléments.

$$(4) C/N = 9,74 - 0,00437 N + 0,00398 K \quad r^2 = 0,808.$$

Ainsi, dans des conditions de fauche exclusive, c'est-à-dire ici exportation des récoltes sans aucune restitution organique, la fertilisation azotée stimule l'activité biologique et la minéralisation tandis que la fertilisation potassique paraît la freiner.

Les variations de taux de potassium dans l'horizon 0-5 cm sont importantes :

$$(5) K_{\text{sol}} = 0,447 - 0,00071 N + 0,00227 K \quad r^2 = 0,947$$

où K_{sol} désigne la teneur en potassium du sol (en meq %).

L'apport d'azote permet des prélèvements supérieurs et appauvrit le sol ; les apports de potasse croissants sont fidèlement reflétés par l'enrichissement du sol, surtout dans l'horizon 0-5 cm, confirmant ainsi les bilans de la figure 4.

7. Évolution de la végétation

Deux relevés botaniques ont été effectués sur 48 points quadrats par traitement, en juin 1975, un an après l'installation, et en octobre 1978, en fin d'expérimentation (tableau III).

Le relevé de juin 1975 montre une très grande homogénéité : les traitements n'ont pas eu d'effet encore sur la végétation, tandis qu'en octobre 1978 les différences apparaissent très nettement.

Sans entrer trop dans le détail par espèce, donné au tableau III, nous examinons ici principalement l'influence des traitements sur les grandes catégories d'espèces :

- a) *Graminées productives* : dactyle, fromental, pâturin des prés, pâturin commun et fléole

Ce groupe est favorisé par la fertilisation potassique et connaît un maximum avec K₁₆₀ et N₁₈₀

$$(6) G_p = 8 + 0,153 K - 0,00050 K^2 + 0,046 N \quad r^2 = 0,995 \\ \text{ddl} = 2$$

G_p : contribution spécifique de présence en % ;
K et N : doses annuelles de potasse et d'azote.

Dans le détail, le dactyle et le pâturin commun ne cessent de s'accroître avec l'augmentation de la dose de potasse, la fréquence du fromental est maximum pour N₁₈₀ K₈₀ et N₁₈₀ K₁₆₀ et le pâturin des prés est maximum pour N₁₈₀ K₀ ; la fléole a disparu de tous les traitements, peut-être en raison de la sécheresse du printemps 1976.

- b) *Graminées moyennement productives* : agrostis vulgaire, fétuque rouge, triseté, flouve odorante

La fréquence des graminées moyennes est augmentée par l'apport azoté et diminuée en proportion par l'augmentation de la dose de potasse.

$$G_{mp} = 35 + 0,108 N - 0,064 K \quad r^2 = 0,982 \quad \text{ddl} = 2$$

TABLEAU III
ANALYSE DE LA COMPOSITION BOTANIQUE
(Contributions spécifiques de présence exprimées en %)

Date de l'analyse floristique		13/06/1975	5/10/1978				
Traitements		moenne	T1 P seul	T4 N-P	T6 N-P-K ₈₀	T8 N-P-K ₁₆₀	T10 N-P-K ₂₄₀
(Dactyle	<i>Dactylis glomerata</i> L.	: 7,5	: 5,0	: 4,6	: 12,0	: 14,2	: 16,5
(Fromental	<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) Mert. et K.	: 2,5	: 0,5	: 3,7	: 10,6	: 9,7	: 5,2
(Pâturin des prés	<i>Poa pratensis</i> L.	: 0,3	: 1,8	: 7,4	: 2,3	: 1,9	: 0,7
(Pâturin commun	<i>Poa trivialis</i> L.	: 9,2	: 0,5	-	: 0,8	: 1,2	: 1,5
(Fléole	<i>Phleum pratense</i> L.	: 0,1	-	-	-	-	-
(Ensemble des graminées 4 et 5		: 19,6	: 7,8	: 15,7	: 25,7	: 27,0	: 23,9
(Agrostide	<i>Agrostis vulgaris</i> With.	: 9,0	: 10,4	: 19,4	: 11,4	: 14,2	: 13,5
(Fétuque rouge	<i>Festuca rubra</i> L.	: 10,2	: 10,6	: 26,0	: 18,2	: 14,2	: 15,0
(Avoine pubes.	<i>Avena pubescens</i> Huds.	: 0,6	-	-	-	-	: 0,7
(Trisette	<i>Trisetum flavescens</i> (L.) Ry.	: 8,2	: 8,6	: 6,5	: 12,1	: 9,7	: 6,0
(Houlique molle	<i>Holcus mollis</i> L.	: 0,3	-	-	-	: 0,6	-
(Flouve	<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	: 3,0	: 5,4	: 2,8	: 5,3	: 5,8	: 3,7
(Créteille	<i>Cynosurus cristatus</i> L.	: 0,1	-	-	: 0,8	-	-
(Ensemble des graminées 1,2 et 3		: 31,4	: 35,0	: 54,7	: 47,8	: 44,5	: 38,9
(Trèfle blanc	<i>Trifolium repens</i> L.	: 4,2	: 1,8	-	: 0,8	: 1,2	-
(Trèfle violet	<i>Trifolium pratense</i> L.	: 0,1	: 0,5	-	-	-	: 0,7
(Vesce	<i>Vicia sepium</i> L.	: 0,2	-	: 0,9	-	: 1,2	: 1,5
(Ensemble des légumineuses		: 4,5	: 2,3	: 0,9	: 0,8	: 2,4	: 2,2
(Grande Berce	<i>Heraclium spondylium</i> L.	: 1,7	-	-	: 0,8	: 0,6	: 0,7
(Knautie	<i>Knautia arvensis</i> L.	: 3,0	: 2,3	: 2,8	: 2,3	: 1,2	: 2,2
(Géranium	<i>Geranium sylvaticum</i> L.	: 2,3	: 0,5	: 0,9	: 2,3	: 1,9	: 5,2
(Espèces diverses de forte taille		: 7,0	: 2,8	: 3,7	: 5,4	: 3,7	: 8,1
(Alchemille	<i>Alchimilla vulgaris</i> L.	: 3,9	: 5,0	: 0,9	: 3,8	: 4,5	: 3,7
(Ren. Tête d'Or	<i>Ranunculus auricomus</i> L.	: 1,6	: 6,8	: 5,6	: 1,5	: 0,6	: 0,7
(Myosotis	<i>Myosotis</i> sp.	: 3,8	-	-	-	-	-
(Raiponce	<i>Phyteuma</i> sp.	: 5,8	: 0,5	-	-	-	: 3,7
(Mousses	Muscinées	: 1,9	: 11,3	: 10,2	: 1,5	: 1,2	-
(Pissenlit	<i>Taraxacum officinale</i> Weber.	: 4,6	: 9,5	: 3,7	: 5,3	: 13,6	: 14,2
(Rumex Oseille	<i>Rumex acetosa</i> L.	: 1,4	: 1,8	-	: 0,8	-	: 0,7
(Bugle	<i>Ajuga reptans</i> L.	: 0,1	: 1,4	: 0,9	-	-	: 0,7
(Jonquille	<i>Narcissus jonquilla</i> L.	: 2,8	-	-	-	-	-
(Conopode	<i>Conopodium denudatum</i> Koch.	: 7,6	-	-	-	-	-
(Renoncule acre	<i>Ranunculus acris</i> L.	: 0,8	: 1,8	-	: 1,5	-	: 0,7
(Ceraste cesp.	<i>Cerastium cespitosum</i> Gilib.	: 0,8	: 0,9	-	-	-	-
(Saxifrage	<i>Saxifraga granulata</i> L.	: 1,5	-	: 0,9	-	-	-
(Fenouil alpin	<i>Meum athamaniticum</i> Jacq.	: 0,8	-	: 0,9	-	-	-
(Ver. pt chêne	<i>Veronica chamaedrys</i> L.	: 0,3	: 2,3	-	: 0,8	-	: 0,7
(Campanule sp.	<i>Campanula</i> sp.	: :	: 6,8	-	: 2,3	: 1,2	: 0,7
(Violette tric.	<i>Viola tricolor</i> L.	: :	: 2,7	: 1,9	: 1,5	-	-
(Espèces diverses, moyenne et faible taille		: 37,7	: 52,7	: 25,0	: 19,0	: 21,1	: 25,8
(Autres espèces		: :	: :	: :	: :	: :	: :
(Bellis perennis L.		: :	: :	: :	: :	: :	: :
(Plantago lanceolata L.		: :	: :	: :	: :	: :	: :
(Crocus sp.		: :	: :	: :	: :	: :	: :
(Hypochaeris radicata L.		: :	: :	: :	: :	: :	: :
(Lathyrus pratensis L.		: :	: :	: :	: :	: :	: :

Dans ce groupe, l'agrostide et la fétuque rouge sont très dominantes et ont leur maximum en N₁₈₀ K₀ ; la trisète vient ensuite et a son maximum en N₁₈₀ K₈₀ ; la flouve ne réagit pas aux variations de traitements.

c) *Plantes diverses de moyenne et faible taille*

Un certain nombre d'espèces, présentes au printemps 1975, sont absentes en octobre 1978 simplement en raison de leur caractère printanier : *Myosotis*, *Phyteuma*, *Narcissus*, *Conopodium*.

Les plantes diverses de moyenne et petite taille constituent 53 % de la couverture de N₀K₀ ; avec 180 kg d'azote, la contribution de ces espèces n'est plus que de 20 à 25 % avec un léger minimum pour les doses K₈₀ et K₁₆₀.

Les muscinées et la renoncule (*R. auricomus*) sont abondantes (respectivement 11 % et 6 %) en l'absence d'apports potassiques et diminuent fortement dès la dose K₈₀.

Le pissenlit, plante basse à rosette, est bien représenté lorsqu'il y a faible compétition pour la lumière (9,5 % sous les traitements P sans azote ni potasse). Si la compétition est forte, c'est-à-dire si la fumure azotée est importante (N₁₈₀ dans cet essai), sa contribution est étroitement dépendante du niveau de la fumure potassique : 3,5 à 5,3 % si la fumure potassique est égale ou inférieure à K₈₀ et 14 % environ si la fumure potassique est égale ou supérieure à K₁₆₀ ; ainsi l'abondance de pissenlit dans les prairies grasses correspond ici à un bon niveau potassique.

Les légumineuses sont très peu représentées dans cette prairie, mais il faut constater simplement que les conditions de compétition avec les graminées leur sont très défavorables dans cet essai : d'une part, en l'absence d'apports potassiques, la nutrition potassique est désastreuse : le rapport potassium/azote du fourrage est alors toujours inférieur à 0,60. Or, nous estimons d'après les observations botaniques effectuées dans les prairies de la région, sur andosols, que ce rapport doit être supérieur à 1,1 pour un bon développement des légumineuses. D'autre part, avec 180 kg d'azote à l'hectare, les graminées sont avantagées, l'augmentation des doses de potasse améliorant la nutrition potassique, mais insuffisamment pour les légumineuses car le rapport potassium/azote reste compris entre 0,8 et 1.

CONCLUSIONS

— *La potasse apparaît comme l'élément limitant des rendements dans cet essai de production de prairie de fauche en montagne volcanique : en présence de 180 kg d'azote, la dose optimale serait de 160 kg de K₂O.*

L'action rapide des apports de K₂O sur les teneurs de l'herbe suggère que le fractionnement permet une meilleure utilisation. Toutefois, dans la pratique, on constate que les prés de fauche de la région ont des fourrages relativement riches en potasse par rapport à ceux récoltés sur cet essai (2,00 ± 0,56 % de K en 1^{re} coupe, 2,10 ± 0,46 de K en 2^e coupe) pour des apports moyens par le lisier de 144 ± 79 kg de K₂O. Mais ces teneurs correspondent à un niveau de fertilisation azotée plus bas que celui de l'essai.

En conséquence des résultats de notre essai, il faudrait soit assurer une meilleure répartition des lisiers, soit compléter par une fumure minérale ; il faut remarquer qu'une vache présente à l'étable pendant 6 mois libère environ 50 kg de potasse : *il faut donc 2 à 3 UGB à l'étable par hectare de pré de fauche pour assurer un bon entretien potassique. A partir d'un chargement global d'exploitation de 1,5 UGB/ha environ, on peut réaliser une restitution presque suffisante de potasse par le recyclage des lisiers, du moins après quelques années d'investissement en fumure minérale pour relever les stocks du sol.*

— *La réponse à la fertilisation phosphatée dépend de l'état d'enrichissement en P du sol.*

Le niveau des apports phosphatés, 30 ou 60 kg de P₂O₅ par hectare et par an, a peu d'influence sur la production de cet essai : *une fumure de l'ordre de 50 kg de P₂O₅ permet de compenser les exportations.*

— *Les prairies de fauche répondent bien à l'azote jusqu'à N₁₈₀.*

Avec de fortes doses de potasse, il est possible qu'on puisse obtenir une réponse pour des niveaux d'azote supérieurs.

— *Les légumineuses n'ont eu que peu de développement dans cet essai, soit par une dramatique insuffisance de la nutrition potassique, soit par*

*Fertilisation minérale
sur prairie de fauche*

suite de la concurrence des graminées avec une nutrition potassique encore insuffisante pour les légumineuses dans les traitements N-P avec N₁₈₀. Elles n'ont pas rencontré les conditions de fumure qui leur auraient été favorables (de MONTARD, 1983) : une forte fertilisation potassique annuelle (supérieure à 160 kg de K₂O) et une faible fertilisation azotée (inférieure à 100 kg de N). À ces facteurs nutritionnels défavorables, il faut ajouter les températures basses à cette altitude, la richesse en aluminium libre des sols volcaniques de type andique et le rythme lent des coupes.

*
**

III - CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Ces essais ont permis de préciser le comportement vis-à-vis de la fertilisation - et d'en déduire quelques directives - de prairies permanentes exploitées en régime de fauche ou en régime de pâture, situées dans le Massif Central dans des zones d'altitude voisine de 1 000 m, à climat très humide (précipitations de l'ordre de 1 200 mm), sur des sols d'origine volcanique. Ces caractéristiques se rencontrent sur des étendues importantes dans le massif des Monts Dore, le plateau du Cézallier, le massif du Cantal, les plateaux de l'Aubrac et la région du Mézenc.

Pour expérimenter au mieux le potentiel productif de ces prairies, les besoins sont d'environ 180 kg d'azote répartis sur 3 coupes (80-60-40) en fauche, et d'environ 100 à 150 kg en pâture à raison de 25 à 50 kg en première pousse et de 25 à 30 kg sur les repousses, dans le cas où a lieu le détournement des déjections de la nuit sur un lieu de couchage extérieur.

Les besoins annuels en anhydride phosphorique sont de l'ordre de *50 kg de P₂O₅/ha en fauche* ; ils n'ont pas été étudiés en pâture mais peuvent être estimés entre 15 et 30 kg (B. JEANNIN et al., 1979).

Aux niveaux de fumure azotée préconisés, les besoins annuels correspondants en potasse sont de *160 kg de K₂O en fauche* et de *80 kg en pâture*.

Ces besoins en azote, phosphore et potassium peuvent être satisfaits soit par la fertilisation organique (40 % de l'azote du lisier sont rapidement assimilables, d'après J. BLANCHON et al., 1973), soit directement par la fertilisation minérale, soit le plus souvent par la combinaison des deux.

On obtient ainsi 9 à 10 t de M.S. La production annuelle de M.A.T. est de 1 200 kg en fauche et 2 000 kg en régime de pâture.

Des *conditions favorables au développement du trèfle blanc* ont été réalisées en pâture avec la fertilisation P₁₂₀-K₁₂₀ sans fumure azotée ; le résultat est une production de matière sèche supérieure à 8 t/ha et de 1 600 kg/ha de M.A.T. au lieu de 6,5 t et 1 200 kg respectivement sur un dactyle Floréal semé seul. On estime ainsi approximativement la fixation annuelle du trèfle à 64 kg/ha dans cette pâture.

Par ailleurs, les parcelles amenées jusqu'à l'épuisement par des fauches successives sur 7 ou 8 ans sans aucune restitution, n'exportent plus que 50 à 60 kg d'azote/ha/an.

En effectuant dans ces dernières parcelles des restitutions minérales de phosphore, de potasse et de chaux magnésienne pour stimuler l'activité du sol, on augmente quelque peu les exportations d'azote (72 kg d'azote/ha) ; cette quantité peut être considérée comme la capacité moyenne de minéralisation de l'azote du sol. Or, le sol de Laqueuille contient environ 22 t d'azote dans l'horizon prospecté par les racines (0-45 cm) ; le taux de minéralisation apparent de l'azote humique stocké serait d'environ 3,3 % dans ces conditions montagnardes de prairie permanente sur sol volcanique ; ce taux faible répond aux conditions du climat local.

Un autre résultat de cette série d'essais est la possibilité de *maintenir le pH du sol par l'usage des scories* : tant que les doses d'azote appliquées ne dépassent pas les capacités d'utilisation par la végétation prairiale (180 kg

*Fertilisation minérale
sur prairie de fauche*

en fauche, 125 kg en pâture), les apports de scories suffisent à maintenir le pH entre 5,3 et 5,8. Par contre, l'utilisation systématique d'engrais phosphatés acidifiants ou à faible pouvoir chaulant, associée à des forts apports azotés, créerait les conditions d'une importante baisse du pH et d'une dégradation de la prairie.

F.X. de MONTARD,

I.N.R.A., Station d'Agronomie de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) ;

R. ARNAUD et M. NIQUEUX,

*I.N.R.A., Station d'Amélioration des Plantes,
Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).*

Remerciements

Nous remercions la S.C.P.A. (Société Commerciale des Potasses et de l'Azote) pour sa participation aux analyses et à l'interprétation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anonyme (1976) : *Quelques données recueillies en 1975*, I.N.R.A.-SEI, Domaine de Marcenat, 15330 Marcenat, ronéotypé, 52 p.

ARNAUD R. (1972) : « Influence du mode d'exploitation sur le comportement de prairies temporaires en altitude », *Fourrages*, n° 50, pp. 107-134.

ARNAUD R. et NIQUEUX M. (1977) : « Comportement en culture d'écotypes d'espèces constitutives de la prairie permanente de montagne », *Fourrages*, n° 71, pp. 51-69.

ARNAUD R., DE MONTARD F.X. et NIQUEUX M. (1978) : « Influence du mode d'exploitation sur la production d'une prairie permanente en altitude », *Fourrages*, n° 75, pp. 29-52.

- JEANNIN B., GAREL J.-P., LOUYOT J., DE MONTARD F.X. et PETIT M. (1979) : « Production et utilisation rationnelle des pâturages d'altitude dans les montagnes humides du Massif Central », *Pâturages d'altitude et Parcours méditerranéens*, I.N.R.A. ed.
- MERIAUX S. et DELECOLLE R. (1980) : « Hiérarchie entre les facteurs physiques du milieu intervenant sur le taux de conversion de l'énergie solaire par quelques graminées fourragères », *C.R. Acad. Agric.*, 1980, pp. 1559-1575.
- DE MONTARD F.X. et ARNAUD R. (1973) : « Quelques aspects de la compétition entre plantes spontanées et plantes semées dans les prairies temporaires de dactyle et de fétuque élevée dans les Monts-Dore », *Ann. Agron.*, 24 (5), pp. 571-584.
- DE MONTARD F.X. (1981) : « L'action des facteurs climatiques sur la croissance de l'herbe. Exemple d'une prairie à *Agrostis tenuis* et *Poa pratensis* des Monts d'Auvergne », *Fourrages*, n° 85, pp. 39-52.
- DE MONTARD F.X. (1983) : « La production des prairies dans les Monts-Dore », *l'Agriculture des Monts-Dore*, ouvrage I.N.R.A., sous presse.
- NIQUEUX M. et KOPEC S. (1972) : « Comparaison de la repousse d'herbages de montagne après fauche et après pâture », *Fourrages*, n° 51, pp. 119-134.