

# Nutrition azotée et potassique de peuplements prairiaux : évolution et équilibre à long terme. Influence du mode d'exploitation.

L. Huché<sup>1</sup>, O. Jourdan<sup>2</sup>, M. Hnatyszyn<sup>3</sup>,  
J. Ramon<sup>2</sup>, J. Quéméner<sup>2</sup>, J. Salette<sup>1</sup>

**C**ette étude présente un mode de caractérisation et de suivi sur plusieurs années de la dynamique de nutrition minérale d'un peuplement prairial. Cette méthode de travail est particulièrement adaptée à l'estimation de l'influence du mode de gestion d'une parcelle sur la dynamique de nutrition azotée et potassique de son peuplement végétal.

---

## *MOTS CLÉS*

Dactyle, évolution, fétuque élevée, mode d'exploitation, modélisation, nutrition azotée, nutrition potassique, prairie permanente.

## *KEY-WORDS*

Cocksfoot, evolution, tall fescue, management, modelling, nitrogen nutrition, potassium nutrition, permanent pasture.

## *AUTEURS*

1 : I.N.R.A., Laboratoire d'Agronomie de la Prairie, Beaucouzé, Angers (Maine-et-Loire)

2 : Société Commerciale de la Potasse et de l'Azote, Centre de recherches d'Aspach-Le-Bas (Haut-Rhin)

3 : Lycée Agricole Le Robillard (Calvados)

## *CORRESPONDANCE*

L. HUCHÉ, I.N.R.A., Laboratoire d'Agronomie de la Prairie, Beaucouzé, F-49000 Angers

## Principes de la démarche

Un modèle de prélèvement d'un élément minéral par le peuplement prairial, au cours de la croissance entre deux défoliations, a été d'abord établi pour l'azote ( $N_{\text{prél}} = \alpha(MS)^{-\beta}$ ) (SALETTE et LEMAIRE, 1981) puis généralisé à d'autres éléments minéraux dont le potassium (SALETTE, 1982 ; SALETTE et al., 1982). La croissance  $y$  est exprimée par le "degré de croissance" défini comme la quantité de matière sèche élaborée depuis la dernière défoliation (MS).

La nutrition minérale d'un peuplement prairial en un élément nutritif  $M$  peut également être suivie sur l'ensemble de la durée de vie de la prairie, en cumulant les prélèvements des repousses successives réalisées au cours de plusieurs années. Cela revient à cumuler les courbes élémentaires de prélèvement réalisées au cours de chaque repousse. On peut ainsi représenter graphiquement les prélèvements cumulés d'un élément minéral  $M$  ( $M_{\text{cum}}$ ) en fonction des quantités de matière sèche récoltables cumulées ( $M_{\text{Scum}}$  : cumul des quantités de matière sèche élaborée au cours de chaque repousse). La courbe qui en résulte  $M_{\text{cum}} = f(M_{\text{Scum}})$  représente la dynamique de nutrition du peuplement prairial en l'élément  $M$  au cours de la période d'étude.

L'ajustement de la courbe  $M_{\text{cum}} = f(M_{\text{Scum}})$  à une équation de la forme :  $M_{\text{cum}} = \alpha(M_{\text{Scum}})^{\beta}$  a été réalisé (SALETTE, 1990 ; SALETTE et HUCHÉ, 1989). Il permet d'estimer le degré d'évolution ( $\beta$ ) de la dynamique de nutrition du peuplement prairial en  $M$  et donc de la bio-disponibilité de  $M$  pour le peuplement prairial :  $\beta > 1$  traduit une augmentation et  $\beta < 1$  une diminution du niveau de nutrition et de la bio-disponibilité en l'élément  $M$  et par conséquent une dégradation de l'état de nutrition.

Lorsque  $\beta$  est égal à 1 (ou très proche), les relations "offre-nutrition-prélèvement" relèvent, pour la durée de l'étude, d'un comportement constant de l'ensemble sol-plante soumis à un mode de gestion et d'exploitation donné ; la courbe précédente peut alors être ajustée à une droite :  $M_{\text{cum}} = b \times (M_{\text{Scum}})$  (SALETTE et HUCHÉ, 1989). La pente de cette droite,  $b$ , a la dimension d'une teneur (M %) et s'exprime en kg de  $M$  prélevé par tonne de matière sèche élaborée. Ce coefficient  $b$  correspond à une "consommation moyenne ajustée" du peuplement prairial en minéral  $M$ , pour un mode de gestion donné de la parcelle.

Le suivi des prélèvements et des apports cumulés en un minéral  $M$  avait déjà été étudié en fonction du cumul du nombre de défoliations (ARNAUD et al., 1983). La représentation en fonction du cumul des quantités de matière sèche récoltées permet de représenter et de quantifier sur une longue période l'équilibre apport - prélèvement et les conséquences d'un éventuel déséquilibre sur la production fourragère et la composition minérale du fourrage obtenu.

Cette étude présente quelques exemples de dynamique de nutrition azotée et potassique d'une prairie suivie pendant plusieurs années et illustre les possibilités d'utilisation de ces modèles comme base concrète pour un meilleur ajustement de la fertilisation au mode de gestion de la prairie : correspondance entre mode d'exploitation et objectifs de production.

## **Dispositifs expérimentaux**

Les résultats présentés concernent deux essais de longue durée faisant partie du réseau expérimental de la Société Commerciale de la Potasse et de l'Azote (S.C.P.A.).

### **1. Objectifs de ces essais**

Les objectifs principaux de ces essais étaient une meilleure connaissance, à l'échelle de la parcelle, du devenir des restitutions au pâturage et la détermination de la fertilisation potassique optimale pour divers modes de gestion (intensification azotée, mode d'exploitation).

Sur le site d'Aspach (Haut-Rhin) des essais sur prairies temporaires exploitées en fauche au rythme de la pâture ont montré que l'optimum de fertilisation, aussi bien pour la production que pour le maintien de l'état de fertilité du sol, se situait environ à : 80 kg N/ha au départ de la végétation et 60 kg N/ha après chaque exploitation, pour l'azote ; 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an, pour le phosphore et 450 kg K<sub>2</sub>O/ha/an, pour le potassium (CHEVALIER, 1975 ; CHEVALIER et QUÉMÉNER, 1977).

Sur ce même site, les premières études sur le devenir du potassium des déjections ont montré qu'environ la moitié du potassium apporté par les urines des animaux au pâturage n'était pas récupérée par la plante (GARAUDEAUX et al., 1975), résultat confirmé par la suite (Lombaert, 1983).

On peut donc supposer qu'une fertilisation potassique de 225 kg K<sub>2</sub>O/ha/an serait optimale pour des parcelles exclusivement pâturées. Pour vérifier cette hypothèse, les dispositifs expérimentaux suivants ont été mis en place.

### **2. Essais d'Aspach-le-Bas**

La station agronomique d'Aspach (centre de recherche de la S.C.P.A., Haut-Rhin) est située au pied des derniers contreforts des Vosges. Le climat y est de type continental (température moyenne annuelle inférieure à 10°C, fortes amplitudes thermiques, pluviométrie moyenne annuelle : 920 mm). Le sol est un limon profond contenant 16 à 20% d'argile à fort pouvoir fixateur en potassium, acide (pH eau = 5,5 à 6), très battant et faiblement pourvu en potassium échangeable.

Des parcelles de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* cv. Ludion) et de dactyle (*Dactylis glomerata* cv. Prairial) ont été semées en 1975 et suivies de 1976 à 1983.

Les traitements fertilisants étudiés étaient les quatre combinaisons des facteurs "fertilisation potassique" (sans ou avec, 0 ou 225 kg K<sub>2</sub>O/ha/an sous forme de chlorure de potassium) et "mode d'exploitation" (fauche ou pâture par des bœufs de 2 ans), avec 4 répétitions (parcelles de 1 372 m<sup>2</sup> pour la pâture et de 12 m<sup>2</sup> pour la fauche).

L'azote et le phosphore étaient apportés en quantités supposées optimales (80 kg N/ha au départ en croissance de la végétation et 60 kg N/ha après chaque exploitation, 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an en hiver sous forme de super-triple à 47,5 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

### 3. Essais du Robillard

Au Lycée agricole du Robillard (Calvados) une prairie permanente a été suivie pendant 9 ans (1978 - 1986) par le Lycée et la S.C.P.A. en liaison avec la station d'Agronomie d'Angers (I.N.R.A.).

Le climat de la région est de type océanique (pluviométrie moyenne annuelle : 700 mm, bien répartie dans l'année, température moyenne annuelle : 10°C, faibles amplitudes thermiques). Le sol de la parcelle d'essai est un limon argileux (25 % d'argile) sur calcaire du Bathonien, légèrement alcalin (pH eau = 7,3 à 7,5). Ce sol est riche en matière organique (5 %) et estimé "assez pauvre" en potassium (140 à 150 ppm K<sub>2</sub>O échangeable), le sous sol (> 30 cm) est riche en calcaire et pauvre en potassium (RAMON, 1983).

Le dispositif expérimental du Robillard comportait deux parties :

— deux grandes parcelles exploitées fin juin par une coupe à foin et pâturées par des vaches laitières le reste de l'année (dont un pâturage précoce au printemps). Il comportait deux parcelles conduites avec une forte fertilisation azotée (N320 : 80 kg N/ha en fin d'hiver et 60 kg N/ha après chaque exploitation) et différenciées par la fertilisation potassique (sans ou avec K : 0 ou 300 kg K<sub>2</sub>O/ha/an, apport majoré par rapport à Aspach pour tenir compte des exportations supplémentaires liées au foin) ;

— des microparcelles exclusivement fauchées, comprenant les 8 combinaisons des facteurs fertilisation azotée (intensive (N320) et plus extensive (N160) : 40 kg N/ha en fin d'hiver et 30 kg N/ha après chaque exploitation) et fertilisation potassique (K0, K150, K300 et K450 correspondant respectivement à des apports annuels de 0, 150, 300 et 450 kg K<sub>2</sub>O/ha en fin d'hiver).

Sur toutes les parcelles, la fertilisation phosphatée était apportée sous forme de scories en hiver (120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/an).

Pour ces deux dispositifs, à Aspach et au Robillard, la détermination, lors de chaque défoliation, de la production et de la composition minérale de la biomasse végétale récoltée (pour les parcelles pâturées : fauche d'une petite parcelle avant l'entrée des animaux) a permis de suivre la dynamique de prélèvement des éléments minéraux au cours de la période d'étude.

## Résultats

### 1. Production fourragère

L'effet de la fertilisation et du mode de gestion de la parcelle sur la production fourragère totale (cumul sur une durée de 8 ou 9 ans des quantités de matière sèche récoltées à chaque défoliation) dépend de la nature du peuplement végétal :

#### • Effet de la fertilisation sur les parcelles exploitées exclusivement en fauche

Au Robillard (tableau 1a) on note une synergie des effets de la fertilisation azotée et de la fertilisation potassique sur la production fourragère totale. L'effet positif d'une fertilisation azotée importante est maximal pour un apport annuel de

<b>a</b>	Mode de gestion	Traitement K			<b>b</b>	Mode de gestion	Traitement K	
		K0	K 150	K 300			K 450	K0
	N 160 fauche	65	73	76	78	<b>Fétuque élevée</b>		
						Fauche	70	76
						Pâturage	78	97
	N 320 fauche	71	84	98	96	<b>Dactyle</b>		
	N 320 pâturage	68		104		Fauche	70	82
						Pâturage	77	83

TABLEAU 1 : Effet du mode de gestion sur la production cumulée, a) de la prairie permanente étudiée au Robillard, b) de peuplements de fétuque et de dactyle étudiés à Aspach (Cumul sur a) 9 ans, b) 8 ans des quantités de matière sèche récoltées à chaque défoliation, MS<sub>cum</sub> en t MS/ha ; a : N160 et N320, doses d'azote de 160 et 320 kg N/ha/an ; b : N = 320 kg N/ha/an)

TABLE 1 : Management effect on cumulated production of, a) the studied permanent pasture at "Le Robillard", b) studied Fescue and Cocksfoot stands at "Aspach" (Accumulated herbage growth during a) 9 years, b) 8 years ; dry matter production in t/ha ; a : N160 and N320 : levels of nitrogen fertilization ; b : N = 320 kg N/ha/an)

300 kg K<sub>2</sub>O/ha. Des fertilisations potassiques supérieures à 300 kg K<sub>2</sub>O/ha en régime azoté intensif (N2) et à 150 kg K<sub>2</sub>O/ha en régime moins intensif (N1) ne permettent pas d'augmentation significative de la production.

A Aspach (tableau 1b), la fertilisation potassique accroît la production fourragère totale, et ceci plus fortement sur fétuque que sur dactyle.

### • Comparaison fauche - pâture

A long terme, la pâture a un effet positif sur la production fourragère totale pour les traitements suivants : uniquement sur les parcelles recevant du potassium (K300) sur prairie permanente (au Robillard, tableau 1a), uniquement sur les parcelles ne recevant pas de potassium (K0) sur dactyle (Aspach, tableau 1b) et dans tous les cas pour la fétuque (Aspach) mais de manière plus intense en présence de fertilisation potassique.

## 2. Dynamique de prélèvement de l'azote

Sur chaque site et pour chaque traitement, la dynamique de nutrition azotée du peuplement prairial est constante : les prélèvements cumulés d'azote (Ncum) par le peuplement prairial en fonction des quantités cumulées de matière sèche récoltée à chaque défoliation suivent un ajustement linéaire.

### • Effet de la fertilisation sur les parcelles exploitées exclusivement en fauche

Au Robillard (tableau 2a) seule la fertilisation azotée affecte l'intensité des prélèvements d'azote ; la fertilisation potassique n'a pas d'effet significatif :

— en régime azoté intensif (N2), le peuplement prairial prélève en moyenne 26 kg d'azote pour l'élaboration d'une tonne de matière sèche récoltable quelle que soit la production totale obtenue. Les bilans azotés (apports – prélèvements) sont équilibrés avec une fertilisation potassique annuelle de 300 kg K<sub>2</sub>O/ha ou plus ; ils sont excédentaires avec une fertilisation potassique moindre (0 ou 150 kg K<sub>2</sub>O/ha) ; cela illustre le fait que, dans ces conditions, le potassium est, après l'azote, le premier facteur limitant la production.

— en régime moins intensif (N1), la plante prélève en moyenne 22 kg d'azote par tonne de matière sèche récoltable élaborée. Les prélèvements d'azote sont toujours supérieurs aux apports, le sol fournit environ 50 kg N/ha/an, quelle que soit la fertilisation potassique (figure 1).

A Aspach (tableau 2b), le dispositif expérimental ne comportait qu'un seul niveau de fertilisation azotée (supposé non limitant pour la production). Pour les

<b>a</b>	Mode de gestion	Traitement K			<b>b</b>	Mode de gestion	Traitement K	
		K0	K150	K 300			K450	K0
	<b>N160 fauche</b>	23,5	22,0	21,9	21,6	<b>Fétuque élevée</b>		
						<b>fauche</b>	27,4	26,6
						<b>pâturage</b>	27,6	25,5
	<b>N320 fauche</b>	25,3	26,3	25,4	25,5	<b>Dactyle</b>		
						<b>fauche</b>	26,1	24,8
	<b>N320 pâturage</b>	28,8		26,6		<b>pâturage</b>	25,0	25,2

TABLEAU 2 : Teneur moyenne ajustée en azote, a) de la prairie permanente étudiée au Robillard, b) de peuplements de fétuque et de dactyle étudiés à Aspach. Les prélèvements cumulés d'azote (Ncum) d'une prairie permanente en fonction des quantités cumulées de matière sèche récoltées à chaque défoliation (MScum) suivent un ajustement linéaire :  $Ncum = b \times MScum$  ; la pente de la droite, b, est la "teneur moyenne ajustée". Les valeurs de b données dans le tableau sont exprimées en kg d'azote prélevé par tonne de matière sèche récoltable élaborée (calcul sur 9 ans pour le Robillard, 8 ans pour Aspach) ; coefficients de corrélation supérieurs à 0,995 ; à Aspach  $N = 320 \text{ kg N/ha/an}$ .

TABLE 2 : Adjusted nitrogen contents of, a) a permanent pasture at "Le Robillard", b) studied Fescue and Cocksfoot stands at "Aspach". The cumulated nitrogen uptake (Ncum) versus the accumulated dry matter herbage production (DMcum) during 9 years ("Le Robillard") or 8 years ("Aspach") follows a linear adjustment :  $Ncum = b \times DMcum$ . The slope, b, is considered as a "N adjusted content". These tables give b values in kg N uptake per ton of dry matter accumulated ; correlation coefficients higher than 0.995 ; at Aspach,  $N = 320 \text{ kg N/ha/an}$ .

deux peuplements étudiés (fétuque et dactyle) sur les 8 ans de suivi, la dynamique de nutrition azotée reste constante, les bilans d'azote (apports – prélèvements) sont légèrement positifs mais le prélèvement moyen d'azote par tonne de matière sèche récoltée est inférieur pour les parcelles recevant du potassium en dose satisfaisante.

### • Comparaison fauche - pâturage

Au Robillard, le pâturage a permis une augmentation de la teneur moyenne en azote de l'herbe récoltée (tableau 2a) malgré un accroissement de la demande en azote de la prairie permanente dû à une augmentation de la production fourragère.

A Aspach, pour tous les traitements, le pâturage a eu un effet positif sur les prélèvements totaux d'azote par le peuplement prairial. Le prélèvement moyen d'azote par tonne de matière sèche élaborée (tableau 2b) dépend de l'effet du pâturage sur la production fourragère totale : sur fétuque, où cet effet est important, la teneur moyenne en azote de l'herbe récoltée diminue (l'azote a été dilué dans la matière sèche supplémentaire élaborée).

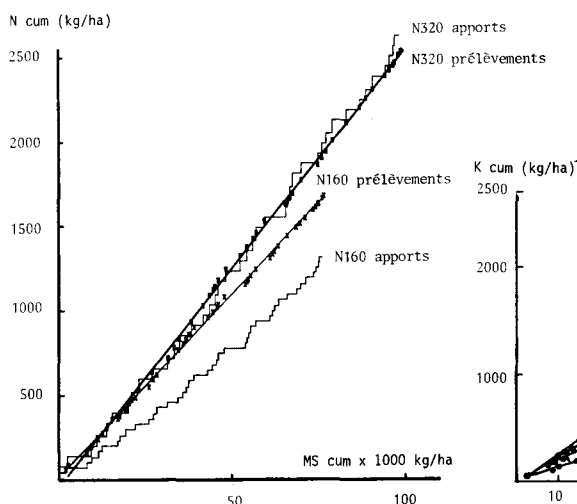


Figure 1

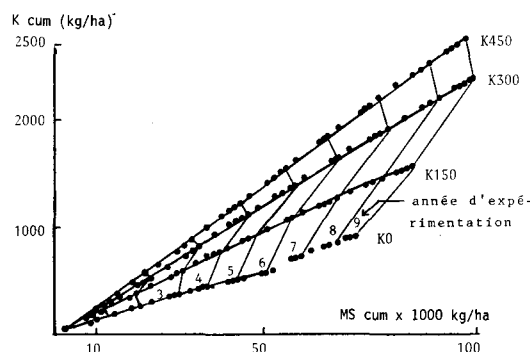


Figure 2

FIGURE 1 : **Dynamique de nutrition azotée d'une prairie permanente (Le Robillard) en régime de fauche sur 9 années.** Les prélèvements cumulés d'azote (Ncum) en fonction du cumul des quantités de matière sèche produites et récoltées à chaque défoliation suivent un ajustement linéaire :

- N160 K300 fauche (cut)  $N_{cum} = 21,9 \times MScum$   $r = 0,999$
  - N320 K300 fauche (cut)  $N_{cum} = 25,4 \times MScum$   $r = 0,999$
- (N160 = 160, N320 = 320 kg N/ha/an, K300 = 300 kg K<sub>2</sub>O/ha/an)

Le suivi des apports cumulés d'azote en fonction du cumul des productions (MScum) permet de mesurer l'évolution de l'équilibre apport-prélèvement sur toute la durée de l'étude

FIGURE 1 : *Permanent pasture nitrogen nutrition dynamics (Le Robillard).* The cumulated nitrogen uptake (Ncum) versus the accumulated herbage dry matter production (DMcum) during 9 years follows a linear adjustment according to the equations quoted above. Nitrogen cumulated fertilizer versus herbage production shows how the nitrogen balance evolves during the duration of the study.

FIGURE 2 : **Dynamique de nutrition potassique d'une prairie permanente (Le Robillard) en régime de fauche sur 9 années.** Les prélèvements cumulés de potassium (Kcum) en fonction du cumul des quantités de matière sèche récoltées à chaque défoliation suivent un ajustement de la forme :  $K_{cum} = \alpha(MScum)^\beta$ . Cas des parcelles exclusivement fauchées, en régime azoté intensif (N320 = 320 kg N/ha/an) avec les 4 niveaux de fertilisation potassique (0, 150, 300 ou 450 kg K<sub>2</sub>O/ha/an) :

- K0  $K_{cum} = 17,97 \times (MScum)^{0,893}$  dégradation
- K150  $K_{cum} = 20,81 \times (MScum)^{0,979}$
- K300  $K_{cum} = 23,52 \times (MScum)^{1,004}$  stabilité
- K450  $K_{cum} = 22,87 \times (MScum)^{1,048}$  amélioration

FIGURE 2 : *Permanent pasture potassium nutrition dynamics (Le Robillard).* The cumulated potassium uptake (Kcum) versus the accumulated herbage dry matter production (DMcum) during 9 years follows an adjustment of the form :  $K_{cum} = \alpha(DMcum)^\beta$  according to the equations quoted above. Examples of cut plots with an intensive management (N320 = 320 kg N/ha/year) and the following potassium applications (0, 150, 300 or 450 kg K<sub>2</sub>O/ha/year).



### 3. Dynamique de prélèvement du potassium

L'ajustement des courbes de prélèvements cumulés de potassium à des équations de la forme  $K_{cum} = \alpha (MScum)^\beta$  permet d'estimer l'évolution de l'état de nutrition potassique du peuplement ( $\beta$  = indice d'évolution).

#### • Effet de la fertilisation sur les parcelles exploitées exclusivement en fauche

Au Robillard : la dynamique de nutrition potassique de la prairie permanente a peu évolué au cours de la durée de l'étude ( $\beta$  proche de 1, tableau 3a). En l'absence de fertilisation potassique, on constate un épuisement progressif associé à de très faibles teneurs du végétal en potassium (1,2 % MS) et un changement dans la dynamique du prélèvement en K au cours des trois dernières années avec une augmentation des prélèvements de potassium par tonne de matière sèche élaborée (figure 2) ; ce changement est probablement lié à une modification de la composition floristique de la parcelle (développement d'espèces moins productives comme la fétuque rouge, tableau 4). On note aussi pour des apports annuels de 150 kg  $K_2O$ /ha une très légère tendance à l'épuisement et une tendance à l'enrichissement pour 450 kg  $K_2O$ /ha. Avec des apports annuels de 300 kg  $K_2O$ /ha, la dynamique de

<b>a</b>					<b>b</b>				
Mode de gestion		K0	Traitement K			Mode de gestion		Traitement K	
			K150	K300	K450			K0	K225
N160	fauche	0,902	0,964	1,013	1,038	<b>Fétuque élevée</b>			
						fauche	0,888	0,964	
						pâturage	0,926	1,022	
N320	fauche	0,893	0,979	1,004	1,048	<b>Dactyle</b>			
N320	pâturage	0,983		1,045		fauche	0,767	0,871	
						pâturage	0,930	0,938	

TABLEAU 3 : **Indice d'évolution** (coefficient  $\beta$ ) de l'état de nutrition potassique a) d'une prairie permanente au Robillard, b) de peuplements de fétuque élevée et de dactyle à Aspach. Les prélèvements cumulés de potassium ( $K_{cum}$ ) en fonction du cumul des quantités de matière sèche récoltées à chaque défoliation ( $MScum$ ) suivent un ajustement de la forme :  $K_{cum} = \alpha(MScum)^\beta$  où  $\beta$  est l'indice d'évolution de l'état de nutrition du peuplement prairial ( $\beta < 1$  traduisant une dégradation et  $\beta > 1$  une amélioration) ; calcul sur 9 ans pour le Robillard, 8 ans pour Aspach ; coefficients de corrélation supérieurs à 0,995 ; à Aspach N = 320 kg N/ha/an.

TABLE 3 : *Evolution index of potassium nutrition status in, a) a permanent pasture at "Le Robillard", b) studied Fescue and Cocksfoot stands at "Aspach". The cumulated potassium uptake ( $K_{cum}$ ) versus the accumulated dry matter herbage production ( $DMcum$ ) during 9 years ("Le Robillard") or 8 years ("Aspach") follows an adjustment of the form :  $K_{cum} = \alpha(DMcum)^\beta$ , where  $\beta$  is an index of the evolution of the soil K status ( $\beta < 1$  : degradation,  $\beta > 1$  : improvement) ; the tables give the  $\beta$  value for each treatment ; correlation coefficients higher than 0.995.*

Espèce	Avril 1979 Fréquence spécifique (%)	Avril 1987 Contribution spécifique (%)			
		Fauche		Pâtûre	
		K0	K300	K0	K300
Fétuque élevée	27	8	45	17	40
Fétuque rouge	0	11	<1	18	1
Pâturin des prés	6	35	14	6	8
Pâturin commun	27	26	4	25	6
Houlique laineuse	15	11	5	15	21

TABLEAU 4 : Evolution de la végétation au Robillard : composition floristique de la prairie permanente au début de l'essai et après 8 ans de fertilisation potassique différenciée, en régime azoté intensif, en fauche et en pâture

TABLE 4 : Floristic evolution : floristic make-up of the permanent pasture at the beginning and after 8 years of potassium supply differentiation, with cut or grazed management and high nitrogen fertilization

nutrition potassique est tout à fait constante (modèle linéaire), résultat en accord avec l'étude des bilans (apports = prélèvements pour le traitement N2K300 fauche, figure 3). Vu le faible degré d'évolution de l'état de nutrition potassique au cours des 8 ans de suivi, pour des fertilisations potassiques comprises entre 150 et 450 kg  $K_2O/ha/an$ , les courbes  $K_{cum} = f(MScum)$  peuvent être ajustées à des droites ; les prélèvements de potassium pour l'élaboration d'une tonne de matière sèche récoltable sont alors respectivement de 19, 24 et 28 kg K pour les traitements K150, K300 et K450 en régime azoté intensif.

A Aspach : l'état de nutrition potassique du peuplement de fétuque ou de dactyle se détériore pour tous les traitements (tableau 3b) et beaucoup plus intensément sur les parcelles ne recevant jamais de potassium. La dégradation est plus forte pour les parcelles de dactyle que pour celles de fétuque (figures 5a et 5b).

#### • Comparaison fauche - pâture

Sur les deux sites étudiés, le pâturage a permis une amélioration ou une moindre dégradation de l'état de nutrition potassique des peuplements (tableaux 3a et 3b, figures 5a et 5b).

Au Robillard (figure 4), en l'absence de fertilisation potassique, la pâture ne permet pas d'augmentation de production mais limite fortement la dégradation de l'état de nutrition potassique de la prairie permanente ; avec des apports de 300 kg  $K_2O/ha/an$ , la pâture entraîne un accroissement de production et une amélioration de l'état de nutrition potassique, confirmée par les analyses de sol (légère augmentation des teneurs en potassium échangeable).

A Aspach, seules les parcelles de fétuque exclusivement pâturées et fertilisées (en K) ont maintenu leur état initial de nutrition potassique ; pour tous les autres traitements, il y a eu, à long terme, une dégradation de la dynamique de nutrition potassique mais cette dégradation est moins importante sur les parcelles pâturées.

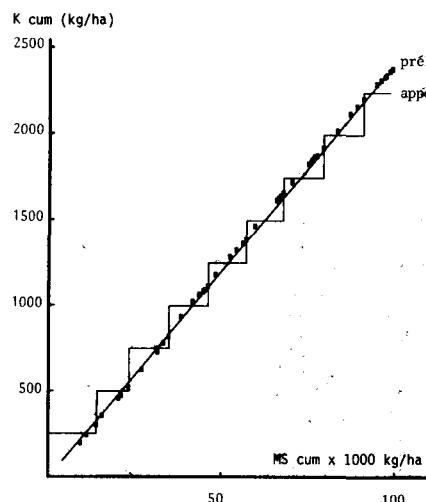


Figure 3

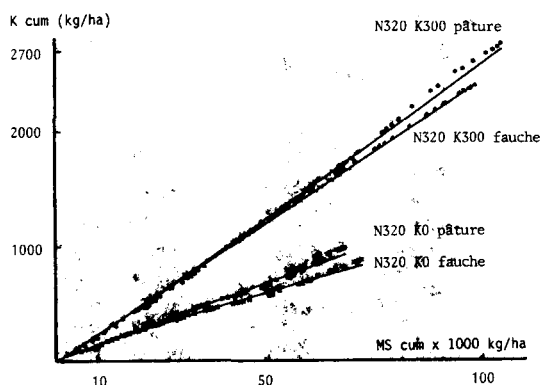


Figure 4

FIGURE 3 : Equilibre apports – prélèvements en K au Robillard en régime de fauche. Suivi sur 9 ans du cumul des prélèvements de potassium d'une prairie permanente et du cumul des apports de potassium (sous forme de chlorure de potassium) en fonction du cumul des quantités de matière sèche récoltée à chaque défoliation. Cas des parcelles exclusivement fauchées, en régime intensif (N320) recevant 300 kg  $K_2O$ /ha/an (K300).

FIGURE 3 : *K supply – K uptake balance at Le Robillard in a cut sward. Cumulated (9 years) potassium uptake and cumulated supplies (KCl) in a permanent pasture according to cumulated harvested dry matter. Case of swards exclusively mown, with intensive N fertilization (N320, K300).*

FIGURE 4 : Dynamique de nutrition potassique d'une prairie permanente (Le Robillard) : effet à long terme (9 ans) et en régime azoté intensif (N320), de la fertilisation potassique et du mode d'exploitation. Les prélèvements cumulés de potassium (Kcum) en fonction du cumul des quantités de matière sèche récoltées à chaque défoliation suivent un ajustement de la forme  $Kcum = \alpha(MScum)^\beta$

– K0 fauche (cut)	$Kcum = 17,97 \times (MScum)^{0,893}$	$r = 0,998$
– K0 pâture (grazed)	$Kcum = 14,30 \times (MScum)^{0,983}$	$r = 0,998$
– K300 fauche (cut)	$Kcum = 23,52 \times (MScum)^{1,004}$	$r = 0,998$
– K300 pâture (grazed)	$Kcum = 20,67 \times (MScum)^{1,045}$	$r = 0,998$

FIGURE 4 : *Management effect on potassium nutrition dynamics of a permanent pasture (Le Robillard). The cumulated potassium uptake (Kcum) versus the accumulated herbage dry matter production (DMcum) during 9 years follows an adjustment of the form :  $Kcum = \alpha(DMcum)^\beta$*

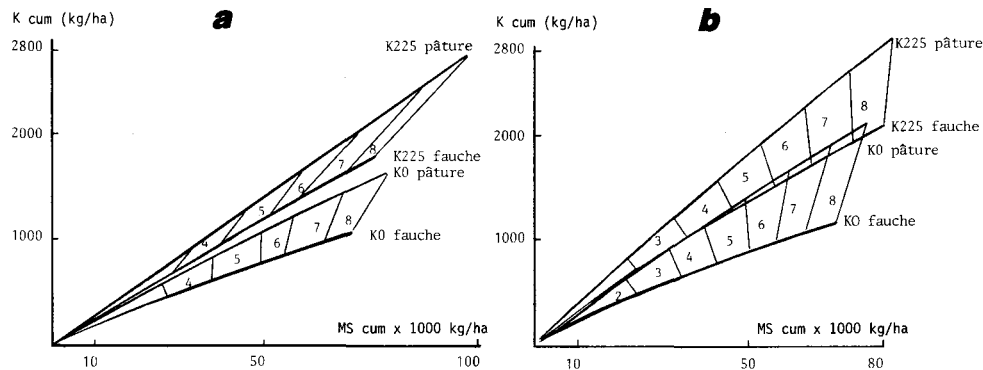


FIGURE 5 : Dynamique de nutrition potassique de peuplements a) de fétuque élevée (*Festuca arundinacea*), b) de dactyle (*Dactylis glomerata*) à Aspach. Les prélèvements cumulés de potassium ( $K_{cum}$ ) en fonction du cumul des quantités de matière sèche récoltées à chaque défoliation suivent un ajustement de la forme :  $K_{cum} = \alpha(MScum)^\beta$  où  $\beta$  est l'indice d'évolution de l'état de nutrition potassique (suivi sur 8 années).

**a) Fétuque élevée :**

- K0 fauche (cut)  $K_{cum} = 24,64 \times (MScum)^{0,888}$   $r = 0,998$
- K0 pâture (grazed)  $K_{cum} = 28,53 \times (MScum)^{0,926}$   $r = 0,998$
- K225 fauche (cut)  $K_{cum} = 27,50 \times (MScum)^{0,964}$   $r = 0,999$
- K225 pâture (grazed)  $K_{cum} = 25,25 \times (MScum)^{1,022}$   $r = 0,999$

**b) Dactyle :**

- K0 fauche (cut)  $K_{cum} = 44,83 \times (MScum)^{0,767}$   $r = 0,988$
- K0 pâturé (grazed)  $K_{cum} = 37,12 \times (MScum)^{0,930}$   $r = 0,999$
- K225 fauche (cut)  $K_{cum} = 45,22 \times (MScum)^{0,871}$   $r = 0,998$
- K225 pâture (grazed)  $K_{cum} = 45,89 \times (MScum)^{0,938}$   $r = 0,999$

FIGURE 5 : Potassium nutrition dynamics of a) Tall Fescue (*Festuca arundinacea*) and b) Cocksfoot (*Dactylis glomerata*) (stands at Aspach). The cumulated potassium uptake ( $K_{cum}$ ) versus the accumulated herbage dry matter production ( $DM_{cum}$ ) during 8 years follows an adjustment of the form :  $K_{cum} = \alpha(DMcum)^\beta$  where  $\beta$  is the evolution index of the potassium nutrition status.

## Intérêts de ces modèles pour le choix d'une politique de fertilisation

### 1. Comportement d'un ensemble "sol-plante" soumis à un mode de gestion donné

Du suivi des dynamiques de nutrition azotée et potassique de peuplements prairiaux sur plusieurs années se dégagent les caractéristiques suivantes :

— *Pour l'azote : pour une fertilisation et un mode d'exploitation donnés, la dynamique de nutrition azotée est, en général, constante.* Entre sites et entre traitements, la comparaison des teneurs moyennes ajustées indique :

- une légère influence de la nature du peuplement prairial, au moins pour les peuplements à base de graminées, résultats en accord avec ceux obtenus à l'échelle d'une repousse (SALETTE et al., 1982) ;

- une hiérarchie des facteurs limitants : (1<sup>er</sup>) azote et (2<sup>e</sup>) potassium ; en régime azoté non intensif, l'effet positif de la fertilisation potassique sur la production fourragère est faible et associé à une diminution du prélèvement moyen d'azote par tonne de matière sèche élaborée ;

- sur les parcelles à fertilisation potassique limitante, une absence de consommation de luxe d'azote, malgré des bilans azotés fortement excédentaires ;

- sur les parcelles pâturées, l'effet azote des restitutions sur la production fourragère est positif à long terme et l'effet sur la teneur en azote de l'herbe est faible sauf si la nutrition potassique est totalement limitante pour la production (K0, le Robillard).

— *Pour le potassium : la dynamique de nutrition potassique est influencée par le type de sol, la nature du peuplement prairial, le niveau de fertilisation et le mode d'exploitation de la parcelle.*

- *Le sol* : sur les parcelles en épuisement (K0), la dynamique de nutrition potassique diffère totalement entre les deux sites : au Robillard, l'absence de fertilisation potassique se traduit par des teneurs de l'herbe en potassium très faibles dès la première année ; à long terme, la dégradation de la dynamique de nutrition potassique est faible, seule la production fourragère est affectée ; à Aspach, les teneurs et les prélèvements en potassium, satisfaisants la première année, diminuent ensuite progressivement, cette diminution n'affecte la production que pour le dactyle.

- *La nature du peuplement prairial* : en l'absence de fertilisation potassique, la dégradation de l'état de nutrition potassique semble plus intense pour le dactyle que pour la fétuque, à Aspach. Ceci peut être lié à la combinaison de deux facteurs : la fétuque, ayant un système racinaire plus profond, prospecte un volume de sol plus important et le dactyle ayant une implantation plus rapide prélève plus de potassium que la fétuque, épuisant alors plus rapidement le sol.

- *La fertilisation minérale* : au Robillard, un accroissement de la fertilisation azotée a un effet positif sur la production fourragère mais influence peu la dynamique de nutrition potassique de la prairie permanente. Le suivi d'essais de longue durée sur d'autres sites met en évidence des comportements différents, en particulier une accélération de la dégradation de l'état de nutrition potassique par la fertilisation

azotée apportée seule (travaux en cours). Sur les deux sites étudiés, en début d'essai, une augmentation de la fertilisation potassique entraîne uniquement une élévation des teneurs en potassium du fourrage, l'effet sur la production n'apparaît qu'après une ou deux années de fertilisation différenciée (figures 2, 5a, 5b). Au delà d'un certain seuil, les apports supplémentaires de potassium se traduisent uniquement par une augmentation des teneurs dans la plante sans effet sur la production (exemple : K450 au Robillard, figure 2) ; on peut alors parler de consommation de luxe en potassium.

## **2. Effets du mode d'exploitation sur le comportement d'un peuplement prairial**

L'effet positif, à long terme, du pâturage sur la production fourragère dépend du mode d'exploitation réel de la parcelle.

Au Robillard, les parcelles du traitement "pâturage" sont fauchées fin juin (coupe à foin), cette défoliation représente plus du tiers de la production annuelle. Le reste de l'année, les parcelles sont pâturées par des vaches laitières ; une part importante des déjections est donc perdue sur les "parcours de traite" et ne peut être considérée comme restitutions. Ce mode d'exploitation explique l'absence d'effet (K0) ou le faible effet (K300) du pâturage sur la production fourragère (figure 4).

Par contre, à Aspach, les parcelles sont exclusivement pâturées par des bovins à viande restant durant toute la saison de pâturage sur le site d'essai. Le pâturage améliore nettement la dynamique de nutrition potassique de la fétuque et du dactyle ; il augmente aussi nettement la production fourragère totale de la fétuque (figures 5a et 5b).

Bien que, dans les restitutions, l'on ne puisse distinguer aisément les effets dus à la fertilisation potassique des effets dus à d'autres éléments fertilisants, en particulier à l'azote, l'examen des dynamiques de nutrition potassique sur une longue période montre que l'exploitation intensive d'une parcelle de fétuque uniquement par pâture équivaut en termes d'unités fertilisantes à des apports annuels par recyclage de 225 à 250 kg K<sub>2</sub>O/ha dans les conditions pédo-climatiques d'Aspach, avec des apports de 320 kg N/ha/an.

Sur les parcelles toujours pâturées, la fertilisation potassique optimale, en régime intensif, peut-être estimée à 225 kg K<sub>2</sub>O/ha (dose correspondant à une dynamique de nutrition potassique constante), alors que de précédentes études en régime de fauche (CHEVALIER, 1975) concluaient, pour un même niveau d'intensification, à des apports optimums de 450 kg K<sub>2</sub>O/ha (fauche au rythme de la pâture). La quasi-totalité du potassium ingéré se retrouvant dans les déjections, la fétuque semble

donc capable de récupérer et de recycler, à long terme à Aspach, environ 50% des déjections, résultat en accord avec ceux de LOMBAERT (1983).

### 3. Interaction mode d'exploitation - nature du peuplement végétal (comparaison dactyle - fétuque)

L'effet du pâturage sur la teneur en potassium du dactyle est fort (K0 pâture > K225 fauche) ; par contre, l'effet sur la production globale est limité ou, plus exactement, l'effet dépressif constaté les premières années n'est compensé qu'au bout de 6 ans sur les parcelles non fertilisées en K (K0) et de 8 ans sur les parcelles fertilisées en K (K225) (figure 5b). Sur fétuque le fort effet positif du pâturage sur la production fourragère réduit (par dilution) l'effet sur les teneurs en potassium.

On peut émettre l'hypothèse que ces différences de comportement entre la fétuque et le dactyle sont en partie liées à des différences de système racinaire : la fétuque, prospectant des zones de sol plus profondes, valorise un volume plus important du "bulbe" de fertilisants restitué par un bousat ou un pissat.

## Conclusions

Le suivi, à long terme, de la dynamique de nutrition azotée et potassique de peuplements prairiaux (prélèvements cumulés en fonction du cumul des productions fourragères) apparaît comme une méthode satisfaisante et cohérente pour mesurer avec précision, pour une prairie, les effets d'un mode de gestion préalablement déterminé.

Pour la nutrition azotée, chaque ensemble "sol - peuplement prairial - mode de gestion" a eu un *comportement constant* pendant la durée de l'étude : une consommation moyenne en azote peut alors être calculée (en kg de N prélevé par tonne de matière sèche récoltée) et utilisée pour définir un besoin en fertilisation ajusté aux objectifs de production (vérification de la validité des choix qui ont été faits).

La nature du peuplement prairial, la politique de fertilisation et le mode de gestion de la parcelle ont une influence sur la dynamique de nutrition potassique du peuplement. L'ajustement des courbes de prélèvements cumulés à des équations de la forme :  $K_{cum} = \alpha(MScum)^\beta$  permet d'estimer, par la valeur du coefficient  $\beta$ , le degré d'évolution de l'état de nutrition potassique de la parcelle :  $\beta > 1$  traduisant une amélioration et  $\beta < 1$  une dégradation, à long terme, de l'état de nutrition potassique du peuplement prairial.

A un même niveau de fertilisation et à long terme, le pâturage a un effet positif sur la production fourragère : l'intensité de cet effet dépend du mode d'exploita-

tion réel de la parcelle (temps de séjour réel des animaux, repousses toujours pâturées ou quelquefois fauchées, etc.).

Sur les sols limoneux d'Aspach, sur des parcelles de féтуque élevée et de dactyle, exclusivement fauchées ou exclusivement pâturées par des bovins à viande, le suivi de dynamiques de nutrition potassique met en évidence la capacité du peuplement prairial à valoriser, à long terme, environ 50% du potassium des déjections. Ce résultat est très proche de ceux obtenus à l'échelle de la zone d'impact d'un pissat (GARAUDEAUX et al., 1975 ; LOMBAERT, 1983) et il les confirme pour le cas des grandes parcelles, dans des conditions d'exploitation proches de la pratique des éleveurs.

Accepté pour publication, le 20 août 1990.

## Remerciements

Les auteurs remercient F.X. de MONTARD pour la lecture critique de cet article.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARNAUD R., F.X. de MONTARD, N. NIQUEUX (1983) : "Essais de fertilisation minérale sur pâturage et sur prairies de fauche en montagne volcanique du Massif-Central humide. II - Essai de fertilisation minérale sur prairie permanente de fauche", *Fourrages*, 96, 35-60.
- CHEVALIER H. (1975) : "Fertilisation NPK de la prairie temporaire exploitée au rythme de la pâture", *Fourrages*, 62, 133-159.
- CHEVALIER H., QUEMENER J. (1977) : "Relations entre la teneur en K d'un dactyle exploité en simulation de pâture et les disponibilités en K du sol. Influence de la fumure azotée", *Int. meet. of anim. prod. from temperate grassl.*
- GARAUDEAUX J., CHEVALIER H., PFITZENMEYER C. (1975) : "Contribution à l'étude des pertes de potassium au pâturage", *C.R. Acad. Agr. France*, 10, 571-580.
- JOURDAN O. (1986) : "Devenir du potassium restitué par les urines au pâturage. I- La part récupérée par l'herbe", *Les Dossiers Agronomiques d'Aspach*, n°1, 5-28.
- LOMBAERT V. (1983) : *Etude du devenir du potassium restitué par les urines de bovins au pâturage*, thèse Université libre de Bruxelles.
- RAMON J. (1983) : *Rapport annuel des essais de fertilisation. 1. Nord-Ouest*, Ed. S.C.P.A., 24 p.
- SALETTE J. (1982) : "The role of fertilizers in improving herbage quality and optimization of its utilization", *Proc. of 12th Int. Potash Inst. Cong. Goslar*, 305p., Ed. I.I.P., Berne, 117-144.
- SALETTE J. (1990) : "Approche de la dynamique du Magnésium dans les peuplements prairiaux", *Le Magnésium en Agriculture*, chap.IV, Ed. INRA-COMIFER (sous presse).



- SALETTE J., LEMAIRE G. (1981) : "Sur la variation de la teneur en azote des graminées fourragères pendant leur croissance : formulation d'une loi de dilution", *C.R. Acad. Sc. Paris*, 292, 875-878.
- SALETTE J., LEMAIRE G., ROBICHET J. (1982) : "Nitrogen and mineral uptake during regrowth of pure grass swards", *Proc. 9th gen. meet. European Grassl. Fed.*, Reading, sept. 1982, Ed. Brit. Grassl. Soc., 352 p., 165-170.
- SALETTE J., HUCHE L. (1989) : "Modelling nutrient uptake by a grass sward : long term studies over several years", *Proc. XVIth Int. Grassl. Congr.*, Nice, 63-64.

### **RÉSUMÉ**

Sur plusieurs années, les quantités cumulées d'un élément minéral prélevé par un peuplement prairial sont exprimées en fonction des quantités cumulées de matière sèche récoltée à chacune des défoliations nécessaires réalisées. Les modèles correspondants permettent de mesurer l'effet à long terme d'un mode de gestion sur la nutrition minérale d'un peuplement prairial et de donner des bases concrètes pour une politique de fertilisation des prairies pâturées. Sur 2 sites d'essais de longue durée, les dynamiques de nutrition azotée et potassique de parcelles de fétuque élevée, dactyle ou prairie permanente ont été suivies pendant 8 ou 9 ans pour plusieurs niveaux de fertilisations azotée et potassique et 2 modes d'exploitation (fauche - pâture).

Pour la nutrition azotée, chaque unité "sol - peuplement prairial - gestion" a eu un comportement constant sur toute la durée de l'étude (relation linéaire). Sur des parcelles exclusivement pâturées par des bovins à viande, le peuplement prairial a valorisé à long terme environ 50% du potassium des déjections ; ce taux de valorisation était beaucoup plus faible sur les parcelles pâturées par des vaches laitières (perte sur les parcours de traite).

### **SUMMARY**

***Nitrogen and Potassium nutrition of grasslands stands. Evolution and long-term equilibrium. Influence of management.***

Cumulated mineral uptake versus accumulated herbage dry matter production during several years allows assessment of the long-term effect of a given management on the sward mineral status and a better estimation of the fertilizer needs according to the sward management. On 2 experimental sites, nitrogen and potassium dynamics for Tall Fescue, Cocksfoot or permanent pasture were followed during 8 or 9 years for several nitrogen and potassium application rates and for cut or grazed swards.

Each "sward - soil - management" system had a constant behaviour in terms of nitrogen uptake during the whole study. With an exclusive grazing management with beef cattle, the swards valorized 50% of the potassium excreta, this rate is lower for swards grazed by dairy cows (because of losses outside the pasture).