

**Effet de la fertilisation minérale azotée des prairies  
sur la valeur alimentaire de l'herbe  
et les performances des vaches laitières au pâturage**

**L. Delaby\***

**La volonté est aujourd'hui unanime de mieux gérer les intrants azotés, notamment sur prairies pâturées. Cette synthèse analyse les conséquences zootechniques de la fertilisation azotée des prairies à partir des travaux réalisés dans l'ouest de la France.**

*RESUME*

Malgré des modifications importantes de la composition chimique de l'herbe (MS, MAT, sucres solubles), la fertilisation azotée modifie peu la valeur énergétique du fourrage. Au pâturage, les travaux réalisés dans l'Ouest montrent que la réduction de la fertilisation azotée des prairies ne modifie pas les performances individuelles (sauf situations pédoclimatiques particulières) à condition de réduire simultanément le chargement (ce qui réduit les performances laitières par hectare) afin de maintenir les quantités d'herbe offertes et préhensibles. La réduction du chargement imposée par la réduction de la fertilisation se traduit toujours par des flux d'azote plus faibles entre chaque pool du système sol-plante-animal des prairies pâturées.

\* avec la collaboration avec F. Chenais (Institut de l'Elevage), B. Houssin (Chambre d'Agriculture de la Manche), T. Jeulin (Chambre d'Agriculture de la Sarthe) et G. Losq (EDE des Côtes-d'Armor).

*MOTS CLES*

Azote, fertilisation minérale, pâturage, prairie, production laitière, valeur alimentaire.

*KEY-WORDS*

Dairying, feeding value, grazing, mineral fertilization, nitrogen, pasture.

*AUTEUR*

INRA, Unité Mixte de Recherches sur la Production du Lait, F-35590 Saint-Gilles ; delaby@st-gilles.rennes.inra.fr

Si la fertilisation azotée des prairies à base de graminées a pour effet principal d'accroître la quantité d'herbe produite à une date donnée ou de réduire le temps nécessaire à l'obtention d'une biomasse donnée (Lemaire *et al.*, 1982 ; Hnatyszyn et Guais, 1988), elle modifie également la composition chimique de cette herbe. En conséquence, la fertilisation azotée constitue l'un des facteurs qui agit sur la valeur alimentaire de l'herbe, à savoir sa valeur nutritive (digestibilité, UFL, PDI, minéraux) et son ingestibilité par les ruminants (Demarquilly, 1970 et 1977). Ces modifications résultent soit d'un effet direct de la fertilisation azotée appliquée, soit d'un effet indirect associé à la durée de la période de croissance nécessaire pour atteindre une quantité d'herbe suffisante à la réalisation d'une récolte ou d'un pâturage. Au pâturage, l'utilisation accrue de fertilisants azotés associée à un chargement élevé a permis d'augmenter les performances par hectare tout en maintenant des performances individuelles élevées (Journet et Demarquilly, 1979 ; Béranger et Micol, 1981 ; Hoden *et al.*, 1991). Ces résultats ont été possibles grâce à l'effet "gain de temps" de la fertilisation azotée, à savoir l'utilisation d'une herbe jeune donc très digestible, riche en azote, facilement préhensible et abondante.

Après les années de la "révolution fourragère", le souci désormais prévalent de réduire les intrants et de préserver l'environnement nécessite de réviser les recommandations en matière de fertilisation azotée des prairies. Mais aucun éleveur n'envisage de produire de l'herbe sans se soucier de sa valorisation par l'animal. Il importe donc de quantifier les conséquences des nouveaux itinéraires de fertilisation sur les performances animales tant individuelles que par hectare de prairie. L'objectif de cette synthèse est d'une part de décrire les modifications de la composition chimique et de la valeur alimentaire de l'herbe verte associées à la fertilisation azotée et, d'autre part, d'analyser les réponses des vaches laitières au pâturage tant en terme de performances que de restitutions d'azote dans les déjections.

Sans prétendre à l'exhaustivité, le souci des auteurs a été de privilégier et de valoriser les travaux récents (après 1990) réalisés dans l'ouest de la France par l'INRA, les Instituts et les Chambres d'Agriculture dans leurs différentes fermes expérimentales ou leurs réseaux de références. Mais, sur certains aspects particuliers, il est nécessaire d'enrichir l'information à partir des synthèses bibliographiques récentes.

D'autre part, ce texte ne traite que de la fertilisation minérale azotée des prairies. L'abondance des déjections animales dans l'ouest de la France et le souhait d'une meilleure valorisation agronomique des lisiers et fumiers encourage les épandages sur prairies pâturées. Cette forme de fertilisation azotée ne modifie pas les effets de l'azote décrits ci-après. En effet, à même niveau d'apport d'azote sous forme ammoniacale, l'utilisation du lisier de porc ou de bovin aura les mêmes conséquences sur la composition chimique de l'herbe, les performances individuelles et par hectare (Brocard *et al.*, 1995). Les travaux de l'Association Française pour la Production Fourragère (AFPF) publiés en 1994 dans la revue *Fourrages* (n° 139) ont permis de faire le point sur ces pratiques de fertilisation. Les risques et les problèmes de cette forme de fertilisation sont d'abord d'ordre sanitaire (salmonelles) et sont, d'autre part, associés à une moindre appétence de l'herbe qui pourrait pénaliser l'ingestion. Mais les résultats obtenus dans l'Ouest restent limités, notamment sur le long terme et en ce qui concerne le lisier, le fumier de bovins ou le compost.

## 1. Principales conditions expérimentales

Durant les années 90, des expérimentations comportant différents niveaux de fertilisation azotée annuelle des prairies destinées au pâturage des vaches laitières ont été mises en place sur quatre sites : Domaine de Méjusseume au Rheu en Ille-et-Vilaine, Ferme de La Jaillièrre à La Chapelle-Saint-Sauveur en Loire-Atlantique, Ferme de La Blanche-Maison à Pont-Hébert dans la Manche, et Domaine de Borculo au Pin-au-Haras dans l'Orne). Ces expérimentations, conduites chacune avec leur protocole spécifique, ont eu pour objectifs communs de définir les surfaces nécessaires à chaque niveau de fertilisation et de quantifier l'effet de la réduction de la fertilisation azotée sur les performances de production du troupeau laitier. Dans tous les cas, les prairies ont été valorisées à même âge de repousse et les chargements (ou les quantités d'herbe offertes) ont été adaptés afin de compenser la diminution de productivité des prairies moins fertilisées. Ces travaux ont déjà fait l'objet de publications distinctes détaillant les principes des expérimentations et les principaux résultats (Delaby *et al.*, 1996a ; Hardy *et al.*, 1996 ; Houssin *et al.*, 1995 ; Delaby et Peyraud, 1998).

Dans le cadre des recherches sur le lessivage de l'azote sous prairies pâturées, deux stations expérimentales (Kerlavec en Finistère et La Jaillièrre en Loire-Atlantique) ont comparé différents niveaux et répartitions (printemps - automne) d'apports d'azote minéral en mini-parcelles (250 m<sup>2</sup>) de ray-grass anglais (RGA) ou ray-grass anglais - trèfle blanc (RGA-TB). Lors de ces essais, des animaux en croissance sont utilisés comme consommateurs d'herbe et interviennent dans le cycle de l'azote, mais leurs performances ne sont pas

associées aux traitements de fertilisation. La teneur en MAT de l'herbe offerte a été systématiquement mesurée afin de quantifier l'azote exporté par la plante.

Enfin, sur deux sites (Ossé en Ille-et-Vilaine, Pont-Hébert dans la Manche), différents niveaux de fertilisation azotée et stratégies d'apport ont été testés en micro-parcelles sur prairies de ray-grass anglais pur afin de quantifier la production, la répartition saisonnière ainsi que la composition chimique de l'herbe.

## 2. Effet de la fertilisation azotée sur la composition chimique et la valeur nutritive de l'herbe verte

Classiquement, l'utilisation de quantités croissantes d'azote minéral sur prairies de graminées pures entraîne :

- une diminution de la teneur en matière sèche (MS),

**Tableau 1 : Effet de la fertilisation azotée sur la composition chimique et la valeur nutritive de l'herbe (synthèse de travaux réalisés dans l'ouest de la France).**

*Table 1 : Effect of N fertilization on the chemical composition and the feeding value of herbage (synthesis of studies carried out in Western France).*

Présentation des expérimentations	Départ.	Années	Période	Prairie	Nb cycles	Utilisation		
Kerlavic	29	1991-1996	avril-novembre	RGA	6-8	pâturage		
Ossé	35	1995-1997	mars-juillet	RGA	3-4	pâturage		
La Jaillière	44	1993-1997	mars-octobre	RGA	3-6	pâturage		
La Blanche-Maison	50	1991-1993	avril-novembre	RGA	6-7	fauche		
La Blanche-Maison	50	1993-1995	mars-juin	RGA et PP	3	pâturage*		
Le Pin-au-Haras	61	1990-1994	avril-octobre	PP	3-5	pâturage		
Lieu, fertilisation (kg N/ha/an)	MS (%)	MAT (g/kg MS)	CB (g/kg MS)**	dMO (%)**	UFL	PDIN (g)	PDIE (g)	
<b>Kerlavic</b>	<b>0</b>	178		87,4				
	<b>150-200</b>	207		88,2				
	<b>250-300</b>	225		88,5				
	<b>350-400</b>	238		89,0				
<b>Ossé</b>	<b>0</b>	24,8	122	192	72,7			
	<b>85-110</b>	22,2	166	199	71,1			
	<b>135-160</b>	21,6	170	193	73,0			
	<b>180-220</b>	21,0	189	196	72,4			
<b>La Jaillière</b>	<b>0</b>		164		86,9			
	<b>100</b>		166		86,2			
	<b>200</b>		191		86,5			
	<b>300</b>		215		87,6			
	<b>400</b>		231		87,4			
<b>La Blanche-Maison (fauche)</b>	<b>0</b>		161					
	<b>140</b>		163					
	<b>280</b>		196					
<b>La Blanche-Maison (pâturage)</b>	<b>0</b>		167		78,6	0,98	104	98
	<b>160</b>		206		79,5	1,00	129	108
<b>Le Pin-au-Haras</b>	<b>0</b>	24,2	158	223	69,4	0,83	99	86
	<b>100</b>	22,9	177	228	70,3	0,85	111	91
	<b>320</b>	20,0	225	222	73,4	0,90	141	104

\* Présence d'un traitement sans fertilisation azotée seulement au printemps

\*\* CB seulement 2 années à Ossé ; dMO seulement 1 année à Ossé et 2 années à La Jaillière. Les méthodes d'estimation de la dMO diffèrent entre stations.

- une augmentation de la teneur en matières azotées totales (MAT),
- peu de variation de la teneur en cellulose brute (CB) et plus largement en parois (NDF),
- une modeste amélioration de la digestibilité de la matière organique (MO) de l'herbe produite.

Les résultats obtenus en Bretagne, Pays-de-la-Loire ou Normandie confirment ces grandes tendances rapportées dans la bibliographie (tableau 1). L'effet le mieux décrit et le plus systématique concerne la teneur en MAT de l'herbe. Mais les données moyennes annuelles et l'amplitude des variations sous l'influence de la fertilisation diffèrent selon le site expérimental et son pédoclimat, les quantités d'azote apportées et leur répartition au cours des cycles de pâturage.

En l'absence de fertilisation azotée, la teneur en MAT de l'herbe dépend d'abord et surtout de la fourniture d'azote par le sol et plus localement des restitutions d'azote par les déjections des animaux. A Ossé comme au Rheu (Delaby *et al.*, 1996a), sur sols argilo-limoneux pauvres en matière organique (2 à 3%), le bassin de Rennes se caractérise par des valeurs faibles en MAT (environ 120 g/kg MS). A l'opposé, à Kerlavic, sur sols très riches en matière organique (7 à 9%) sans aucune fertilisation, la teneur en MAT atteint en moyenne 178 g/kg MS. Les autres sites de l'Ouest, en Normandie et Pays-de-la-Loire, ont des teneurs moyennes annuelles voisines de 160-165 g MAT/kg MS. Pour un site donné, ces valeurs varient entre années d'environ 15% autour de la moyenne.

Sur l'ensemble des sites, dans la gamme de fertilisation croissante étudiée, la teneur en MAT moyenne de l'herbe évolue selon une relation linéaire et positive. Cet accroissement calculé pour 100 kg d'azote annuel apporté est le plus élevé à Ossé (+ 32 g/kg MS), puis à La Blanche-Maison (+ 24) et au Pin-au-Haras (+ 21), et enfin à La Jaillière (+ 18) et à Kerlavic (+ 16). Les valeurs annuelles plus élevées observées sur les 2 premiers sites ne sont pas dues à la période d'obtention des données (printemps) puisque la hiérarchie n'est pas modifiée en considérant uniquement les données obtenues au printemps sur l'ensemble des sites.

Ces évolutions moyennes annuelles masquent de très grandes variations mensuelles (figure 1) associées tant à la saison concernée qu'aux différences importantes de répartition de la fertilisation azotée entre sites et entre mois. Globalement, les cinétiques d'évolution annuelle de la teneur en MAT se caractérisent toutes par une diminution (mais d'amplitude variable) au cours du printemps, un minimum durant les mois d'été puis une augmentation systématique en automne malgré l'arrêt de la fertilisation azotée sur la plupart des sites expérimentaux. Compte tenu des données disponibles et des protocoles de fertilisation trop différents entre sites, il n'est malheureusement pas possible de quantifier la loi générale d'évolution de la teneur en MAT de l'herbe selon le mois et le niveau de fertilisation apporté par cycle.

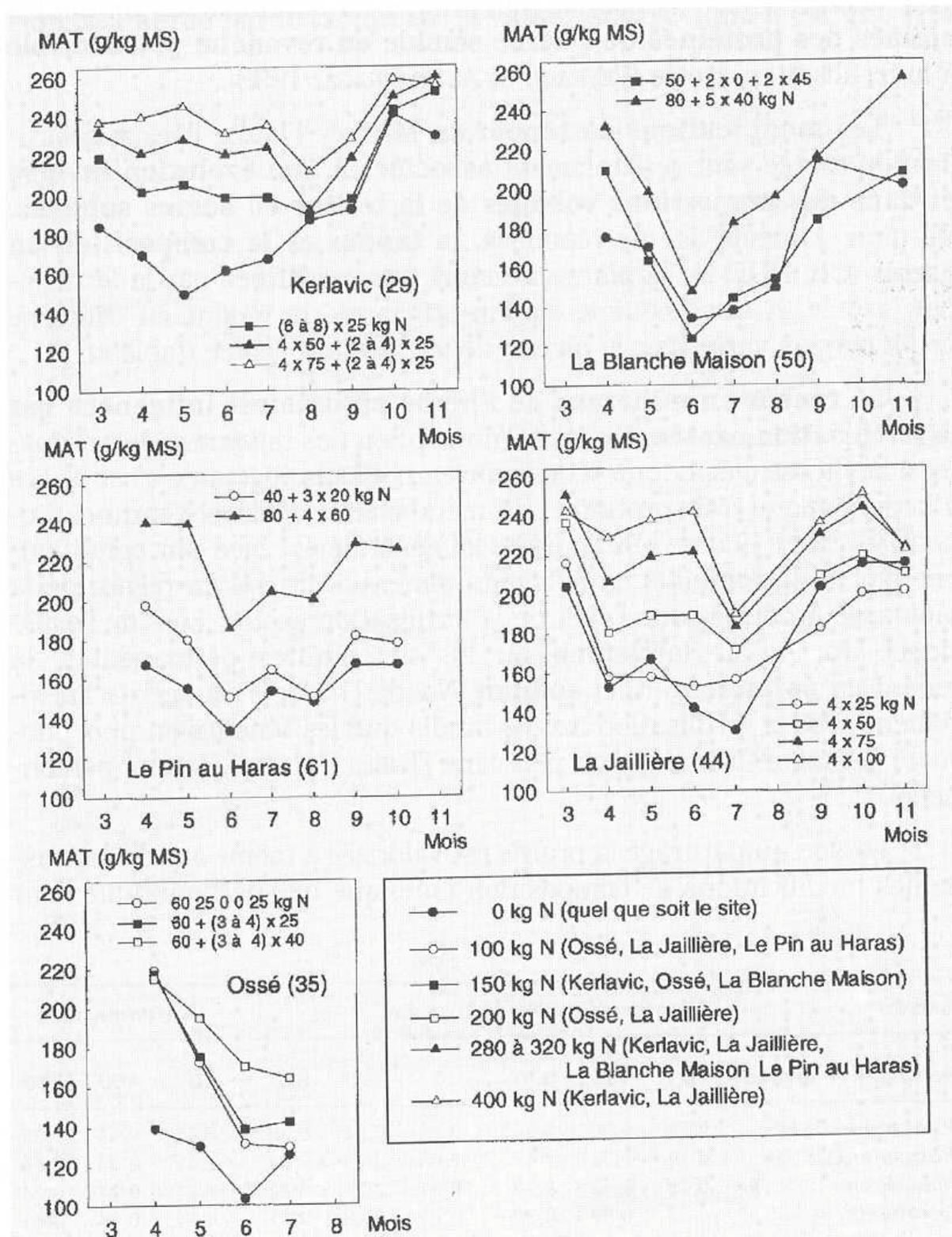
L'augmentation de la teneur en MAT de l'herbe sous l'effet de la fertilisation azotée s'accompagne d'une diminution de la part d'azote protéique au profit de l'azote non protéique qui s'accumule dans la plante sous forme de nitrate (N-NO<sub>3</sub>). De même, la dégradabilité théorique (DT) de l'azote dans le rumen est un peu plus importante avec les graminées fertilisées (+ 0,05 en moyenne) et s'accroît avec la dose d'azote appliquée à la prairie. La composition en acides aminés des protéines de l'herbe semble en revanche peu sensible à la fertilisation azotée (Peyraud et Astigarraga, 1998).

Les modifications de teneur en MAT de l'herbe liées à la fertilisation azotée sont généralement associées à une évolution inverse et dans des proportions voisines de la teneur en sucres solubles. De plus, à même âge de repousse, la teneur et la composition en parois (CB, NDF) de la plante ne sont pas modifiées par la fertilisation azotée. A Ossé comme au Pin-au-Haras, la teneur en cellulose brute n'a pas varié avec le niveau de fertilisation azotée (tableau 1).

La teneur en minéraux de l'herbe pâturée est influencée par la fertilisation azotée. En effet, l'absorption des minéraux doit s'ajuster à la vitesse d'élaboration des nouveaux tissus végétaux, c'est-à-dire à la dynamique d'absorption et du métabolisme de l'azote et du carbone (Salette et Huché, 1991). Cette loi générale est bien sûr conditionnée par la disponibilité en éléments minéraux du sol en regard de la biomasse produite sous l'effet de la fertilisation azotée. Lors de l'expérience du Pin-au-Haras (tableau 2), sur prairies permanentes, la teneur en potassium (K) et sodium (Na) de l'herbe s'est accrue linéairement avec la fertilisation azotée tandis que les teneurs en phosphore (P) et magnésium (Mg) ont peu varié (Thélier-Huché, comm. personnelle).

**Figure 1 : Evolution de la teneur en MAT de l'herbe selon le niveau de fertilisation annuelle des prairies de graminées pures.**

*Figure 1 : Monthly changes in the crude protein content of grass according to the level of yearly fertilization of pure grass swards.*



**Tableau 2 : Effet de la fertilisation azotée (kg N/ha) sur la teneur en quelques minéraux de l'herbe (Théliér-Huché, comm. personnelle d'après l'expérience du Pin-au-Haras sur prairies permanentes).**

*Table 2 : Effect of N fertilization (kg N/ha) on some mineral contents of grass (Théliér-Huché, personal communication, from experiments on permanent pastures in Le Pin-au-Haras).*

Saison	Printemps [n=38]			Été [n=18]			Automne [n=8]		
	0	100	320	0	100	320	0	100	320
<b>Fertilisation azotée</b>									
<b>Phosphore</b> (% MS)	0,36	0,36	0,36	0,35	0,32	0,28	0,42	0,41	0,39
<b>Potassium</b> (% MS)	2,28	2,39	2,47	2,03	2,09	2,27	2,47	2,54	2,66
<b>Magnésium</b> (% MS)	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,24	0,24	0,24
<b>Sodium</b> (% MS)	0,23	0,29	0,38	0,22	0,28	0,41	0,22	0,24	0,41

Lorsqu'au pâturage la prairie est valorisée à même âge de repousse, les modifications de composition chimique de l'herbe induites par la fertilisation azotée ont des conséquences mineures sur la digestibilité de la matière organique (dMO). En effet, les sucres solubles et les matières azotées dont les proportions varient en opposition présentent des digestibilités très élevées et voisines (Demarquilly, 1977). Selon la revue bibliographique de Peyraud et Astigarraga (1998), la dMO mesurée sur animaux s'accroît de seulement 2 points pour les hauts niveaux de fertilisation. Finalement, la digestibilité de la matière organique varie beaucoup plus en fonction de la saison, du mois ou du numéro de cycle qu'avec le niveau de fertilisation azotée comme l'indiquent les résultats obtenus dans l'Ouest et rapportés à la figure 2. En moyenne annuelle, pour un site donné, les écarts de dMO ont varié de 1,5 points à La Jaillière à 4,0 points au Pin-au-Haras, toujours en faveur du niveau de fertilisation élevé (tableau 1).

Les effets de la fertilisation azotée sur les valeurs UFL et PDI de l'herbe peuvent être quantifiés à partir des équations de prévision de la valeur nutritive des aliments (INRA, 1987) et des résultats ci-dessus. Si la diminution de la fertilisation ne retarde pas la date d'utilisation de l'herbe par le troupeau, la valeur énergétique n'est que très peu affectée (tableau 3). La valeur PDIE diminue d'environ 18 g/kg MS lorsque la teneur en MAT de l'herbe varie de 240 à 120 g/kg MS. Cette diminution est due aux variations de la valeur PDIA de l'herbe. En revanche, la valeur PDIN, qui dépend surtout de la teneur en MAT, diminue de moitié (150 à 75 g) entre 240 et 120 g MAT/kg MS. Le point d'équilibre entre PDIE et PDIN s'établit autour de 140-150 g MAT/kg MS. Avec les faibles valeurs de MAT, obtenues lors d'une réduction sévère de la fertilisation azotée au cours des périodes climatiques défavorables à la minéralisation de l'azote du sol, la

**Tableau 3 : Effet de la teneur en MAT sous l'influence de la fertilisation azotée sur la valeur UFL et PDI de l'herbe (ray-grass anglais au stade feuillu).**

*Table 3 : Effect of crude protein content, as influenced by N fertilization on the energy value for milk (UFL) and the PDI (protein digestible in the small intestine) value of Perennial ryegrass at the leafy stage.*

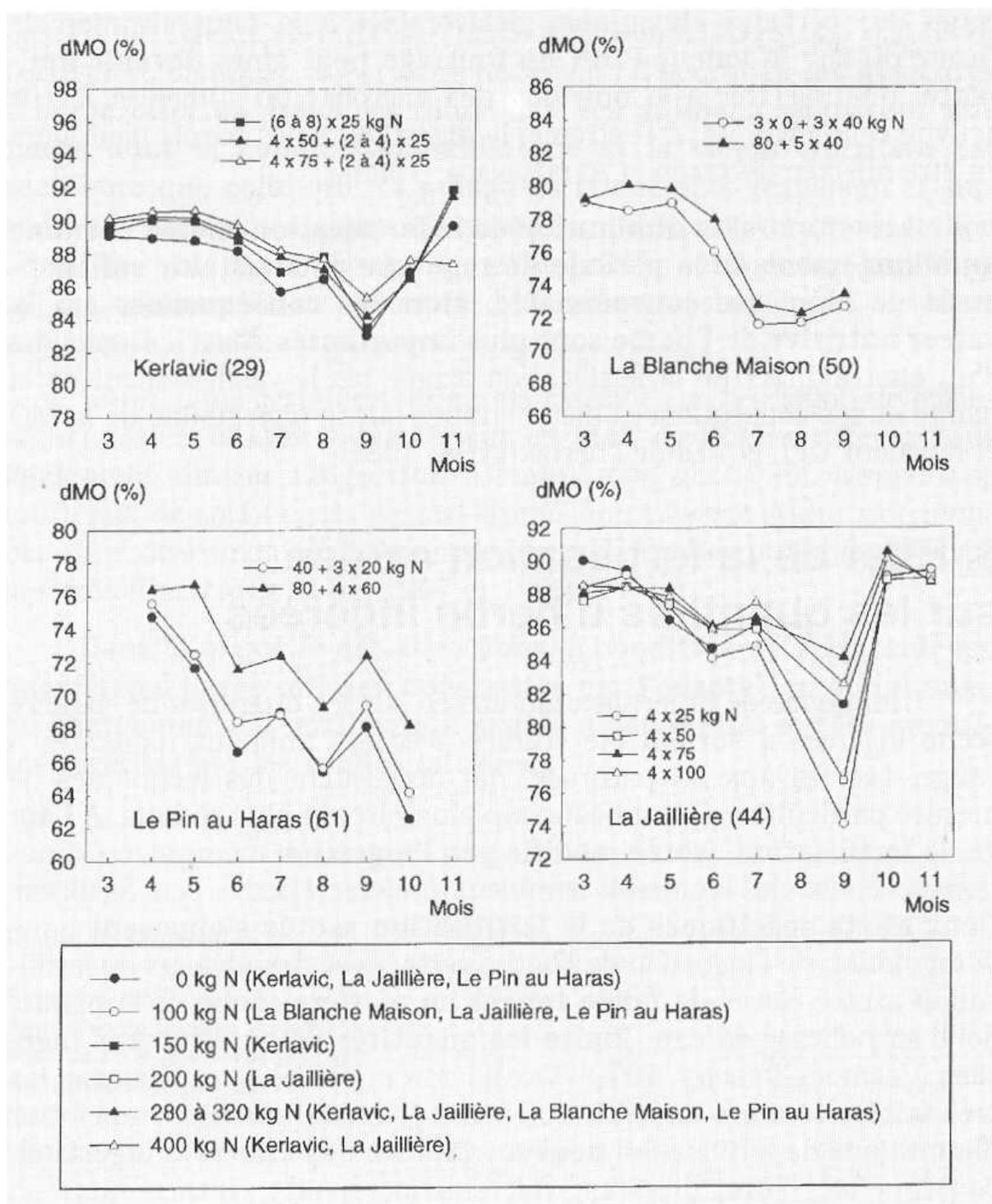
MAT (g/kg MS)	dMO (%)	DT (%)	UFL (/kg MS)	PDIA (g/kg MS)	PDIE (g/kg MS)	PDIN (g/kg MS)
<b>120</b>	78,0	71	0,96	29	88	76
<b>140</b>	78,5	72	0,97	33	92	88
<b>160</b>	79,0	73	0,98	36	95	100
<b>180</b>	79,5	74	0,99	39	98	113
<b>200</b>	80,0	75	1,00	42	101	125
<b>220</b>	80,5	76	1,01	44	104	137
<b>240</b>	81,0	77	1,01	46	106	149

Calculs réalisés à partir des équations publiées par l'INRA (1987) en admettant des teneurs en matière organique de 900 g/kg MS et en CB de 230 g/kg MS

valeur PDIN du fourrage peut alors devenir limitante, préjudiciable à la nutrition des microbes du rumen et à leur activité cellulolytique. A l'extrême, la digestibilité des parois peut alors en être affectée (Peyraud et Astigarraga, 1998).

**Figure 2 : Evolution de la digestibilité de la matière organique (dMO) de l'herbe selon le niveau de fertilisation annuelle des prairies de graminées pures (les méthodes d'estimation de la digestibilité diffèrent entre stations expérimentales).**

*Figure 2 : Monthly changes in the organic matter digestibility (dMO) of grass according to the level of yearly fertilization of pure grass swards (the methods used for measuring digestibility vary with the experimental stations).*



*A contrario*, si la diminution de la fertilisation azotée entraîne un allongement de la période de repousses pour obtenir suffisamment de biomasse consommable, alors les conséquences sur la valeur nutritive de l'herbe sont plus importantes. Mais il s'agit alors d'un effet indirect de la fertilisation azotée *via* le vieillissement de la plante et ses conséquences bien connues sur la digestibilité de la MO et la valeur UFL et PDI de l'herbe (INRA, 1981).

### 3. Effet de la fertilisation azotée sur les quantités d'herbe ingérées

L'influence de la fertilisation azotée sur les quantités de matière sèche ingérées a surtout été étudiée avec des animaux alimentés à l'auge. Les travaux au pâturage, qui nécessitent des techniques de mesures particulières, sont beaucoup plus rares et plus récents. A l'auge, la fertilisation azotée modifie peu l'ingestion même si, en situation de choix, les animaux semblent préférer l'herbe peu fertilisée. Deux effets spécifiques de la fertilisation azotée s'opposent dans la régulation de l'ingestion de l'herbe verte. Avec des niveaux de fertilisation azotée élevés, la faible teneur en matière sèche de la plante, donc sa richesse en eau, limite les quantités volontairement ingérées (Vérité et Journet, 1970 ; Van Vuuren *et al.*, 1992). A l'inverse, les très faibles teneurs en MAT (100 à 120 g/kg MS) associées aux fortes diminutions de fertilisation peuvent induire des chutes d'ingestion, conséquence d'une digestion microbienne moins efficace ou d'un niveau d'apport PDI insuffisant (Peyraud et Astigarraga, 1998). A titre indicatif, les valeurs seuils de 18% pour la MS et de 140 g pour les MAT par kg MS peuvent être proposées à partir de divers travaux bibliographiques.

Au pâturage, les quantités ingérées dépendent des quantités d'herbe offertes et de la biomasse de feuilles vertes accessibles aux animaux par hectare. Sous l'effet de la fertilisation azotée, l'ingestion va donc dépendre, d'une part, des conditions de valorisation adoptées pour adapter ou non les quantités offertes et, d'autre part, de la biomasse par hectare disponible. Pour maintenir les quantités d'herbe offertes malgré la réduction de la fertilisation, il suffit *a priori* d'accroître la surface offerte proportionnellement à la baisse de productivité des prairies, à condition de disposer de surfaces supplémentaires.

Mais, à mêmes quantités d'herbe offertes, l'effet de la fertilisation azotée sur l'ingestion peut être variable comme en témoignent les résultats obtenus au Rheu (Ille-et-Vilaine) et synthétisés au tableau 4. Selon ces auteurs, une biomasse inférieure à 2,2 t MS/ha (au dessus de 5 cm) sous forme de feuilles vertes pénaliserait les quantités de matière organique ingérées, ce d'autant plus qu'elle est associée à une teneur en MAT de l'herbe très faible (106 g/kg MS). Pour corriger ce handicap, il est alors nécessaire d'accroître les quantités d'herbe offertes. Dans ces conditions, les animaux valorisent une herbe dont la composition chimique et la valeur nutritive est meilleure que celle offerte puisqu'ils trient plus facilement et surtout ne consomment que les strates supérieures de la végétation (Peyraud *et al.*, 1994 ; Delagarde *et al.*, 1997 ; tableau 4). Ce dernier aspect relativise l'effet absolu de la fertilisation azotée sur la valeur nutritive de l'herbe décrit précédemment.

Enfin, dans certaines situations extrêmes de réduction de fertilisation azotée, la très faible teneur en MAT de l'herbe offerte peut également limiter l'ingestion (Delagarde *et al.*, 1999). L'apport de tourteaux de soja tannés permet d'améliorer alors le statut nutritionnel azoté du rumen et de l'animal, et d'accroître les quantités d'herbe ingérées (Delagarde *et al.*, 1997 et 1999).

**Tableau 4 : Effet de la fertilisation azotée sur les quantités ingérées par les vaches laitières au pâturage.**

*Table 4 : Effect of N fertilization on the amount of grass ingested by grazing dairy cows.*

Auteur	PEYRAUD <i>et al.</i> (1994)		DELAGARDE <i>et al.</i> (1997)	
	Bas	Haut	Bas	Haut
<b>Niveau de fertilisation N*</b>				
<b>Biomasse (t MO/ha)</b>	3,9	4,8	1,9	2,6
<b>Biomasse de feuilles vertes (t MO/ha)</b>	2,9	3,3	1,7	2,3
<b>MAT de l'herbe offerte (g/kg MS)</b>	113	151	106	173
<b>Quantités ingérées (kg MO)</b>	16,2	16,2	13,0	15,6
<b>MAT de l'herbe ingérée (g/kg MS)</b>	149	178	135	212

\* Bas niveau : 0 kg N/ha ; Haut niveau : 60 kg N/ha/cycle. Les quantités d'herbe offertes *a priori* non limitantes ont toujours été supérieures à 20 kg MO par vache et par jour.

Dans la majorité des situations, à condition de maintenir les quantités d'herbe offertes constantes par l'adaptation simultanée du chargement, la fertilisation azotée a peu d'effet sur les quantités ingérées par les vaches laitières.

#### 4. Effet de la fertilisation azotée des prairies pâturées sur les performances individuelles et par hectare

Lors des 3 expériences pluriannuelles réalisées dans l'Ouest (tableau 5), les critères décisionnels de sortie de parcelle, identiques entre niveaux de fertilisation (hauteur de l'herbe, évolution de la production laitière durant le temps de séjour) ont permis d'obtenir un niveau de chargement ajusté à chaque niveau de fertilisation azotée et un même rythme de pâturage (âge des repousses). En conséquence, ni la production laitière individuelle journalière, ni la teneur en matières grasses du lait n'ont en moyenne varié significativement entre traitements (tableau 5). Le taux protéique a été un peu plus élevé (+ 0,6 point) au Pin-au-Haras en l'absence totale de fertilisation azotée ; le résultat inverse a été observé à la Blanche-Maison (- 0,9 point). Dans tous les cas, ces effets même significatifs restent modérés.

**Tableau 5 : Effet de la fertilisation azotée sur les performances des vaches laitières au pâturage (synthèse de travaux réalisés dans l'ouest de la France).**

*Table 5 : Effect of N fertilization on the performances of grazing dairy cows (synthesis of trials carried out in Western France).*

Années	La Jaillière (44)		La Blanche-Maison (50)		Le Pin-au-Haras (61)		
	1990, 1992, 1993		1993 - 1995		1992 - 1994		
Fertilisation N (kg/ha)	70 - 110	140 - 220	0	160	0	100	320
<b>Conditions expérimentales*</b>							
Dates d'expérience	25/03 - 25/06		13/04 - 15/06 **		03/04- 18/10		
Durée (j)	92		63		198		
Nombre de vaches/an/traitement	15		22 à 23		18		
Race	Holstein		Normande		Holstein & Normande		
Lait période pré-expérimentale (kg)	27 à 28		20 à 21		32 à 33		
Principe de complémentation	Variable selon les années		1 kg conc./3 kg lait > 20 kg lait		1 kg conc./3 kg lait > 25 kg lait		
<b>Performances individuelles*</b>							
Lait (kg)	21,4	21,3	17,2	17,4	22,4	21,8	22,0
TB (g/kg)	38,6	38,8	42,0	42,2	39,3	38,9	38,6
TP (g/kg)	30,0	29,6	35,3	36,2	31,5	31,2	31,0
<b>Performances des surfaces*</b>							
Biomasse (kg MS/ha)	6 440	8 313	3 240	5 518	8 750	10 480	12 285
MAT (g/kg MS)	149	175	167	206	154	173	220
dMO (%)	77,1	77,5	78,6	79,5	67,9	68,6	72,0
Hauteur à l'entrée (cm)	11,2	12,6	9,6	11,7	10,5	11,5	12,7
Hauteur à la sortie (cm)	5,8	5,8	5,3	5,6	5,7	5,7	6,0
Nombre de jours de pâturage/ha	304	404	223	342	332	394	481
Ares / vache	30,5	22,9	27,8	18,7	58,3	49,0	40,0
Lait 4% / ha (kg)	6 598	8 716	3 862	5 782	7 518	8 621	10 608

\* : Synthèse issue des résultats moyens annuels observés sur chaque site expérimental.

\*\* : Fertilisation azotée différente entre traitements seulement au printemps.

Dans certaines situations de pâturage particulières et plus extrêmes telles que des hauteurs d'herbe en entrée de parcelle inférieures à 10 cm (Delaby et Peyraud, 1998) ou des teneurs en MAT de l'herbe offertes inférieures à 120 g/kg MS comme au Rheu (Delaby *et al.*, 1996a), la réduction de la fertilisation

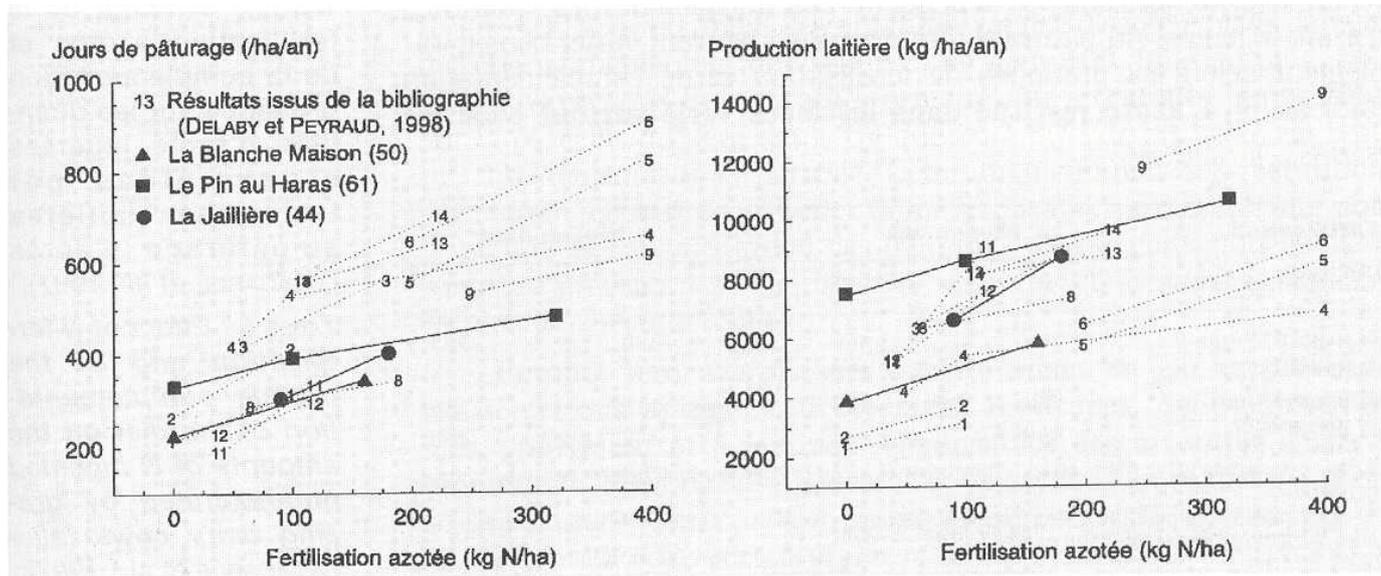
azotée peut pénaliser l'ingestion d'herbe et induire une diminution des productions de lait et de matières protéiques individuelles journalières sauf à offrir des quantités d'herbe beaucoup plus importantes.

Malgré la réduction de fertilisation azotée des prairies, les performances individuelles sont maintenues si les animaux sont capables de satisfaire leurs besoins en énergie et en azote grâce à un élargissement des surfaces offertes en rapport avec la quantité et la qualité de l'herbe produite. A chaque niveau de fertilisation azotée correspond ainsi un niveau de chargement qui permet de valoriser l'herbe produite en plus ou en moins sans altérer les performances individuelles.

A l'échelle de la parcelle, les conséquences les plus importantes et systématiques de la fertilisation azotée concernent le nombre de jours de pâturage réalisés par hectare (Jpha, calculés sur la base de 1 journée égale à 20 heures/24 de présence sur la parcelle) et la productivité laitière de la prairie. Selon Holmes (1968), la réponse à la fertilisation azotée resterait linéaire jusqu'à 450 kg d'azote par hectare et par an. Les résultats obtenus dans l'Ouest (tableau 5) et la synthèse bibliographique récente réalisée par Delaby et Peyraud (1998) légitiment cette idée générale (figure 3). Au delà de 450 kg d'azote par hectare et par an, il est probable que la réponse soit infléchi. En l'absence de variations des performances individuelles, les performances par hectare sont directement proportionnelles au nombre de Jpha réalisé et diminuent toujours avec la réduction de la fertilisation azotée. Selon les données rassemblées figure 3, ces diminutions concomitantes du nombre de Jpha et des performances par hectare pour 100 kg d'azote épanchés en moins atteignent respectivement - 77 ( $\pm$  9) Jpha et - 1 100 ( $\pm$  160) kg de lait par hectare. A même durée d'expérience, les variations absolues observées entre sites sont importantes. Elles sont d'abord la conséquence de la réponse de la plante à l'azote (Demarquilly, 1977) en terme de biomasse produite et dans une moindre mesure dépendent du niveau de production des animaux utilisés.

**Figure 3 : Effet du niveau de fertilisation azotée sur le nombre de journées de pâturage et la production laitière par hectare.**

*Figure 3 : Effect of the level of N fertilization on the number of grazing days and on the milk yield per ha.*



La réduction de la fertilisation azotée entraîne inévitablement une diminution du chargement et nécessite donc un accroissement de la surface en herbe disponible. Pour maintenir les performances individuelles, la définition du chargement optimum sera d'autant plus difficile que la prairie devient plus dépendante des potentialités agronomiques locales et saisonnières. Sur prairies pâturées, l'idéal serait de raisonner la fertilisation azotée en fonction de la surface accessible au troupeau et du nombre de jours de pâturage à réaliser, soit selon un objectif de production. C'est le principe du raisonnement global proposé par Farruggia *et al.* (2000, même ouvrage).

## 5. Effet de la fertilisation azotée des prairies sur les restitutions d'azote au pâturage

Les graminées fourragères des prairies valorisent des quantités considérables d'azote grâce à un accroissement simultané de la biomasse produite et de la teneur en azote de cette biomasse. Avec un nombre de jours de pâturage ou un chargement adapté, les ruminants au pâturage sont capables de consommer l'essentiel de cet azote exporté par la biomasse herbacée. Mais ces animaux exportent peu d'azote dans le lait ou la viande et en conséquence restituent directement sur le couvert végétal actif l'essentiel de l'azote ingéré sous forme de bouses et pissats. Ainsi, au niveau de la parcelle pâturée, la fertilisation azotée constitue un intrant azoté majeur qui augmente les flux d'azote entre les 3 pools : sol - plante - animal. La vache laitière au pâturage contribue à la fois aux flux externes et aux flux internes du cycle de l'azote des prairies (Simon *et al.*, 1997) en agissant :

- soit par l'importation d'azote sur la parcelle *via* les aliments complémentaires et par l'exportation d'azote dans le lait (flux externes),
- soit *via* l'ingestion d'herbe et les déjections restituées directement sur le sol (flux internes).

A l'échelle de la parcelle ou de la saison de pâturage, la quantification précise des rejets azotés reste très difficile puisque, à la fois, les quantités et la teneur en azote de l'herbe ingérée sont des données généralement non disponibles. Néanmoins, la méthode d'estimation retenue par Delaby *et al.* (1997), qui intègre les performances animales annuelles et la composition chimique de l'herbe offerte, permet de décrire l'effet de facteurs tel que la fertilisation.

Les quantités totales d'azote qui retournent sur la prairie sous forme de déjections résultent du produit de 2 paramètres : le nombre de jours de pâturage réalisés et les quantités d'azote émises par vache et par jour. Comme en alimentation hivernale, les rejets d'azote journaliers dépendent essentiellement des quantités d'azote ingérées. Au pâturage, ces quantités peuvent varier considérablement selon les pratiques de fertilisation et de complémentation (tableau 6). L'azote restitué dans les fèces varie surtout avec les quantités de matière sèche ingérées et peu avec la teneur en azote de l'ingéré. Selon les résultats de Delagarde *et al.* (1997), 87% des variations d'excrétion fécale d'azote sont associées aux variations de matière organique ingérée correspondantes. En revanche, l'azote urinaire dépend à la fois du niveau d'ingestion et de la teneur en azote de l'ingéré. L'excrétion d'azote urinaire journalière a ainsi pu varier du simple au quadruple (de 110 à 440 g/jour) lors des expérimentations conduites par Delagarde *et al.* (1997) au Rheu et résumées au tableau 6.

**Tableau 6 : Effet de la fertilisation azotée et de la complémentation protéique sur les quantités d'azote ingérées et excrétées par les vaches laitières au pâturage (d'après Delagarde *et al.*, 1997).**

*Table 6 : Effect of N fertilization and of the proteic complementation of the diet on the amounts of N ingested and excreted by grazing dairy cows (after Delagarde et al., 1997).*

Fertilisation Complémentation	Niveau bas*		Niveau haut*	
	0	TT*	0	TT*
N ingéré** (g/j)	310	466	584	707
N lait** (g/j)	102	119	117	131
N fèces** (g/j)	98	126	119	136
N urine** (g/j)	110	221	348	440

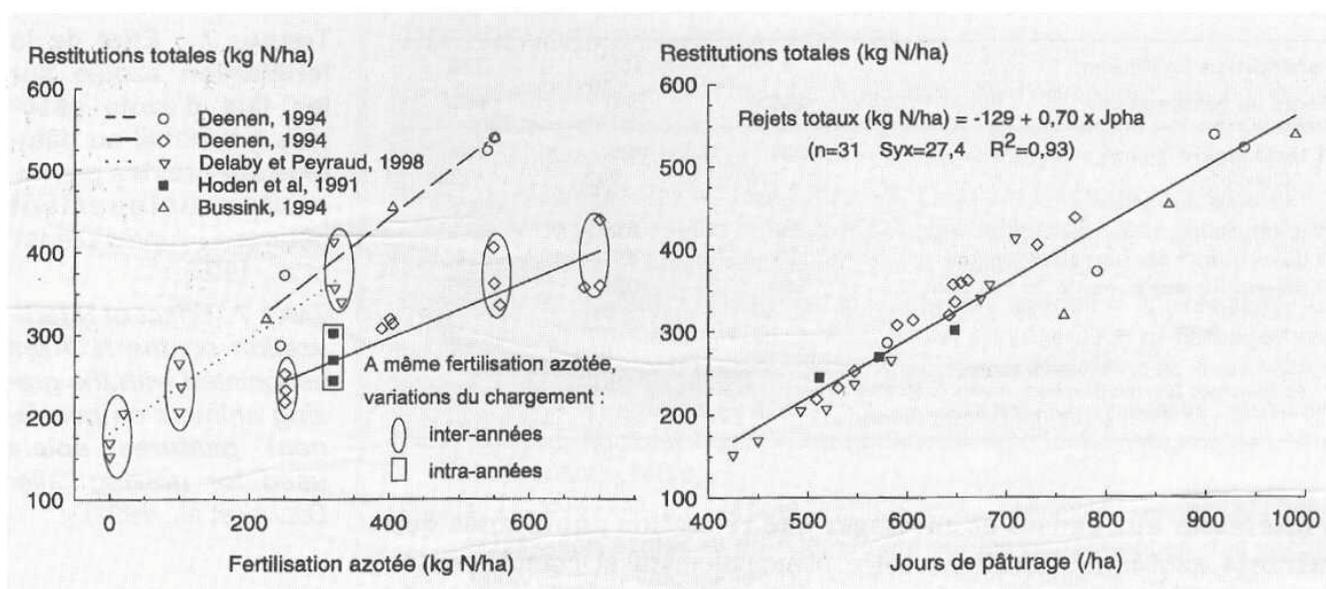
\* Bas : 0 kg N /ha/cycle ; Haut : 60 kg N /ha/cycle ; TT : 2 kg brut de tourteau de soja tanné par vache et par jour.  
 \*\* : Quantités réellement mesurées durant l'expérience ; N urine = N ingéré - N lait - N fèces en n'admettant aucune rétention azotée.

Intégrées sur une saison complète de pâturage, les quantités d'azote restituées par les vaches laitières sont surtout la conséquence du nombre de jours de présence des animaux sur la parcelle. Toute pratique qui modifie le nombre de Jpha - la fertilisation azotée bien sûr, mais aussi le chargement, la présence de légumineuses, la

fauche et la complémentation - modifie les restitutions d'azote par hectare (Vérité et Delaby, 1998). Comme la fertilisation azotée présente la particularité d'agir à la fois sur les Jpha et sur la teneur en azote de l'ingéré, son impact sur les restitutions est considérable (figure 4). Lorsque les Jpha augmentent sous l'effet de la fertilisation azotée (de 400 à 1 000 Jpha), les quantités totales d'azote émises dans les déjections augmentent de 70 ( $\pm 3,5$ ) kg pour 100 Jpha en plus, dont 80% environ sous forme d'azote urinaire. Au prorata du temps passé sur la parcelle, on peut admettre que 80 à 85% de cet azote est restitué directement sur la parcelle. Cette augmentation des restitutions d'azote par hectare sous l'effet de la fertilisation azotée résulte pour l'essentiel de l'augmentation des quantités d'azote consommées par le troupeau provenant de l'herbe mais aussi des concentrés consommés en plus par hectare (tableau 7).

**Figure 4 : Effet du niveau de fertilisation azotée et du nombre de journées de pâturage sur les restitutions totales d'azote dans les déjections.**

*Figure 4 : Effect of the level of N fertilization and of the number of grazing days on the total amounts of N re-cycled in the excreta.*



**Tableau 7 : Effet de la fertilisation azotée sur les flux d'azote associés à l'animal au pâturage sur prairies permanentes uniquement pâturées (d'après Delaby *et al.*, 1997).**

*Table 7 : Effect of N fertilization on the N flows associated with the grazing animals on permanent pastures solely used for grazing (after Delaby *et al.*, 1997).*

Fertilisation (kg N/ha/an)	0	100	320
Jours de pâturage (/ha)	456	550	689
N total ingéré (kg/ha), provenant de :	231	302	451
- l'herbe*	176	238	369
- la complémentation	55	64	82
N lait (kg/ha)	56	66	83
N déjections hors parcelle** (kg/ha)	35	47	74
N déjections sur parcelle (kg /ha), dont :	140	188	295
- N fèces***	50	59	74
- N urine***	90	129	221

\* estimé à partir des performances annuelles du troupeau et de la teneur en MAT de l'herbe offerte  
 \*\* en admettant 20% des déjections totales émises hors de la parcelle (chemin, salle de traite...)  
 \*\*\* N fèces = 7,2 g/kg MS ingérée et N urine = N ingéré - N lait - N fèces

Compte tenu des masses d'azote mises en jeu au pâturage, les déjections animales directement restituées, donc non maîtrisées, pourraient être rendues responsables des atteintes à l'environnement. Elles ne sont pourtant que la conséquence des méthodes de production d'herbe et des pratiques d'élevage. Si la réduction des restitutions directes au pâturage se révèle nécessaire, il faudra alors s'intéresser aux causes et envisager une réduction simultanée des intrants azotés (fertilisation azotée principalement et complémentation protéique) et du chargement moyen par hectare (Delaby *et al.*, 1996b).

Au pâturage, une part importante de l'azote circulant (minéralisation, fertilisation) est plusieurs fois recyclée au niveau du sol et de la plante sous forme de déjections animales. Les répartitions spatiale et temporelle de ces déjections sont très hétérogènes, ce qui crée localement des apports d'azote très importants. La valorisation de cet azote des déjections par le couvert végétal dépend de la quantité émise et de sa forme chimique, du potentiel de croissance de la plante et surtout du moment d'apport en regard des conditions climatiques et de la saison. Cette spécificité du cycle de l'azote liée à l'activité de pâturage doit être intégrée dans le raisonnement de la fertilisation azotée des prairies en précisant toutefois les rendements de valorisation sur une échelle de temps dynamique et pluriannuelle.

## Conclusion

Si le choix d'une réduction de la fertilisation azotée des prairies ne change pas les conditions d'utilisation de l'herbe produite (âge des repousses, hauteur sortie), les modifications de la valeur nutritive de l'herbe ne sont généralement pas préjudiciables aux performances individuelles. Au pâturage, ce choix permet alors de valoriser plus de surface en herbe, notamment au printemps, en ajustant le chargement afin de maintenir les quantités d'herbe offertes aux animaux. Dans ces conditions, les restitutions d'azote individuelles et par hectare sous forme de déjections sont fortement diminuées et les risques environnementaux (volatilisation et lixiviation de l'azote) sont réduits. Mais cette stratégie de réduction de la fertilisation azotée se traduit inévitablement par une réduction des performances par hectare et nécessite de disposer de surfaces en herbe supplémentaires et surtout accessibles au troupeau en vue du pâturage.

Accepté pour publication, le 30 juin 2000.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Beranger C., Micol D. (1981) : "Utilisation de l'herbe par les bovins au pâturage. Importance du chargement et du mode d'exploitation", *Fourrages*, 85, 73-93.

Brocard V., Farruggia A., Le Guenic M., Le Meur D. (1995) : "Utilisation du lisier de porcs sur les pâtures des vaches laitières en Bretagne : aspects techniques et sanitaires", *Renc. Rech. Ruminants*, 2, 343-348.

Bussink D.W. (1994) : "Relationships between ammonia volatilization and nitrogen fertilizer application rate, intake and excretion of herbage nitrogen by cattle grazed swards", *Fertilizer Res.*, 38, 111-121.

Deenen P.J.A.G. (1994) : *Nitrogen use efficiency in intensive grassland farming*, doctoral thesis, Department of Agronomy, Wageningen, The Netherlands, 140 p.

Delaby L., Peyraud J.L. (1998) : "Effet d'une réduction simultanée de la fertilisation azotée et du chargement sur les performances des vaches laitières et la valorisation du pâturage", *Ann. Zootech.*, 47, 17-39.

Delaby L., Peyraud J.L., Vérité R., Marquis B. (1996a) : "Effect of protein content in the concentrate and level of nitrogen fertilization on the performance of dairy cows in pasture", *Ann. Zootech.*, 45, 327-341.

Delaby L., Peyraud J.L., Delagarde R. (1996b) : "Utilisation des intrants azotés pour le pâturage des vaches laitières", *Revue suisse Agric.*, 28(5), 276-280.

Delaby L., Decau M.L., Peyraud J.L., Accarie P. (1997) : "AzoPât : Une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. 1- Les flux associés à l'animal", *Fourrages*, 151, 297-311.

Delagarde R., Peyraud J.L., Delaby L. (1997) : "The effect of nitrogen fertilization level and protein supplementation on herbage intake, feeding behaviour and digestion in grazing dairy cows", *Anim. Feed Sci. Technol.*, 66, 165-180.

Delagarde R., Peyraud J.L., Delaby L. (1999) : "Influence of carbohydrate or protein supplementation on intake, behaviour and digestion in dairy cows strip-grazing low-nitrogen fertilized perennial rye grass", *Ann. Zootech.*, 48, 81-96.

Demarquilly C. (1970) : "Influence de la fertilisation azotée sur la valeur alimentaire des fourrages verts", *Ann. Zootech.*, 19, 423-437.

Demarquilly C. (1977) : "Fertilisation et qualité du fourrage", *Fourrages*, 69, 61-84.

Hardy A., Rivière F., Gastbled A. (1996) : "Influence de la quantité d'herbe offerte ou de la réduction de fertilisation azotée sur les performances des vaches laitières au pâturage", *Renc. Rech. Ruminants*, 3, 85-88.

Hnatyszyn M., Guais A. (1988) : *Les fourrages et l'éleveur*, Tec & Doc., Lavoisier éd. Paris, 440 p.

Hoden A., Muller A., Peyraud J.L., Delaby L., Faverdin P. (1991) : "Pâturage des vaches laitières. Effets du chargement et de la complémentation en pâturage tournant simplifié", *Prod. Anim.*, INRA, 4, 229-239.

Holmes W. (1968) : "The use of nitrogen in the management of pasture for cattle", *Herbage Abstr.*, 38, 265-277.

Houssin B., Le Roux M., Chenais F., Plai C. (1995) : "Modification de techniques de pâturage de vaches laitières dans l'Ouest par allongement des intervalles entre passages ou la suppression de la fumure azotée de fin d'hiver et de printemps", *Renc. Rech. Ruminants*, 2, 79-82.

INRA (1981) : *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*, Ed INRA Publications, Versailles, 580 p.

INRA (1987) : *Alimentation des ruminants : Révision des systèmes et des tables de l'INRA*, XVIIe Journées du Grenier de Theix, *Bull. Techn. CRZV Theix*, 70, 222 p.

Journet M., Demarquilly C. (1979) : "Grazing", *Feeding strategy for the high yielding cow*, Granada Publishing Ltd, Londres.

Lemaire G., Salette J., Laissus R. (1982) : "Analyse de la croissance d'une prairie naturelle normande au printemps. 1- La production et sa variabilité", *Fourrages*, 91, 3-16.

Peyraud J.L., Astigarraga L. (1998) : "Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance", *Anim. Feed Sci. and Techn.*, 72, 235-259.

Peyraud J.L., Astigarraga L., Faverdin P., Delaby L., Le Bars M. (1994) : "Effect of nitrogen fertilization and protein supplementation on herbage utilisation by grazing dairy cows", *Ann. Zootech.*, 43, 291.

Salette J., Huché L. (1991) : "Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par l'analyse du végétal : Principes, mise en œuvre, exemples", *Fourrages*, 125, 3-18.

Simon J.C., Peyraud J.L., Decau M.L., Delaby L., Vertès F., Delagarde R. (1997) : "Gestion de l'azote dans les systèmes prairiaux pâturés permanents et de longue durée", *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, Les Colloques de l'INRA*, n°83, Ed INRA Paris.

Van Vuuren A.M., Krol-Kramer F., Van Der Lee R.A., Corbijn H. (1992) : "Protein digestion and intestinal amino acids in dairy cows fed fresh *Lolium perenne* with different nitrogen contents", *J. Dairy Sci.*, 75, 2215-2225.

Vérité R., Journet M. (1970) : "Influence de la teneur en eau et de la déshydratation de l'herbe sur sa valeur alimentaire pour les vaches laitières", *Ann. Zootech.*, 19, 255-268.

Vérité R., Delaby L. (1998) : "Conduite alimentaire et rejets azotés chez la vache laitière. Interrelations avec les performances", *Renc. Rech. Ruminants*, 5, 185-192.

## SUMMARY

### **Effect of mineral nitrogen fertilization on the feeding value of herbage and the performances of grazing dairy cows**

Nitrogen fertilization brings about considerable changes in the chemical composition of herbage (dry matter, crude protein, soluble carbohydrates) but has hardly any influence on its energy value, provided grass is utilized at the same age of regrowth. Under the influence of N fertilization, the PDI (protein digestible in the small intestine) contents of Perennial ryegrass at the leafy stage vary by some 3 g for PDIE and 12 g for PDIN, the total crude protein content varying by 20 g per kg DM. With

grazing animals, trials carried out in Western France showed that reducing the N fertilization of pastures did not modify individual performances, provided the stocking rate is also diminished, so as to maintain constant the amount of available and biteable herbage. Milk outputs per ha are then systematically diminished, proportionately to the number of lost grazing days. Certain particular conditions (grass height below 10 cm, crude protein below 120 g/kg DM) may nevertheless modify individual performances. Animal excreta on the pasture are very much under the influence of the number of grazing days per ha, and the latter is itself influenced by N fertilization. The decreased stocking rate due to the reduction of fertilization always results in weaker nitrogen flows between the pools of the soil-plant-animal system of grazed pastures.