

# Maîtrise des flux d'azote dans la gestion des prairies et du pâturage en systèmes laitiers intensifs

J.-L. PEYRAUD, L. DELABY

INRA, Agrocampus, UMR1080 Production du lait, F-35590 Saint-Gilles, France

Courriel : Jean-Louis.Peyraud@rennes.inra.fr

Les rejets azotés urinaires des vaches laitières peuvent être modulés dans des proportions assez larges par l'alimentation sans trop affecter les performances individuelles. Au pâturage ces variations des rejets ne sont pas nécessairement associées à des variations des risques de lessivage de nitrates du fait du rôle important de la fertilisation minérale, de la fixation symbiotique par les légumineuses et des modifications du chargement associées à certaines pratiques alimentaires. Les risques doivent donc être évalués à l'échelle de la parcelle et non à la sortie de l'animal.

Depuis plusieurs décennies, les productions animales intensives ont largement été encouragées. Ces systèmes de production se caractérisent par des flux d'azote importants dont les risques environnementaux sont maintenant bien connus notamment en terme de transfert de nitrate dans l'eau et d'oxyde d'azote vers l'air (Jarvis 1993, Chatelier et Vérité 2003). Cette prise de conscience de l'impact négatif des productions animales intensives sur l'environnement devrait être favorable à l'émergence de nouveaux systèmes de production faisant une plus large place au pâturage. Le pâturage offre en effet de nombreux atouts environnementaux : suppression du recours aux pesticides, maintien de la biodiversité et des paysages. Cette évolution est aussi renforcée par un arrêt progressif des soutiens au secteur laitier (ouverture des marchés, suppression des quotas, baisse des aides directes à la production) qui va conduire à développer des systèmes visant à réduire les coûts de production face à la diminution probable du prix du lait (malgré l'embellie temporaire actuelle). En revanche, dans les systèmes restant intensifs, le pâturage met souvent en jeu des flux d'azote importants avec des risques de pertes. Le challenge est alors de réduire les émissions d'azote, notamment les fuites de nitrates, pour préserver la qualité des eaux, par un meilleur ajustement des intrants sans trop pénaliser les performances par vache ou par hectare en

regard du contexte économique et alimentaire mondial.

Si la réduction des rejets d'azote par vache est l'un des moyens pour limiter l'impact négatif du troupeau laitier sur certains flux d'azote à l'échelle de l'exploitation (lixiviation, volatilisation...), les conséquences de cette réduction doivent être analysées et intégrées à l'échelle des performances de l'animal, de la parcelle et de l'exploitation. La fertilisation azotée minérale est l'un des leviers majeurs de l'intensification, tant elle contribue à l'augmentation de la productivité des surfaces en milieu tempéré (Journet et Demarquilly 1979, Leaver 1985). L'apport de concentré a un rôle aussi très important sur la production individuelle mais peut induire une augmentation sensible des rejets par vache. Au pâturage, les restitutions d'azote par les animaux sont pour l'essentiel émises directement sur un couvert végétal actif et les quantités totales d'azote qui retournent sur la parcelle dépendent autant des restitutions quotidiennes que du chargement et de la durée de la saison de pâturage (Delaby *et al* 1997).

Après un rappel sur l'évaluation des flux et rejets d'azote par vache, l'objectif de ce texte est d'évaluer le rôle des intrants azotés majeurs (*i.e.* la fertilisation et la complémentation) sur la nutrition de l'animal, la production laitière, les restitutions par vache et par hectare

résultant des différentes stratégies de gestion du pâturage avec ou sans légumineuses, les bilans azotés à l'échelle de la parcelle et finalement les risques de lixiviation du nitrate sous prairie. L'objectif est aussi de montrer que l'évaluation des risques environnementaux, et donc les solutions proposées, ne doivent pas se limiter à l'échelle de l'animal mais doivent surtout intégrer la gestion des surfaces fourragères nécessaires à la production de lait, la réduction des rejets individuels n'étant pas toujours suivie d'une réduction des fuites de nitrate sous les parcelles.

## 1 / Les flux d'azote à l'échelle de l'animal : origine et facteurs de variation

Chez la vache laitière, les quantités d'azote excrétées (en g/jour) peuvent être calculées par différence entre l'azote ingéré (N<sub>ing</sub>) et l'azote exporté dans le lait (N<sub>lait</sub>) car les quantités d'azote fixées sont négligeables chez l'animal adulte. L'azote excrété dans les fèces provient de l'azote indigestible des aliments, des microbes et de l'azote endogène. L'azote fécal dépend peu de la teneur en azote des fourrages (Demarquilly *et al* 1981). Dans la plupart des rations des vaches laitières, l'azote fécal est en relation directe avec les quantités totales de matière sèche

ingérées (MSing, en kg/jour) selon un coefficient moyen de 7,2 g N/kg MS ingéré (Peyraud *et al* 1995). Cette relation simple varie un peu selon les régimes alimentaires et peut atteindre 8,0 g N/kg MS lorsque les vaches reçoivent de l'herbe verte très riche en Matières Azotées Totales (MAT supérieures à 220 g/kg MS) ou pour des niveaux d'ingestion très élevés de rations à base de fourrages conservés et riches en protéines peu dégradables. Dans tous les cas, l'azote fécal est composé essentiellement d'azote organique peu soluble dont une très faible part est susceptible de lessiver ou se volatiliser (Decau *et al* 1997). A l'inverse, l'azote urinaire (Nuri, g/jour) dépend directement des quantités et de la nature de l'azote ingéré. Une augmentation de l'azote urinaire peut avoir pour origine un excès d'azote dégradable en regard des besoins des microbes du rumen ou un excès d'azote et/ou un déséquilibre en acides aminés en regard des besoins de l'animal. Ces deux voies d'excès aboutissent à la production d'urée qui diffuse dans l'organisme et est finalement éliminée dans l'urine, dont elle constitue entre 10 et 80% de l'azote total (Peyraud *et al* 1995). L'azote uréique est rapidement modifié par hydrolyse de l'ammonium qui peut soit être transformé en ammoniac et volatiliser, soit être converti en nitrate et lessiver. L'azote urinaire est calculé par différence entre l'azote ingéré et l'azote exporté dans le lait et les fèces :  $Nuri = Ning - Nlait - 7,2 * MSing$ .

A partir des systèmes d'alimentation français (INRA 1989) et des formules décrites ci-dessus, Delaby *et al* (1995) et Peyraud *et al* (1995) ont calculé les variations annuelles des flux d'azote chez la vache laitière (tableau 1). Une vache laitière (7 500 kg de lait par lactation) alimentée avec une ration parfaitement équilibrée à base d'ensilage de maïs consomme 131 kg d'N par an dont 50% provient du concentré. Cette

**Tableau 1.** Effet du type de fourrage sur le bilan azoté d'une vache laitière produisant 7 500 kg de lait et alimentée avec la même ration toute l'année selon les principes des systèmes d'alimentation français (adapté de Peyraud *et al* 1995 et Vérité et Delaby 1998).

	Ensilage de maïs	Herbe	Herbe
<b>MAT des fourrages (g/kg MS)</b>	80	150	220
<b>N ingéré : total (kg N)</b>	131	153	215
issu des fourrages	65	104	208
issu des concentrés	66	49	7
<b>N exporté : Lait</b>	40	40	40
Fèces	42	38	43
Urine	49	75	132
<b>Fèces + Urine (kg/T de lait)</b>	12,2	15,1	23,3

**Tableau 2.** Simulation de l'effet d'un apport de concentré sur le bilan azoté d'une vache laitière consommant 18 kg d'herbe et produisant 20 kg de lait avant toute complémentation.

	Pas de concentré	Céréales	Mélange
<b>MAT des concentrés (g/kg MS)</b>	-	120	250
<b>Herbe ingérée (kg MS)</b>	18,0	16,0	16,0
<b>Lait produit (kg)</b>	20	23,5	23,5
<b>N ingéré (g)</b>	518	538	621
<b>N du lait (g)</b>	102	123	123
<b>N excrété (g/j)</b>	416	415	498
<b>(g/kg lait)</b>	20,8	17,6	21,2

vache excrète alors par an 42 kg d'N dans les fèces et 49 kg dans l'urine. La quantité d'azote fécal et urinaire représente 70% de l'azote ingéré, soit un équivalent de 12,2 kg d'N par tonne de lait produite. Avec une même ration, l'excrétion totale par tonne de lait diminue de 13,2 à 11,2 kg lorsque la production de lait varie de 6 000 à 9 000 kg de lait, du fait de la dilution des besoins d'entretien. Cependant, les conséquences à l'échelle de l'exploitation de cet accroissement de la productivité animale sont difficiles à intégrer car les quantités totales excrétées par vache augmentent de 80 à 101 kg N/an avec le potentiel laitier tandis qu'elle diminue par hectare de fourrages produits sur l'exploitation puisque l'essentiel du lait produit en plus provient de concentrés achetés. De plus, comme l'indique le tableau 1, les effets associés au potentiel laitier sont limités en regard de ceux associés au système fourrage.

En comparaison avec un régime à base d'ensilage de maïs, les quantités d'azote excrétées augmentent lorsque les vaches sont alimentées avec de l'ensilage d'herbe à 15% MAT. Mais cette augmentation ne peut directement être associée avec une augmentation des pertes à l'échelle de l'exploitation (Simon *et al* 1989, Benoit *et al* 1995) car la quantité d'azote exportée par hectare est plus élevée avec l'herbe

qu'avec le maïs (Peyraud *et al* 1995) et les régimes à base d'herbe nécessitent moins d'achat de concentrés riches en N. Cependant, l'excrétion d'azote augmente considérablement avec la teneur en MAT de l'herbe et peut induire des pertes importantes à l'échelle de l'exploitation du fait de l'augmentation concomitante du chargement.

L'effet de la nature du concentré sur les rejets azotés dépend de la différence entre la teneur en azote des fourrages et des concentrés. Ceci est illustré par les données du tableau 2 chez une vache alimentée avec de l'herbe verte (MAT : 180 g/kg MS ; 18 kg MSing ; 20 kg de lait) et qui est complétement avec 4 kg de céréales (120 g MAT/kg MS) ou un mélange céréales-tourteau de soja (250 g MAT/kg MS). Dans ces conditions, le taux de substitution fourrage-concentré (kg MS fourrage en moins/kg MS concentré en plus) et la réponse de la production laitière (kg lait/kg MS concentré) ne varient pas significativement. Le taux de substitution est voisin de 0,5, l'efficacité du concentré est de 0,9 kg de lait et l'augmentation du taux protéique est de 0,2 g/kg de lait par kg de concentré. L'utilisation de céréales n'a pas de conséquence sur les rejets azotés mais réduit les rejets N par kg de lait, du fait de la réponse élevée de la production laitière. A l'inverse, l'utilisation de concentré riche en protéines augmente inévitablement les rejets par vache et par kg de lait produit malgré l'augmentation de la production de lait.

Les rejets azotés dépendent aussi des pratiques d'alimentation. En matière de nutrition azotée, l'application de marges de sécurité augmente rapidement l'excrétion d'azote. Ainsi, une augmentation de 10% des apports PDIE par rapport aux besoins de l'animal augmente les rejets de 13 kg/an tandis qu'un apport en excès de 10% de PDIN induit une augmentation de 18 kg N/an (Peyraud *et al* 1995).

## 2 / Effet du niveau de fertilisation azotée et de la présence de légumineuses sur les performances des vaches laitières

Aujourd'hui, la prise en compte des effets des systèmes herbagers intensifs sur l'environnement peut conduire à une réduction de la fertilisation azotée sur les prairies. Au-delà des ses effets majeurs sur la teneur en protéines de l'herbe et sur le chargement, il est intéressant de noter que peu d'études se sont intéressées aux conséquences de la fertilisation sur la nutrition azotée du ruminant et sur la gestion dynamique du pâturage. L'utilisation substantielle des légumineuses souvent évoquée offre des perspectives intéressantes en regard des problèmes environnementaux liés à l'azote.

### 2.1 / La réduction de la fertilisation azotée affecte peu la valeur nutritive de l'herbe

Pour des herbes valorisées à même âge de repousse, la réduction de la fertilisation azotée a peu d'effet sur la digestibilité de la matière organique (dMO). Comme l'ont montré Peyraud et Astigarraga (1998), la dMO diminue en moyenne de 0,74 à 0,72 lorsque la fertilisation diminue de 300-400 kg N/ha/an à moins de 100 kg N/ha/an. Cette diminution a été observée aussi bien sur prairies pâturées de ray-grass anglais (Peyraud 1993, Delagarde *et al* 1997) que sur prairies permanentes de graminées (Peyraud et Delaby 1992). La réduction de la fertilisation azotée induit une diminution importante de la teneur en MAT de l'herbe (Blaser 1964, Demarquilly 1977) mais dans le même temps, la teneur en sucres solubles totalement digestibles augmente (Reid 1966, Reid et Strachan 1974, Wilman et Wright 1978, Valk *et al* 1996, Astigarraga *et al* 2002). Une diminution de la teneur en protéines de 10 g/kg MS est accompagnée d'une augmentation de 8 à 10 g de la teneur en sucres solubles de la plante. Cette augmentation de la teneur en sucres solubles est attribuée à une moindre utilisation des chaînes carbonées dans la synthèse des protéines et une moindre consommation d'énergie nécessaire à la réduction des nitrates qui précède la synthèse de protéines.

La valeur azotée réelle du fourrage (protéines digérées dans l'intestin) ne

diminue que très lentement avec la réduction de la fertilisation azotée. Les divers travaux publiés ont montré que la réduction de la fertilisation azotée ne diminue que très peu (*i.e.* 5% en moyenne) le flux d'azote non ammoniacal entrant dans l'intestin, malgré une teneur en MAT beaucoup plus faible de l'herbe. En fait, l'efficacité des synthèses de protéines microbiennes et le flux d'azote microbien varient très peu en fonction de la fertilisation azotée. Les sucres solubles présents en quantités importantes dans l'herbe peu fertilisée représentent un substrat énergétique favorable aux synthèses microbiennes. De plus, la réduction de la fertilisation azotée ne réduit que faiblement le flux d'azote d'origine alimentaire au duodénum. Ceci est la conséquence d'une dégradation ruminale toujours très importante des protéines des fourrages verts (Beever *et al* 1986, Peyraud 1993), qui conduit à des flux de protéines d'origine alimentaire toujours très faibles. En outre, la réduction de la fertilisation azotée tend à réduire la dégradabilité ruminale des protéines de l'herbe. Ainsi une réduction de la fertilisation annuelle de 400 kg ou plus à moins de 100 kg/ha réduit la dégradabilité théorique des protéines des plantes de 0,75 à 0,70 (Peyraud et Astigarraga 1998). Au final, il y a donc une faible relation entre l'azote ingéré et le flux d'azote intestinal chez les animaux nourris à l'herbe (figure 1) et la valeur azotée vraie du fourrage est peu affectée.

### 2.2 / La réduction de la fertilisation azotée diminue les quantités d'herbe ingérées et la production laitière dans les situations sévères de pâturage

En moyenne, la réduction de la fertilisation azotée n'a pas d'effet sur la consommation volontaire d'herbe chez des moutons nourris à l'auge, tant que le fourrage est récolté à même âge de

repousse (Peyraud et Astigarraga 1998). Des résultats similaires ont été obtenus chez la vache laitière alimentée à l'intérieur avec du ray-grass anglais (Van Vuuren *et al* 1992, Peyraud *et al* 1997). Cependant, en conditions extrêmes, la fertilisation azotée peut affecter le niveau d'ingestion volontaire de fourrages. Les quantités ingérées de fourrages peu fertilisés peuvent être diminuées lors d'une réduction drastique de la teneur en protéines de l'herbe. Ce phénomène est bien décrit dans les travaux de Minson (1973), qui rapporte une diminution de l'ingestion et de la digestibilité du fourrage chez des fourrages tropicaux dont la teneur en protéines est inférieure à 80 g/kg MS. A l'opposé, une fertilisation très élevée induit une baisse de la teneur en MS de l'herbe de 20 à 50 g/kg brut d'herbe (Demarquilly 1977), qui pourrait réduire l'ingestion puisque les faibles teneurs en MS limitent l'ingestion de fourrage vert (Cabrera Estrada *et al* 2004). Ceci est illustré par les travaux de Van Vuuren *et al* (1992), qui ont observé une réduction des quantités ingérées de 3,5 kg par jour avec une herbe fortement fertilisée (500 kg vs 250 kg N/ha/an) tandis que la teneur en MS de l'herbe diminuait de 21,8 à 13,8% en réponse à la fertilisation élevée.

Au pâturage, la réduction de la fertilisation peut aussi réduire l'ingestion d'herbe lorsque des conditions sévères de pâturage sont appliquées. Cette thématique a été étudiée à Rennes avec des vaches laitières produisant plus de 25 kg de lait (tableau 3). Les quantités d'herbe offertes ont été identiques à chaque niveau de fertilisation grâce à une adaptation de la surface offerte pour compenser la plus faible biomasse sur les prairies peu fertilisées. Malgré cette adaptation, des résultats contrastés ont été observés.

Dans une première expérimentation, les quantités d'herbe ingérées n'ont pas

**Tableau 3.** Effet de la fertilisation azotée sur les quantités d'herbe ingérées au pâturage (adapté de Astigarraga *et al* 2002 - Essai 1 et Delagarde *et al* 1997 - Essai 2).

	Essai 1		Essai 2	
	0	60	0	60
Fertilisation (kg N/ha/cycle)	0	60	0	60
Biomasse (t MS/ha)	3,9	4,8	1,9	2,6
MAT herbe offerte (g/kg MS)	113	151	106	173
Herbe offerte (kg MO/jour)	26,6		20,7	
Quantité de feuilles vertes offertes (kg MO/jour)	19,2	21,0	18,0	20,5
Herbe ingérée (kg MS/jour)	16,2	16,2	13,0	15,6
MAT herbe ingérée (g/kg MS)	151	180	130	205

été affectées par le niveau de fertilisation appliqué tandis qu'elles ont diminuées de 2,6 kg dans la seconde. Dans le premier cas, les quantités d'herbe offertes ont été importantes et les vaches ont valorisées les premiers horizons du couvert végétal plus riches en MAT (Delagarde *et al* 2000) et plus faciles à récolter. Dans ces conditions, les vaches sélectionnent une herbe de teneur en MAT supérieure à 150 g/kg MS, même sur les prairies non fertilisées. A l'opposé, dans le second cas, avec de faibles quantités d'herbe offertes, les vaches ont été contraintes de pâturer les horizons profonds de la végétation et ont sélectionné une herbe plus pauvre en MAT sur les prairies non fertilisées. Cet effet négatif de la faible teneur en protéines de l'herbe sur l'ingestion a été confirmé dans l'essai 2 puisque une complémentation avec 2 kg de tourteaux tannés a accru l'ingestion d'herbe peu fertilisée de 1,8 kg MS (entraînant ainsi une réponse de plus de 2 kg lait/kg de concentré).

La production laitière par vache n'est pas affectée par la réduction de la fertilisation azotée, lorsque la valeur alimentaire de l'herbe n'est pas sensiblement altérée. En 1998, Delaby et Peyraud ont synthétisé 13 expériences de pâturage conduites à l'échelle de l'année dans différentes régions de l'ouest de l'Europe et pour lesquelles la fertilisation et le chargement ont été réduits conjointement afin de maintenir les quantités et l'âge de l'herbe offertes similaires pour tous les niveaux de fertilisation. Les résultats montrent clairement que la production individuelle de lait n'a pas varié avec le niveau de fertilisation azotée appliqué. Cependant, pour une même réduction de la fertilisation azotée, les résultats peuvent varier selon les conditions pédoclimatiques locales. Les travaux conduits en France (tableau 4) ont montré que sur sols profonds et riches en MO (8% - Normandie), la réduction de la fertilisation annuelle de 320 kg N/ha à 0 kg N/ha ne modifie pas la production laitière individuelle, tant que la teneur en

**Tableau 5.** Effet du niveau de fertilisation azotée sur le bilan azoté de vaches laitières nourries à l'auge ou au pâturage (adapté de Peyraud et al 1997 - Essai 1, Astigarraga et al 2002 - Essai 2 et Delagarde et al 1997 - Essai 3).

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
<b>Fertilisation (kg N/ha/an)</b>	60	300	60	300	0	250
<b>Herbe (g N/kg MSing)</b>	17,0	24,0	23,8	28,3	21,6	33,8
<b>Lait (g N/ kg MSing)</b>	6,0	6,0	6,1	6,1	7,0	6,9
<b>Fèces (g N/ kg MSing)</b>	6,0	6,1	6,1	6,3	6,7	6,9
<b>Urine (g N/ kg MSing)</b>	5,0	11,9	11,6	15,9	7,9	20,1

MAT de l'herbe offerte reste supérieure à 150 g/kg MS (Delaby et Peyraud 1998). A l'inverse, avec des sols qui fournissent peu d'azote par minéralisation (2% MO - Rennes - Bretagne), la même réduction de la fertilisation entraîne une baisse importante de la production de lait (- 2,5 kg/jour) et de l'herbe ingérée (- 2,0 kg MO/jour) du fait d'une teneur en protéines de l'herbe offerte inférieure à 120 g/kg MS (Delaby *et al* 1996). La chute des performances individuelles s'explique alors surtout par la réduction des quantités ingérées en réponse à la très faible teneur en MAT de l'herbe (tableau 3). A la lumière de ces différentes expériences, il apparaît que le maintien des performances individuelles nécessite d'offrir au moins 3 kg de MAT (herbe offerte x % MAT) par vache et par jour. En deçà de cette valeur, il est possible d'utiliser des tourteaux protégés pour maintenir les performances.

### 2.3 / La réduction de la fertilisation azotée améliore toujours le bilan d'azote à l'échelle de l'animal

Dans le cas d'une réduction de la fertilisation azotée, les bilans azotés se caractérisent toujours par une réduction importante des quantités excrétées d'azote dans l'urine et une réduction modérée des rejets d'azote dans les fèces. Ces résultats ont été observés à la fois sur moutons nourris à l'auge (Demarquilly 1977) et sur vaches laitières (tableau 5) alimentées à l'auge ou au pâturage.

La différence d'excrétion d'azote urinaire est totalement expliquée par les variations d'excrétion de l'azote uréique (Peyraud *et al* 1997, Réarte *et al* 2003). En effet, la digestion des herbes fortement fertilisées et plus généralement des herbes riches en MAT, se caractérise par des pertes importantes d'azote entre la bouche et le duodénum (Beever *et al* 1986, Peyraud 1993). Cette production d'ammoniac au niveau du rumen augmente *in fine* les pertes d'azote uréique par voie urinaire. Sur prairies peu fertilisées, la réduction de l'azote urinaire excrétée est principalement attribuable à la diminution des pertes ruminales. Les flux d'azote intestinaux peuvent alors être supérieurs aux quantités d'azote ingérées, ce qui reflète un potentiel important de recyclage au niveau du rumen. Ce recyclage peut représenter jusqu'à 5-6 g N par kg MS, soit 30 à 40% de l'azote total ingérée (Peyraud *et al* 1997, Réarte *et al* 2003, figure 1).

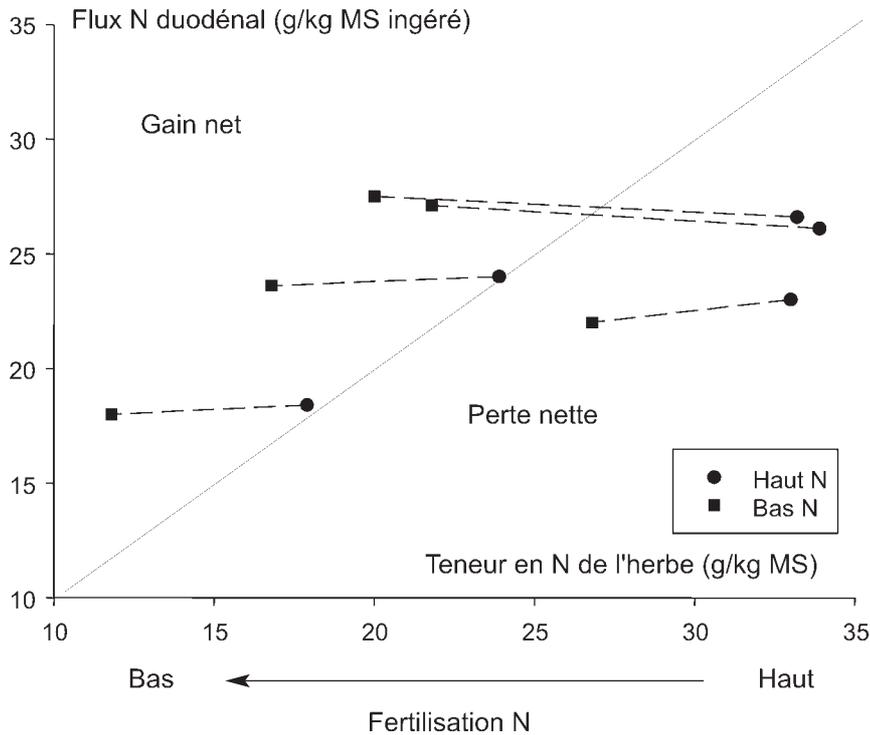
### 2.4 / Le trèfle blanc peut améliorer les performances animales mais également accroître les quantités d'azote excrétées par rapport aux graminées fertilisées

En régions tempérées, le trèfle blanc est la légumineuse la plus abondante dans les prairies permanentes ou temporaires. Les avantages nutritionnels du trèfle blanc par rapport aux graminées sont bien connus (Thomson 1984, INRA 1989). Dans une série d'expériences réalisées à Rennes avec des vaches fistulées, Peyraud (1993 et non publié) a montré, en comparaison avec du raygrass, que le trèfle blanc augmente la digestibilité de la MO (0,80 vs 0,78) et le flux d'azote non ammoniacal entrant dans l'intestin (28,9 vs 24,3 g/kg MSing). Avec le trèfle blanc, la synthèse de protéines microbiennes au niveau du rumen tout comme le flux d'azote au niveau intestinal sont augmentés. En fait, si la digestibilité et les flux d'azote intestinaux observés chez des vaches alimentées avec du ray-

**Tableau 4.** Effet du niveau de fertilisation azotée sur la production laitière de vaches laitières au pâturage sur des prairies exploitées à même âge de repousse (adapté de Delaby et al 1996 - Essai 1 et 2 et de Delaby et Peyraud 1998 - Essai 3).

	Essai 1		Essai 2		Essai 3	
<b>Fertilisation (kg N/ha/cycle)</b>	0	60	0	60	0	60
<b>Teneur en MO du sol (%)</b>	2	2	2	2	8	8
<b>Herbe offerte (kg MO/jour)</b>	17,2	17,2	26,8	20,0	18,0	18,0
<b>MAT herbe offerte (g/kg MS)</b>	105	172	121	187	152	220
<b>Production laitière (kg/jour)</b>	23,1	25,7	26,0	26,4	27,3	27,5
<b>MAT offerte (kg/jour)</b>	1,9	2,8	3,2	3,8	3,3	4,7

**Figure 1.** Effet d'une réduction de la fertilisation azotée sur le flux de protéines dans l'intestin grêle de vaches laitières nourries à l'herbe (adapté de Hagemeister et al 1976, Van Vuuren et al 1992, Delagarde et al 1997, Peyraud et al 1997, Réarte et al 2003).



grass peuvent parfois atteindre ceux observés avec du trèfle blanc (Peyraud 1993), l'avantage du trèfle blanc en association avec une graminée est qu'il permet de maintenir une valeur alimentaire du fourrage élevée lors du vieillissement de la plante. La digestibilité du trèfle blanc pur ou en association diminue très lentement avec l'âge de repousse. Peyraud (1993) et Delaby et Peccatte (2003) ont rapporté des diges-

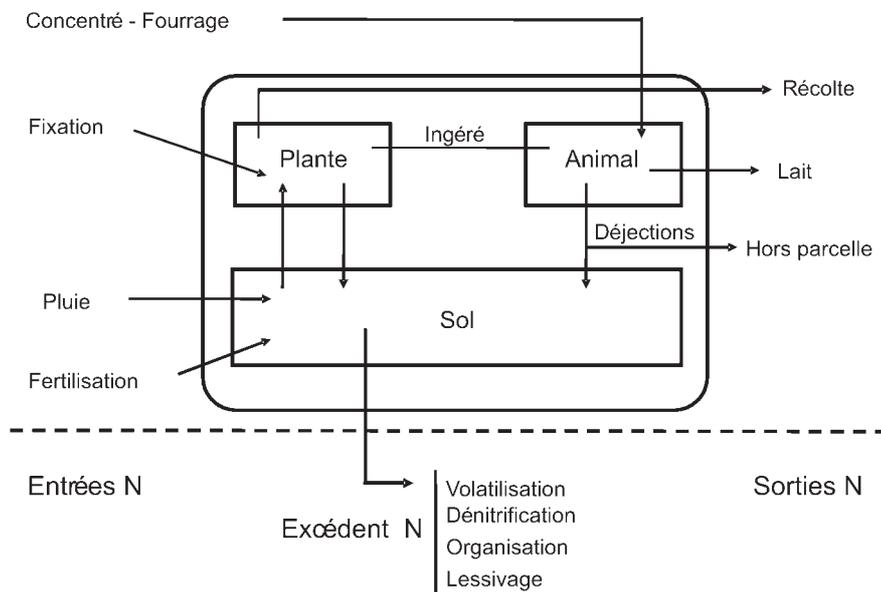
tibilités supérieures à 0,75 après 7 semaines de repousses ou au stade floraison du trèfle durant le 1<sup>er</sup> cycle.

A même digestibilité, les quantités volontairement ingérées de légumineuses sont plus élevées que celles observées sur graminées (INRA 1989), surtout du fait d'une moindre résistance des parois à la mastication, d'un taux de réduction des particules plus rapide

et d'une meilleure digestion ruminale (Steg et al 1994). Au pâturage, les quantités ingérées sont nettement plus élevées avec du trèfle blanc pur comparativement aux graminées pures (Alder et Minson 1963). L'intérêt d'une association avec les graminées (ray-grass/trèfle blanc) sur l'ingestion et les performances a été démontré, entre autres, par Wilkins et al (1994). Cet intérêt s'accroît avec la proportion de trèfle blanc dans le mélange. A Rennes, lors de travaux conduits sur prairies d'association (Ribeiro-Filho et al 2003, 2005), les quantités ingérées de MS et la production laitière ont augmenté comparativement à la graminée pure (+ 1,5 kg) quel que soit le niveau de quantités d'herbe offertes. La différence d'ingestion en faveur de l'association a été plus importante lorsque l'âge de repousse a évolué de 29 à 35 jours. Ainsi, d'un point de vue nutritionnel, les associations avec trèfle blanc doivent être considérées comme une réelle alternative aux graminées pures, avec en plus une réduction importante de la fertilisation azotée.

Cependant, par rapport au ray-grass, le trèfle blanc pur augmente les rejets azotés de 20,1 à 29,8 g/kg MSing (Peyraud non publié), surtout du fait d'une augmentation des pertes ruminales dues à la teneur en azote plus élevée (38,7 vs 26,1 g N/kg MS). Le flux d'azote duodénal représente en moyenne 75% de l'azote ingéré avec du trèfle blanc tandis qu'il atteint 93% avec du ray-grass. A partir des données de Ribeiro-Filho (2005), on peut calculer que l'excrétion totale d'azote augmente de 17,0 à 20,7 g par kg de lait produit avec les prairies d'association malgré l'augmentation concomitante des synthèses de protéines dans le lait.

**Figure 2.** Flux d'azote au pâturage à l'échelle de la parcelle.



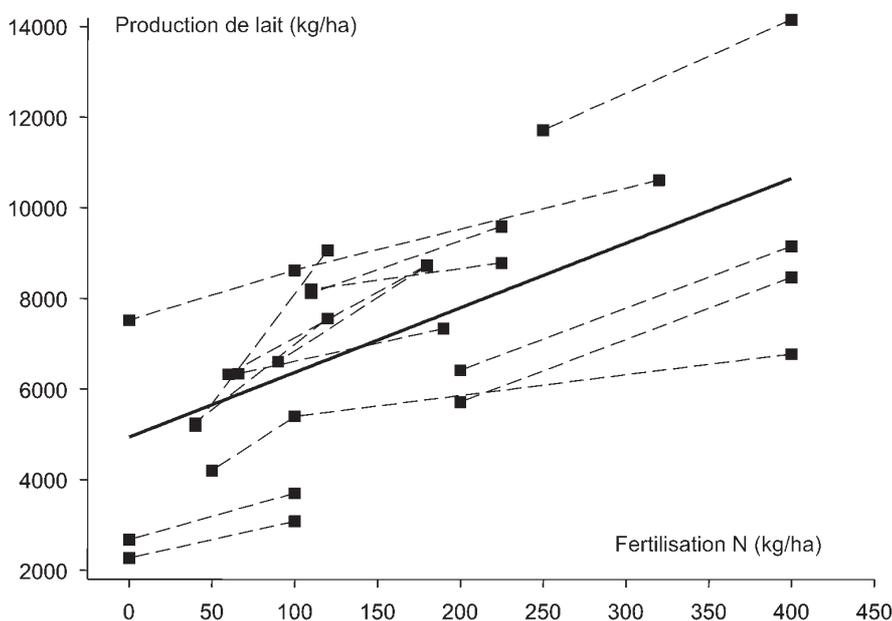
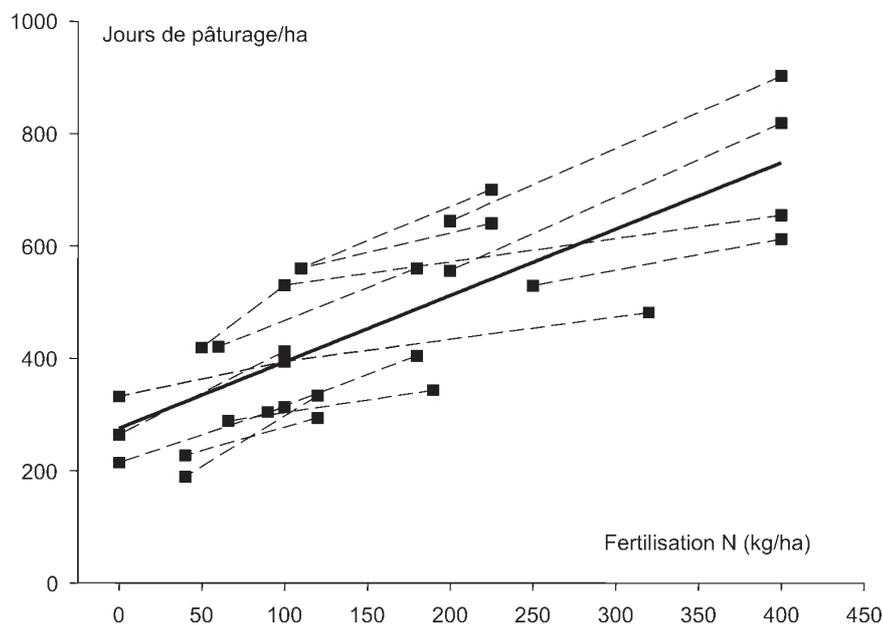
### 3 / Facteurs de variation des performances et des excédents d'azote à l'hectare

Les quantités de lait produites et d'azote excrétées par hectare de prairies pâturées peuvent être calculées comme le produit de la production laitière ou des rejets journaliers par le nombre de jours de pâturage par hectare (JP/ha). Ce nombre de jours représente le nombre de rations quotidiennes réalisées par hectare durant toute la saison de pâturage. L'excédent d'azote au niveau de la parcelle (figure 2) peut être calculé selon les principes proposés par Farrugia et al (1997).

Cet excédent prend en compte la totalité des entrées d'azote sur la parcelle (*i.e.* fertilisation, complémentation, fixation symbiotique, dépôts atmosphériques) et des sorties (*i.e.* lait, fourrages récoltés, transferts d'azote des déjections sur les chemins et en salle de traite). Le transfert d'azote hors parcelle sur les chemins et en salle de traite représentent 15% (Ledgard *et al* 1999) à 20% (Delaby *et al* 1997) des rejets totaux par hectare. Lors d'une évaluation de l'excédent d'N à l'échelle de la parcelle, les flux internes au système ne

sont pas pris en compte. Ces flux internes correspondent à l'azote prélevé par les plantes et pâturé par les animaux, l'azote excrété par les animaux directement sur la parcelle et l'azote associé à la sénescence des plantes qui retourne au champ sous forme de litière. L'efficacité globale de l'azote évaluée à l'échelle de la parcelle dépend largement des entrées (notamment fertilisation et fixation symbiotique) et est peu sensible à l'efficacité d'utilisation de l'azote par les animaux.

**Figure 3.** Effet de la fertilisation azotée annuelle sur le nombre de jours de pâturage et la production de lait par hectare (adapté de Delaby et Peyraud 1998).

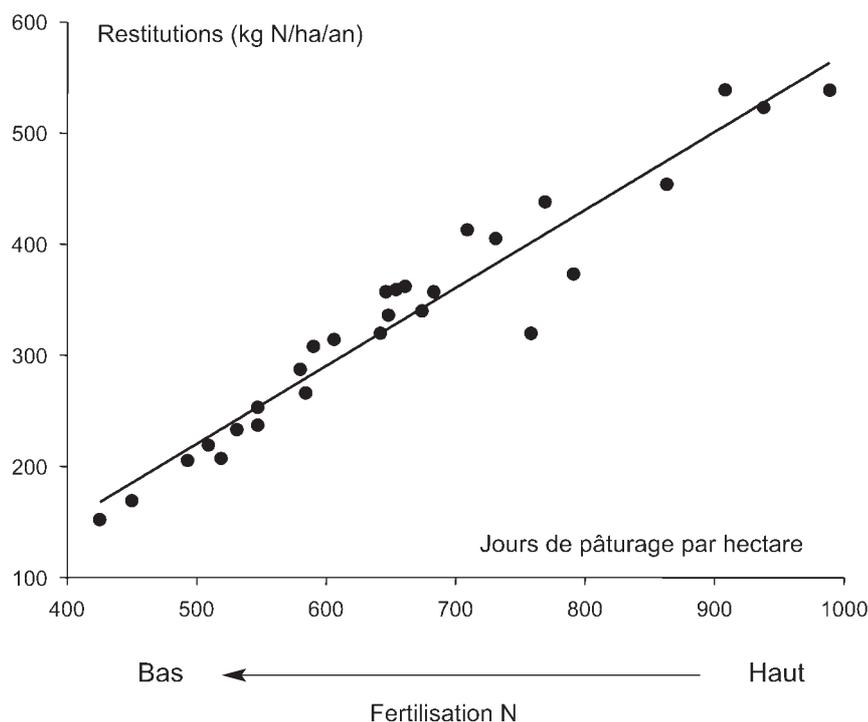


### 3.1 / La réduction de la fertilisation azotée réduit les excédents d'azote mais aussi le lait produit par hectare

La fertilisation joue un rôle majeur sur la production de lait et les excédents d'azote à l'hectare tant elle affecte à la fois les performances animales individuelles et la production d'herbe par hectare. La réponse moyenne des prairies à un apport d'azote varie de 5 (Peel et Matkin 1984) à 15 kg MS/kg N apporté (Reid 1978). Cette grande variabilité de la réponse s'explique en partie par les conditions agroclimatiques locales, les types de graminées, et les niveaux de fertilisation appliqués. Ainsi dans nos travaux, par rapport à une fertilisation nulle, la réponse moyenne diminue de 25 à 10 kg MS par kg d'azote épandu lorsque la fertilisation augmente de 100 à 300 kg N/ha. A partir d'une bibliographie quantitative, Delaby et Peyraud (1998) ont montré qu'une réduction de la fertilisation azotée diminue systématiquement la production de lait par hectare, surtout du fait d'une réduction proportionnelle du nombre de jours de pâturage réalisé par hectare tandis que la production par vache est très peu affectée. La pente moyenne est de 87 jours de pâturage par hectare pour une variation de 100 kg N/ha et /an, ce qui correspond à environ 1 375 kg de lait par hectare pour 100 kg N/ha et /an. Ceci entraîne une variation 1 580 kg de lait pour 100 JP/ha en plus ou en moins en réponse à la fertilisation azotée, du fait d'une production moyenne journalière de 15,8 kg de lait par vache (figure 3). Cette réponse de la production laitière par hectare peut être supérieure avec des vaches de meilleur potentiel. Ainsi dans les travaux conduits à Rennes et au Pin au Haras, la production laitière a augmenté de 2 290 kg/ha pour 100 JP/ha en plus avec des vaches produisant 30 kg de lait à la mise à l'herbe.

L'effet de la fertilisation azotée sur les rejets totaux d'azote au pâturage a été quantifié par Deenen (1994) et Bussink (1994) aux Pays-Bas et lors de nos études conduites en Normandie (Delaby et Peyraud 1998). La quantité totale d'azote excrétée par hectare augmente avec le niveau de fertilisation annuel appliqué. Cet accroissement atteint en moyenne 58 kg N pour 100 kg N minéral épandu en plus. Cependant, à même niveau de fertilisation azotée, des variations non négligeables peuvent exister entre sites expérimentaux ou entre années du fait des conditions agroclimatiques locales. Le

**Figure 4.** Relation entre le nombre de jours de pâturage (/ha) et les quantités d'azote excrétées sous l'effet de la fertilisation azotée (adapté de Deenen 1994, Bussink 1994 et Delaby et Peyraud 1998).



nombre de jours de pâturage réalisé dans l'année est un excellent critère de synthèse pour prédire les rejets azotés, lorsque le chargement varie avec le niveau de fertilisation (figure 4). Les rejets d'azote par hectare augmentent linéairement avec les JP/ha. Au-delà de 400 JP/ha, la pente moyenne est de 70 kg d'N/ha pour 100 jours de pâturage en plus, dont environ 85% sous forme d'azote urinaire. Cette réponse est très élevée et plus rapide que celle observée pour la production de lait. Toute dimi-

nution de la fertilisation azotée induit à la fois une réduction de la production de lait et des rejets d'N par hectare, mais la réponse relative est beaucoup plus importante pour les rejets. Ainsi, les quantités d'azote excrétées par tonne de lait produite diminuent très rapidement lors d'une réduction de la fertilisation azotée (tableau 6, essai 2).

L'effet d'une réduction de la fertilisation azotée sur les excédents d'azote à l'échelle de la parcelle a été quantifié

**Tableau 6.** Effet du chargement associé ou non à une variation de la fertilisation azotée annuelle sur la production laitière, les restitutions d'azote et les excédents à l'échelle de la parcelle (adapté de Hoden et al 1991 - Essai 1 et Delaby et al 1997 - Essai 2).

	Essai 1			Essai 2		
<b>Chargement</b>	3,7	4,1	4,6	3,3	4,0	5,1
<b>Jours de pâturage (/ha)</b>	512	572	648	456	550	689
<b>Fertilisation (kg N/ha/an)</b>	300	300	300	7	100	320
<b>Lait (kg N /ha)</b>	56	61	67	56	66	83
<b>Fécès (kg N /ha) <sup>(1)</sup></b>	67	74	82	62	74	92
<b>Urine (kg N /ha) <sup>(1)</sup></b>	178	196	220	113	161	277
<b>Total excrété (kg N/ t lait) <sup>(1)</sup></b>	22,5	22,6	23,1	16,3	18,6	23,0
<b>Bilan à la parcelle (kg N/ha) <sup>(2)</sup></b>	242	235	226	7	93	272

(1) En admettant 20% d'émission d'azote hors parcelle (chemins, salle de traite).

(2) Bilan calculé par différence entre les entrées N (fertilisation, complémentation, déposition atmosphérique, fixation symbiotique) et les sorties N (lait, transferts hors parcelle, récolte).

par Delaby *et al* (1997, essai 2, tableau 6). Le bilan est toujours nettement amélioré lorsque la fertilisation diminue, ce dans des proportions plus importantes que la baisse de production laitière associée. Ledgard *et al* (1999), lors d'une expérience de 3 années comparant 0 kg N et 3,3 vaches/ha ou 400 kg N et 4,4 vaches/ha, ont également observé que l'accroissement des exportations d'azote sous forme de produits animaux sont toujours faibles (+ 42 kg N/ha) en regard des entrées d'azote par la fertilisation (+ 400 kg N/ha). Lorsque la fertilisation azotée est réduite, les flux d'azote internes sont réduits, et les quantités d'azote ingérées et excrétées diminuent en réponse à une baisse du chargement et de la teneur en MAT de l'herbe.

### 3.2 / A même fertilisation azotée, l'augmentation du chargement augmente la production laitière par hectare et diminue légèrement les excédents d'azote

Pour un niveau de fertilisation azotée donné, les modalités de gestion du pâturage constituent un autre facteur de variation qui peut modifier la production de lait et les restitutions par hectare. L'effet du chargement sur la production de lait par hectare a été bien décrit dans la littérature, notamment pour des niveaux de fertilisation élevés. Afin de quantifier le rôle du chargement sur la production laitière, Delaby et Peyraud (non publié) ont synthétisé 30 réponses couvrant une large gamme de chargement (de 1,1 à 5,5 vaches par hectare) et de variation (entre +0,3 et + 2,5 vaches/ha intra-expérience). L'augmentation du chargement d'une vache par hectare diminue la production laitière par vache d'environ 1 kg/jour (*i.e.* 7%) tandis que la production par hectare augmente de 1 500 kg de lait. Cette réponse tend néanmoins à diminuer pour les forts niveaux de chargement.

Les restitutions totales d'azote augmentent avec le chargement. Les variations sont directement associées au nombre de jours de pâturage, dans la mesure où les restitutions par vache varient peu tant que la teneur en azote de l'herbe n'est pas modifiée. Néanmoins, l'amplitude de variation des rejets totaux par hectare est bien moins importante que celle décrite précédemment lorsque le chargement est régulé par les variations de fertilisation azotée. Les données de Hoden *et al* (1991), comparant trois niveaux de chargement à même fertilisation azotée

(300 kg N/ha/an) et celles de Delaby *et al* (1997) comparant trois niveaux de chargement combinés à différents niveaux de fertilisation dans la même ferme expérimentale illustre parfaitement ce phénomène (tableau 6). Pour un accroissement de 100 jours de pâturage par hectare, les rejets annuels augmentent de 42 kg/ha (dont 74% sous forme urinaire) dans l'essai 1 et de 83 kg/ha (dont 85% sous forme urinaire) dans l'essai 2.

Avec l'augmentation du chargement, dans l'essai 1, une meilleure valorisation de l'herbe est obtenue et plus d'azote est exporté dans le lait (+ 11 kg N/ha/an). Ainsi, le bilan à la parcelle ne varie pas ou n'est que peu amélioré. Les quantités supplémentaires d'N exportées dans le lait ou excrétées dans les déjections restent limitées en regard des entrées sur la parcelle, qui restent élevées et augmentent même un peu avec le chargement du fait d'un accroissement des apports d'aliments complémentaires par hectare (même quantité par vache par jour mais plus de JP/ha).

### 3.3 / Les associations avec le trèfle blanc sont susceptibles de réduire les excédents d'azote

Les légumineuses prairiales constituent une composante essentielle des systèmes de productions des ruminants durables et à faibles intrants (Thomas 1992, Pflimlin *et al* 2003). Durant trois années, Ledgard *et al* (1999) ont évalué les entrées, sorties et flux internes de trois systèmes complets associant troupeaux et surfaces correspondantes. Chaque système correspond à un niveau de fertilisation azotée et les prairies d'association graminées-trèfle blanc ont été pâturées toute l'année. Les données présentées au tableau 7

**Tableau 7.** Entrées et sorties annuelles d'azote (kg N/ha) d'une ferme laitière selon l'utilisation d'engrais azotés et la présence du trèfle blanc (adapté de Ledgard *et al* 1999 - moyenne de 3 ans avec un chargement de 3,3 vaches/ha).

Fertilisation (kg N/ha)	0	200	400
<b>Entrées : Fertilisation</b>	0	215	413
Fixation	174	117	40
Aliments achetés	3	4	3
Dépôts atmosphériques	2	2	2
<b>Sorties : Lait et viande</b>	80	95	98
Fourrages récoltés	1	15	28
Déjections hors parcelles <sup>(1)</sup>	57	78	84
<b>Bilan à la parcelle <sup>(2)</sup></b>	41	150	248

(1) En admettant 20% d'émission d'azote hors parcelle (chemins, salle de traite).

(2) Bilan calculé par différence entre les entrées N (fertilisation, complémentation, déposition atmosphérique, fixation symbiotique) et les sorties N (lait, transferts hors parcelle, récolte).

**Tableau 8.** Simulation de l'effet de la proportion de trèfle blanc en prairie d'association ou de la fertilisation d'une prairie de ray-grass sur l'excrétion d'azote et le bilan à l'échelle de la parcelle.

Proportion de trèfle blanc	0	25	50
<b>MAT de l'herbe (g/kg MS)</b>	180	180	200
<b>Jours de pâturage (/ha)</b>	600	510	600
<b>N ingéré (kg /ha)</b>	311	264	346
<b>N excrété (kg /t de lait)</b>	20,8	20,8	23,7
<b>Entrées (kg N /ha)</b>			
Fertilisation	300	0	0
Fixation <sup>(1)</sup>	0	106	207
<b>Sorties (kg N/ha)</b>			
Lait	61	52	61
Déjections hors parcelles <sup>(2)</sup>	50	42	57
<b>Bilan à la parcelle <sup>(3)</sup></b>	189	11	89

(1) Calculé selon la formule proposée par Decau *et al* (1997),  $0,0354 \times \text{biomasse produite} \times \% \text{ trèfle blanc} - 0,35$

(2) En admettant 20% d'émission d'azote hors parcelle (chemins, salle de traite)

(3) Bilan calculé par différence entre les entrées N (fertilisation, complémentation, déposition atmosphérique, fixation symbiotique) et les sorties N (lait, transferts hors parcelle, récolte).

confirment que la fertilisation azotée réduit la proportion de trèfle blanc de 70%. Sur les parcelles non fertilisées, la fixation symbiotique par le trèfle blanc est la seule entrée d'azote (174 kg/ha), elle représente seulement 10% (40 kg/ha) des entrées du système à 400 kg N. La fixation symbiotique diminue avec la fertilisation azotée du fait de la moindre présence du trèfle blanc. Dans ces systèmes, la production laitière constitue l'essentiel des sorties d'azote. Par rapport au système riche en trèfle blanc, les systèmes fertilisés se caractérisent par une légère augmentation des sorties d'azote d'origine animale au détriment d'une très forte détérioration du bilan N de la parcelle. La réponse des produits animaux est plus faible que celle rapportée par Delaby *et Peyraud* (1998) sans doute parce que le niveau de chargement appliqué n'a pas varié dans les essais de Ledgard *et al* (1999). Ces travaux montrent clairement que les systèmes à base de trèfle

blanc sont assez efficaces pour convertir des intrants d'azote sous forme de N<sub>2</sub> atmosphérique en lait et pour limiter les excédents d'azote à l'échelle de la parcelle. De plus, ces légumineuses présentent l'avantage de limiter l'utilisation d'énergie fossile nécessaire à la synthèse et au transport des engrais azotés.

Néanmoins, le total des intrants sur prairies de ray-grass/trèfle blanc est très dépendant de la fixation par le trèfle qui constitue la seule source d'azote. Dans les essais de Ledgard *et al* (1999), cette fixation symbiotique varie du simple au double entre années (101 à 235 kg/ha/an), surtout du fait des différences de climat. Le vrai challenge de ces systèmes est de maintenir la proportion de trèfle autour de 30-40% pour produire assez d'herbe et de stabiliser le système d'année en année. Il est établi que la production des prairies d'associations est souvent inférieure à celle observée sur prairies bien fertilisées.

Nous avons simulé (tableau 8) l'effet de la proportion de trèfle blanc (25 ou 50%) en comparaison avec une prairie de ray-grass pur fertilisée avec 300 kg N/ha/an. Dans ces simulations, le chargement a été adapté de manière à maintenir le même niveau d'ingestion et de production laitière par vache (18 kg MS et 25 kg de lait) dans tous les systèmes en prenant en compte les productivités des prairies observées en Bretagne. Comparé au ray-grass anglais, une prairie comportant 25% de trèfle ne permet pas le même nombre de jours de pâturage par hectare et les exportations d'azote dans le lait sont réduites. Cependant cet effet reste modéré en

regard de la réduction de la fertilisation azotée et finalement le bilan d'azote à la parcelle est fortement amélioré. Lorsque la proportion de trèfle augmente, la fixation d'azote par la légumineuse est doublée tandis que la production d'herbe et le nombre de jours de pâturage réalisés augmentent également. Une faible part de cette fixation symbiotique supplémentaire est exportée dans le lait et le bilan azoté de la parcelle se dégrade par rapport à la prairie à 25% de trèfle. Néanmoins, à même quantité d'azote exporté dans le lait (61 kg/ha/an), le bilan d'une prairie avec 50% de trèfle blanc est plus favorable que celui d'une prairie fertilisée à 300 kg N/ha, bien que les rejets d'N par tonne de lait produite augmentent. Ce résultat met bien en avant toutes les limites de raisonner les rejets uniquement en les rapportant à l'animal et au volume de lait produit.

### 3.4 / L'apport de compléments augmente la production laitière mais peut aussi détériorer le bilan à la parcelle

L'apport de concentré à base de céréales réduit l'excrétion d'azote par vache essentiellement parce qu'il réduit la teneur en azote de la ration. Les apports de concentrés au pâturage sont souvent limités et leurs effets sur les excédents d'azote par hectare sont alors modestes. Compte tenu des réponses à la complémentation en concentré (Peyraud et Delaby 2001, tableau 2), l'apport de 4 kg de concentré entraîne un accroissement de l'exportation d'azote dans le lait qui est numériquement légèrement inférieur à l'accroissement des apports d'azote associés à la distribution du concentré (tableau 9). En conséquence, les excé-

dents d'azote varient peu. Mais l'apport de concentré doit permettre d'accroître le chargement, puisque l'ingestion d'herbe par vache diminue, ce qui améliore là encore un peu la balance azotée à l'échelle de la parcelle (de 282 à 251 kg/ha) bien que l'excrétion totale d'azote augmente. L'utilisation d'un concentré riche en protéines (tourteaux par exemple) accroît fortement la quantité totale d'azote ingérée ce qui entraîne inévitablement une augmentation des quantités totales d'azote excrétées par vache (tableau 2) et aussi par hectare du fait d'un même nombre de jours de pâturage réalisés. Ceci a été clairement mis en évidence par Soegaard et Aaes (1996). Durant une saison complète de pâturage (165 jours), en modifiant la teneur en protéines du concentré de 143 à 315 g MAT/kg MS, ces auteurs ont observé une augmentation des rejets d'N par hectare de 145 kg. Ce résultat est similaire sur des prairies de ray-grass anglais pur fertilisées à raison de 300 kg N/ha ou sur des prairies d'association ray-grass/trèfle blanc non fertilisées. Selon les travaux publiés par Delaby *et al* (1996), l'utilisation de tourteaux de soja tanné à haute teneur en protéines (MAT : 460 g/kg MS) comparée à un apport de céréales au cours du pâturage de printemps (63 jours) accroît les rejets azotés de 27 kg sur des prairies de ray-grass peu fertilisées (20 kg N/ha/cycle). Malgré une réponse de la production laitière importante (+ de 2 kg lait) avec le tourteau tanné, l'azote exportée dans le lait reste faible en regard des quantités apportées par le concentré riche en protéines. Cette augmentation des quantités d'azote restituées associée à l'apport de tourteau tanné a été plus élevée (+ 46 kg) sur les prairies fertilisées à raison de 60 kg N/ha/cycle. L'essentiel de la

différence entre les deux types de prairies est due à l'augmentation de chargement permise par la fertilisation plus importante. Cette augmentation du nombre de jours de pâturage réalisé par hectare a pour conséquence une augmentation des entrées d'azote associées au concentré (+ 46 et + 30 kg N pour les prairies recevant 20 ou 60 kg N/ha/cycle). La simulation proposée au tableau 9 confirme également cette importante augmentation des restitutions à la parcelle (+ 22%) en réponse à l'utilisation d'un concentré dont la teneur en MAT varie de 120 à 250 g/kg MS.

L'utilisation de l'ensilage de maïs en complément de l'herbe au pâturage est un excellent moyen pour réduire les rejets azotés par vache et par jour (tableau 1) grâce à l'effet de dilution de l'azote total de la ration mixte. Les variations de ces rejets dépendent de la part respective des deux fourrages dans la ration. Mais cet avantage associé à l'apport d'ensilage de maïs est nettement moins favorable lorsque l'on s'intéresse à la parcelle plutôt qu'à l'animal. En effet, l'apport d'ensilage de maïs transfère par les déjections des vaches l'azote provenant des surfaces cultivées en maïs vers les surfaces en herbe. Du fait de la réduction des quantités journalières d'herbe ingérées, l'utilisation du maïs au pâturage entraîne aussi une augmentation sensible du nombre de jours de pâturage réalisé par hectare par augmentation du chargement ou allongement de la saison de pâturage. Dans de bonnes conditions de pâturage, la substitution entre l'herbe et le fourrage complémentaire est de 0,9 et la réponse de production laitière est très faible et parfois même négative (Leaver 1985). Finalement, l'effet favorable de l'ensilage de maïs sur les restitutions d'azote à l'échelle individuelle est largement perdu à l'échelle de la parcelle. Ces résultats replacent dans une autre perspective les données de Valk (1994) et de Van Vuuren et Meijs (1987) qui relatent des diminutions de rejets journaliers d'azote par vache de respectivement 219 g (594 vs 375 g N) et 143 g (519 vs 379 g N) avec une ration comportant 50% d'ensilage de maïs. La différence importante observée entre ces auteurs provient surtout de l'écart important d'azote ingéré issu de l'herbe (100 g par vache par jour). En fait, dans les deux essais néerlandais, l'avantage associé aux rations mixtes (herbe/maïs) est annulé si dans le même temps, le nombre de jours de pâturage réalisé augmente de 58 et 38%.

**Tableau 9.** Simulation de l'effet d'un apport de 4 kg de concentré plus ou moins riche en protéines avec ou sans adaptation du chargement sur l'excrétion d'azote et le bilan à l'échelle de la parcelle.

Concentré	0	4	4	4 + chargt
Jours de pâturage (/ha)	600	600	600	675
MAT du concentré (g/kg MS)		120	250	120
N ingéré (kg /ha)	311	323	372	363
Entrées (kg N /ha)				
Fertilisation	300	300	300	300
Concentré	0	46	96	52
Sorties (kg N/ha)				
Lait	61	72	72	81
Déjections hors parcelles <sup>(1)</sup>	50	50	60	56
Bilan à la parcelle <sup>(2)</sup>	189	224	274	215

(1) En admettant 20% d'émission d'azote hors parcelle (chemins, salle de traite).

(2) Bilan calculé par différence entre les entrées N (fertilisation, complémentation, déposition atmosphérique, fixation symbiotique) et les sorties N (lait, transferts hors parcelle, récolte).

## 4 / Pertes d'azote à l'échelle de la parcelle

Bien que l'excédent d'azote à l'échelle de la parcelle soit un critère intéressant pour évaluer le risque environnemental, il ne donne aucune information sur les processus de transformation et les voies de pertes vers l'environnement. Les pertes d'azote peuvent se produire par lessivage, volatilisation, dénitrification et l'azote peut aussi être réorganisé au sein de la MO des sols (figure 2). Différentes expériences ont été menées afin de quantifier les pertes d'azote, notamment dans les systèmes pâturés intensifs à base de graminées fertilisées ou d'association graminées-trèfle blanc. La modélisation a été également utilisée afin de contourner les difficultés méthodologiques associées aux mesures en plein champ.

### 4.1 / La réduction de la fertilisation azotée diminue les pertes par lessivage

Decau *et al* (1997) ont proposé un modèle simple basé sur le principe des bilans de masse pour illustrer les variations de la quantité d'azote potentiellement lessivable accumulé en fin d'année sous prairies pâturées. La quantité réellement lessivée dépendra de la lame drainante. Elle sera au maximum égale à la quantité potentiellement lessivable mais n'est pas calculée par le modèle. Le modèle calcule la balance azotée en fin d'année en supposant que : 1/ les entrées sont égales aux sorties et aux pertes, 2/ le pool d'azote minéral est égal à zéro en début et fin d'année, 3/ il peut se produire des pertes par dénitrification à partir de ce pool d'azote minéral du sol. L'azote excrété par les vaches a été calculé et affecté comme décrit ci-dessus et le devenir annuel de l'azote de l'urine et des fèces a été réparti à partir de coefficients moyens, bien que variables d'un auteur à l'autre (Decau *et al* 1997), issus d'une synthèse bibliographique. A la lumière de cette revue bibliographique, il apparaît qu'en moyenne sur une année, 31% de l'azote urinaire sont réorganisés, 29% sont valorisés par la croissance de l'herbe, 22% sont lessivés, 16% sont volatilisés et 2% sont dénitrifiés. Les coefficients de répartition pour l'azote fécal sont 69, 9, 17, 3 et 2% respectivement. Les pertes annuelles d'azote par dénitrification sont calculées comme étant égales aux pertes des déjections décrites ci-dessus auxquelles s'ajoute 8,5% du pool d'azote minéral. Les per-

**Tableau 10.** Effet du niveau de fertilisation azotée annuel et du chargement sur les pertes d'azote au pâturage.

	Delaby <i>et al</i> Decau <i>et al</i> (1997)			Ledgard <i>et al</i> (1999)		
	0	100	300	0	200	400
<b>Fertilisation (kg N/ha/an)</b>	0	100	300	0	200	400
<b>Chargement (vaches/ha)</b>	3,3	4,0	5,1	3,3	3,3	3,3
<b>Jours de pâturage (/ha)</b>	456	550	689	1204	1204	1204
<b>Bilan à la parcelle (kg N/ha) <sup>(1)</sup></b>	7	93	272	41	150	248
<b>Pertes (kg N /ha)</b>						
Dénitrification	16	28	50	5	15	25
Volatilisation	16	22	50	16	38	61
Lessivage potentiel <sup>(2)</sup>	28	44	161	40	79	150
<b>Variation de stock (kg N /ha) <sup>(3)</sup></b>	-55	-2	+27	-20	+18	+12

(1) Bilan calculé par différence entre les entrées N (fertilisation, complémentation, déposition atmosphérique, fixation symbiotique) et les sorties N (lait, transferts hors parcelle, récolte).

(2) Dans les travaux de Decau *et al* (1997), il s'agit de l'azote potentiellement lessivable tandis que dans les travaux de Ledgard *et al* (1999), il s'agit de l'azote effectivement lessivé.

(3) Calculé par différence entre le bilan à la parcelle et les pertes d'azote.

tes par volatilisation proviennent uniquement des déjections animales restituées à la parcelle. L'azote potentiellement lessivable en automne-hiver est calculé par la somme des pertes provenant des restitutions animales, de la part d'azote minéral du sol non valorisé par la production d'herbe et non dénitrifié. Ce pool d'azote potentiellement lessivable ne sera pas nécessairement lessivé, de sorte que le bilan entre les excédents et les pertes peut être sous-estimé.

Ce modèle a été utilisé pour illustrer les effets d'une réduction simultanée de la fertilisation azotée annuelle et du chargement à partir des données de Delaby *et al* 1997 (essai 2, tableau 6). La réduction de fertilisation diminue l'ensemble des pertes annuelles d'azote (tableau 10). Plus particulièrement, le risque de lessivage est sérieusement réduit et ce, surtout entre les niveaux de fertilisation annuel de 300 et 100 kg d'N minéral, l'accroissement du risque étant très faible entre 0 et 100 kg N/ha.

Scholefield *et al* en 1993, Decau *et al* en 2004 ont également observé à partir de mesures sur lysimètres, moins de pertes par lessivage lors d'une réduction de la fertilisation. En admettant une minéralisation annuelle de 160 kg N, l'azote disponible pour la plante a été de 319 et 469 kg/ha pour les niveaux bas et moyen de fertilisation azotée, dont 70% ont été prélevés et exportés par les plantes. Avec le haut niveau de fertilisation, 815 kg N ont été disponibles pour la plante et seulement 55% ont été retrouvés dans le fourrage produit. Avec le niveau bas de fertilisation, la balance azotée de la parcelle était négative, ce qui traduit une minéralisation nette issue du pool d'azote organique du sol.

### 4.2 / Les prairies d'association avec trèfle blanc permettent de limiter les pertes d'azote à condition qu'elles ne soient pas trop riches en trèfle

Les travaux de Ledgard *et al* (1999) ont montré que le lessivage des nitrates était la perte d'azote la plus importante quantitativement au pâturage. Le lessivage de nitrates a été minimum sous prairies de ray-grass/trèfle blanc et s'est accru rapidement avec l'augmentation du niveau de fertilisation azotée associé à la diminution de la proportion de trèfle blanc (tableau 10). Les pertes par dénitrification restent faibles mais sont aussi réduites sous prairies d'association. Hooda *et al* (1998) ont également rapporté de plus faibles pertes d'azote par lessivage sous prairies intensives de ray-grass/trèfle blanc en comparaison avec une prairie de ray-grass pur recevant 250 kg N minéral/ha/an et pour les deux types de prairies, 150 kg N/ha/an sous forme de lisier.

Dans les travaux de Ledgard *et al* (1999), la quantité d'azote nitrique lessivé varie beaucoup (entre 20 et 74 kg/an) entre années sous les prairies de ray-grass/trèfle blanc en relation étroite avec les variations interannuelles de la fixation d'azote par le trèfle blanc. En conséquence, les risques de lessivage augmentent avec la proportion de légumineuses et donc les quantités d'azote fixées par hectare. Lors de suivi sous lysimètres, Loiseau *et al* (2001) rapportent des pertes d'azote par lessivage très importantes et variables dans le cas d'une culture pure de trèfle blanc (entre 28 et 140 kg/ha) tandis que les pertes sous couvert de ray-grass/trèfle sont restées inférieures à 20 kg N/ha au

cours des 6 années d'expérience. Pour concilier ce risque et les objectifs de productivité, on peut émettre l'hypothèse d'une proportion de trèfle «idéale» de 30-40% au sein des prairies d'associations.

## Conclusion

Le développement de systèmes laitiers intensifs a contribué à l'émergence d'un certain nombre de problèmes environnementaux associés notamment à l'utilisation d'engrais azoté minéral sur les cultures pures de graminées et aux apports de quantités importantes de concentrés. Les quantités d'azote excrétées par le troupeau laitier peuvent être modifiées dans de larges proportions, mais ces variations ne sont pas nécessairement associées à des variations de risques environnementaux du fait du rôle important de la fer-

tilisation minérale ou de la fixation symbiotique par les légumineuses. Les risques environnementaux doivent être évalués à l'échelle des surfaces fourragères nécessaires à la production de lait plutôt qu'au niveau de l'animal. Ainsi, réduire la fertilisation azotée appliquée sur l'herbe permet de limiter les risques de pertes d'azote sous prairie mais réduit aussi inévitablement la production de lait par hectare même si les performances individuelles peuvent aisément être maintenues à un haut niveau. L'introduction du trèfle blanc à la place de la fertilisation azotée minérale offre de nombreux avantages potentiels. Les performances animales sont maintenues et parfois améliorées tandis que les pertes d'azote sont nettement réduites. Cependant, une proportion optimale de trèfle blanc dans la prairie doit être trouvée (*i.e.* entre 30 et 40% de la biomasse annuelle) et maintenue par les pratiques culturales. Une contribution faible du trèfle limite la production

de fourrages et de lait par hectare tandis qu'un taux de trèfle élevé correspond à des entrées d'azote importantes par fixation symbiotique ce qui accroît les risques de lessivage. L'apport de concentré à base de céréales est peu efficace pour réduire les risques de lessivage même s'il conduit à réduire les rejets individuels des vaches par kg de lait produit dans la mesure où cet apport permet une augmentation concomitante du chargement. Le même raisonnement peut être fait avec l'ensilage de maïs. En effet, bien que l'apport d'ensilage de maïs avec de l'herbe pâturée réduise les rejets par vache et par jour, il entraîne un transfert d'azote entre les surfaces en maïs et les surfaces en herbe, d'autant plus important que le chargement est accru, ce qui accroît le risque de lessivage.

## Références

- Alder F.E., Minson D.J., 1963. The herbage intake of cattle grazing lucerne and cocksfoot pasture. *J. Agric. Sci.*, 60, 359-369.
- Astigarraga L., Peyraud J.L., Delaby L., 2002. Effect of nitrogen fertilizer rate and protein supplementation on the herbage intake and the nitrogen balance of grazing dairy cows. *Anim. Res.*, 51, 279-293.
- Beever D.E., Dhanoa M.S., Losada H.R., Evans R.T., Cammell S.B., France J., 1986. The effect of forage species and stage of harvest on the process of digestion occurring in the rumen of cattle. *Br. J. Nutr.*, 56, 439-454.
- Benoit M., Parrassin P.R., Peyre D., Fiorelli J.L. 1995. Activités d'élevage et qualité des eaux souterraines. Méthodes d'évaluation des risques de pollution azotée et d'estimation des pertes en nitrates, *Renc. Rech. Rum.*, 2, 323-328.
- Blaser R.E., 1964. Symposium on forage utilization: effects of fertility levels and stage of maturity on forage nutritive value. *J. Anim. Sci.*, 23, 246-253.
- Bussink D.W., 1994. Relationships between ammonia volatilisation and nitrogen fertilizer application rate, intake and excretion of herbage nitrogen by cattle on grazed swards. *Fertil. Res.*, 38, 111-121.
- Cabrera Estrada J.I., Delagarde R., Faverdin P., Peyraud J.L., 2004. Grass dry matter intake and eating rate in dairy cows is restricted by internal water but not external water. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 114, 59-74.
- Chatelier V., Vérité R., 2003. L'élevage bovin et l'environnement en France : le diagnostic justifie-t-il des alternatives techniques ? *INRA Prod. Anim.*, 16, 231-249.
- Decau M.L., Delaby L., Roche B. 1997. AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. II. Les flux du système sol-plante. *Fourrages*, 151, 313-330.
- Decau M.L., Simon J.C., Jacquet A., 2004. Nitrate leaching under grassland as affected by mineral nitrogen fertilization and cattle urine. *J. Env. Quality*, 33, 637-644.
- Deenen P.J.A.G., 1994. Nitrogen use efficiency in intensive grassland farming. Thèse, Department of Agronomy. Wageningen, The Netherlands, 140p.
- Delaby L., Peccatte J.R., 2003. Valeur alimentaire des prairies d'association ray-grass anglais/trèfle blanc utilisées entre 6 et 12 semaines de repousse. *Renc. Rech. Rum.*, 10, 389.
- Delaby L., Peyraud J.L., 1998. Effet d'une réduction simultanée de la fertilisation azotée et du chargement sur les performances des vaches laitières au pâturage. *Ann. Zootech.*, 47, 17-39.
- Delaby L., Peyraud J.L., Vérité R., 1995. Influence du niveau de production laitière et du système d'alimentation sur les rejets azotés du troupeau. *Renc. Rech. Rum.*, 2, 349-353.
- Delaby L., Peyraud J.L., Vérité R., Marquis B., 1996. Effect of protein content in the concentrate and level of nitrogen fertilization on the performance of dairy cows in pastures. *Ann. Zootech.*, 45, 327-341.
- 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. I. 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., Faverdin P., 2000. Vertical distribution of biomass, chemical composition and pepsin-cellulase digestibility in a perennial ryegrass sward: interaction with month of year, regrowth age and time of a day. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 84, 49-68.
- Demarquilly C., 1977. Fertilisation azotée et qualité du fourrage. *Fourrages*, 69, 61-81.
- Demarquilly C., Grenet E., Andrieu J., 1981. Les constituants azotés des fourrages et la prévision de la valeur azotée des fourrages. In : *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*, Demarquilly C. (Ed), INRA Publications, Versailles, France, 129-154.
- Farrugia A., Decau M.L., Vertès F., Delaby L. 1997. En prairie, la balance azotée à l'échelle de la parcelle. *Fourrages*, 151, 281-296.
- Hagemeister H., Kaufmann W., Pfeffer E., 1976. Factors influencing the supply of nitrogen and amino acids to the intestine of dairy cows. In: *Protein Metabolism and Utilization*. Cole D.J.A., Boorman K.N., Buttery P.J., Lewis D., Neal R.J., Swan H. (Eds), Butterworths, London, UK, 425-439.
- Hoden A., Peyraud J.L., Muller A., Delaby L., Faverdin P., 1991. Simplified rotational grazing management of dairy cows: effects of rates of stocking and concentrate. *J. Agric. Sci.*, 116, 417-428.
- Hooda P.S., Moynagh M., Svoboda I.F., Anderson H.A., 1998. A comparative study of nitrate leaching from intensively managed monoculture grass and grass-clover pastures. *J. Agric. Sci.*, 131, 267-275.
- INRA, 1989. Ruminant nutrition: Recommended allowances and feed tables. Jarrige R. (Ed), INRA, John Libbey, London, Paris, France, 389p.
- Jarvis S.C., 1993. Nitrogen cycling and losses from dairy farms. *Soil use Management*, 9, 99-105.
- Journet M., Demarquilly C., 1979. Grazing. In: *Feeding strategy for the high yielding dairy cow*. Broster W.H., Swan H., (Eds), Granada Publishing, London, UK, 295-321.

- Leaver L.D., 1985. Milk production from grazed temperate grassland. *J. Dairy Res.*, 52, 313-344.
- Ledgard S.F., Penno J.W., Sprosen, M.S., 1999. Nitrogen inputs and losses from clover/grass pastures grazed by dairy cows, as affected by nitrogen fertilizer application. *J. Agric. Sci.*, 132, 215-225.
- Loiseau P., Carrere P., Lafarge M., Delpy R., Dublanquet J., 2001. Effect of soil-N and urine-N on nitrate leaching under pure grass, pure clover and mixed grass/clover swards. *Eur. J. Agron.*, 14, 113-121.
- Minson D.J., 1973. Effects of fertilizer nitrogen on digestibility and voluntary intake of *Chloris gayana*, *Digitaria decubens* and *Pennisetum clandestinum*. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husband.*, 13, 153-157.
- Peel S., Matkin E.A., 1984. Herbage yield and animal production from grassland on three commercial dairy farms in the south east England. *Grass Forage Sci.*, 39, 177-185.
- Peyraud J.L., 1993. Comparaison de la digestion du trèfle blanc et des graminées prairiales chez la vache laitière. *Fourrages*, 135, 465-473.
- 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. Technol.*, 72, 235-259.
- Peyraud J.L., Delaby L., 1992. Effet de la réduction de la fertilisation azotée sur la qualité de l'herbe sélectionnée par les vaches laitières. In: *L'extensification en production fourragère*. Association Française pour la Production Fourragère (AFPF) (Ed), *Fourrages*, n° hors série, 128-129.
- Peyraud J.L., Delaby L., 2001. Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows. Response to concentrates in interaction with grazing management and grass quality. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. Garnsworthy P.G., Wiseman J. (Eds), Nottingham University Press, Nottingham, UK, 203-220.
- Peyraud J.L., Vérité R., Delaby L., 1995. Rejets azotés chez la vache laitière : Effet de l'alimentation et du niveau de production des animaux. *Fourrages*, 142, 131-144.
- Peyraud J.L., Astigarraga L., Faverdin P., 1997. Digestion of fresh perennial ryegrass fertilized at two levels of nitrogen by lactating dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 64, 155-171.
- Pflimlin A., Arnaud J.D., Gautier D., Le Gall A., 2003. Les légumineuses fourragères, une voie pour concilier autonomie en protéines et préservation de l'environnement. *Fourrages*, 174, 183-203.
- Réarte D., Peyraud J.L., Poncet, C., 2003. Effet d'un accroissement du ratio sucres : protéines de l'herbe verte sur la valeur alimentaire du fourrage et l'utilisation de l'azote chez la vache laitière. *Renc. Rech. Rum.*, 10, 387.
- Reid R.L., 1966. The response of herbage yield and quality to a wide range of nitrogen application rates. *Proc. 10<sup>th</sup> Int. Grassland Congress*, Helsinki, Finland, 209-213.
- Reid D., 1978. The effect of frequency of defoliation on the yield response of a perennial ryegrass sward to a wide range of nitrogen application. *J. Agric. Sci.*, 90, 447-457.
- Reid R.L., Strachan N.H., 1974. The effects of a wide range of nitrogen rates on some chemical constituents of the herbage from perennial ryegrass swards with and without white clover. *J. Agric. Sci.*, 83, 393-401.
- Ribeiro-Filho H.M.N., Delagarde R., Peyraud J.L., 2003. Inclusion of white clover in strip-grazed perennial ryegrass swards: herbage intake and milk yield of dairy cows at different ages of sward regrowth. *Anim. Sci.*, 77, 499-510.
- Ribeiro-Filho H.M.N., Delagarde R., Peyraud J.L., 2005. Herbage intake and milk yield of dairy cows grazing perennial ryegrass swards or white-clover/perennial rye grass swards at low and medium herbage allowance. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 119, 13-27.
- Scholefield D., Tyson K.C., Garwood E.A., Armstrong A.C., Hawkins J., Stone, A.C., 1993. Nitrate leaching from grazed grassland lysimeters: effects of fertilizer inputs, field drainage, age of sward and patterns of weathers. *J. Soil Sci.*, 44, 601-613.
- Simon J.C., de Montard F.X., Le Corre L., Pepin D., 1989. Rôle agronomique de la prairie dans la gestion du drainage des nitrates vers la nappe phréatique. *Fourrages*, 119, 227-241.
- Soegaard K., Aaes O., 1996. The effect of protein levels in feed supplements on herbage production and animal performance under continuous grazing with dairy cows. In: *Grasslands and land use systems*, Parente G. *et al.* (Eds), 16<sup>th</sup> EGF Meeting, ERSA, Gorizia, Italy, 621-624.
- Steg A., Van Straalen W.M., Hindle V.A., Wensink W.A., Dooper F.M.H., Schils R.L.M., 1994. Rumen degradation and intestinal digestion of grass and clover at two maturity levels during the season in dairy cows. *Grass Forage Sci.*, 49, 378-390.
- Thomas R.J., 1992. The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. *Grass Forage Sci.*, 47, 133-142.
- Thomson D., 1984. The nutritive value of white clover. In: *Forage legumes*. Thomson D.J. (Ed), Occasional Symp. Br. Grassland Soc., British Grassland Society, Hurley, UK, 16, 78-92.
- Valk H., 1994. Effects of partial replacement of herbage by maize silage on N-utilization and milk production of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 241-250.
- Valk H., Kappers I.E., Tamminga S., 1996. *In sacco* degradation characteristics of organic matter, neutral detergent fibre and crude protein of fresh grass fertilized with different amounts of nitrogen. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 63, 63-87.
- Van Vuuren A.M., Meijs, J.A.C. 1987. Effects of herbage composition and supplement feeding on the excretion of nitrogen in dung and urine by grazing dairy cows. In: *Animal manure on grassland and fodder crops: fertilizer or waste?* Van der Meer H.G., Unwin, R.J. van Dijk T.A., Ennik C.C. (Eds), Martinus Nijhoff, Dordrecht, Pays-Bas, 117-125.
- 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., Delaby L., 1998. Conduite alimentaire et rejets azotés chez la vache laitière. Interrelations avec les performances. *Renc. Rech. Rum.*, 5, 185-192.
- Wilkins R.J., Gibb M.J., Huckle C.A., Clements, A.J., 1994. Effect of supplementation on production by spring calving dairy cows grazing swards of differing clover content. *J. Agric. Sci.*, 77, 531-537.
- Wilman D., Wright P.T., 1978. The proportions of cell content, nitrogen, nitrate-nitrogen and water-soluble carbohydrate in three grasses in the early stages of regrowth after defoliation with and without applied nitrogen. *J. Agric. Sci.*, 91, 381-394.

## Résumé

L'objectif de ce texte est d'analyser dans quelle mesure il est possible de réduire l'excrétion de N par l'animal et les quantités de N potentiellement lessivables par réduction des intrants azotés tout en limitant les effets négatifs sur la nutrition de l'animal et les performances laitières par animal et par hectare. Dans une première partie, ce texte rappelle les origines des pertes d'azote par l'animal. Ce sont les quantités d'azote excrétées dans l'urine qui sont les plus variables. Elles varient notamment en fonction de la fertilisation azotée et de l'équilibre de la ration. Au niveau de l'animal, la réduction de la fertilisation azotée réduit fortement l'excrétion urinaire sans affecter fortement la valeur nutritionnelle du fourrage et les performances, du moins tant que la teneur en MAT de l'herbe reste supérieure à 120 g par kg de MS. En deçà de cette valeur, l'ingestion d'herbe et finalement la production laitière sont réduites. L'introduction de trèfle blanc permet de limiter la fertilisation sans affecter les performances voire même en les accroissant mais, du fait de sa forte teneur en protéines, le trèfle accroît l'excrétion urinaire de N. A l'échelle de la parcelle, la réduction de la fertilisation réduit toujours le bilan azoté et les risques de pertes par lessivage car les intrants azotés sont alors toujours réduits dans une bien plus grande proportion que les quantités d'azote exportées par le lait. L'introduction de trèfle permet en général de réduire le bilan N de la parcelle et les risques de fuites de nitrates comparés à une parcelle de graminées fortement fertilisée, à conditions toutefois de ne pas dépasser 30 à 40% de trèfle dans l'association. Au-delà, les quantités d'azote fixées par le trèfle et finalement le lessivage peuvent augmenter. Pour un niveau de fertilisation N donné, l'accroissement du chargement ne réduit que marginalement le bilan N des parcelles. La supplémentation avec des céréales ou de l'ensilage de maïs permet de réduire l'excrétion de N par vache car elle réduit la teneur en N de la ration mais elle peut dégrader les bilans à l'échelle de la parcelle car elle s'accompagne en général d'un accroissement du chargement.

## Abstract

---

### *Intensive grassland management with emphasis on N flows*

This paper deals with the challenge to reduce N excretion and the amount of N able to leach under pasture by adjusting N inputs while limiting adverse effects on animal nutrition and milk production per cow and per hectare. The paper starts by discussing the origin and variation of N flow in dairy cows. N intake is divided into N exported in milk and N excreted in faeces and urine. Variation in N excretion is mainly in urinary N and can be influenced by fertilisation and nutrition management. At the animal level, lowering N fertilisation improves N utilisation and N balance, without greatly affecting the nutritive value of grasses, except when the crude grass protein content falls below 120 g kg<sup>-1</sup> DM that may reduce dry matter intake and consequently animal performance. The negative effects of lowering N fertilisation on animal performance can be compensated by the inclusion of (white) clover, due to its higher intake and digestibility. Because of higher ruminal N losses, white clover may again increase the amount of N excreted despite higher milk yield per cow on mixed swards. At the paddock level, decreasing N fertiliser always reduces N surplus and the risk of nitrate leaching because N input is reduced to a far greater extent than N exported in milk. Replacing high N fertilisation by grass clover mixtures also has the potential to reduce N surplus and nitrate leaching but to avoid high levels of N<sub>2</sub> fixation, the clover content should not exceed 0.3 to 0.4. Increasing stocking rate for a given level of N fertilisation only marginally reduces N surplus per ha. Supplementation with either cereal based concentrates or with maize silage reduces N excretion per cow but because it enables an increased stocking rate it may increase N surplus per ha.

PEYRAUD J.-L., DELABY L., 2008. Maîtrise des flux d'azote dans la gestion des prairies et du pâturage en systèmes laitiers intensifs. *INRA Prod. Anim.*, 21, 167-180.

