

Article original

Incidences phytotechniques et zootechniques d'une réduction ou d'une suppression de la fertilisation azotée sur des prairies pâturées par des vaches laitières

Francisco DIEGUEZ^{a*}, Jean-Luc HORNICK^a,
Vanessa DE BEHR^a, Louis ISTASSE^a, Isabelle DUFRASNE^b

^a Service de Nutrition, Bât. B43, Faculté de Médecine Vétérinaire,
Université de Liège, 4000 Liège, Belgique

^b Station Expérimentale, Bât. B39, Faculté de Médecine Vétérinaire,
Université de Liège, 4000 Liège, Belgique

(Reçu le 10 août 2000 ; accepté le 11 juin 2001)

Abstract — Phytotechnical and zootechnical effects of a nitrogen fertilizer reduction or suppression on pasture grazed by dairy cows. Three levels of intensification were compared for a permanent pasture grazed over 6 consecutive years in a rotational grazing system. The three levels of intensification were as follow: a high nitrogen fertilizer input system with 136 kg N·ha⁻¹ and with 3.35 cows·ha⁻¹ – H-N group –, a system with a moderate fertilizer input in which nitrogen fertilization was reduced by 33% but with the same stocking rate – M-N group – with 91 kg N·ha⁻¹ along with 3.35 cows·ha⁻¹ and a system with no fertilization associated with a reduced stocking rate – 0-N group – with 2.51 cows·ha⁻¹. There were no effects of the treatments on grass characteristics – e.g. post grazing height, percentage of refusals, total nitrogen content, fiber content. The absence of nitrogen fertilization reduced the pre-grazing height and DM yield of the pasture. The clover content was reduced in the first and sixth years in nitrogen fertilized groups. The individual milk yield was not affected by the treatments (15.4 kg·d⁻¹) but the milk yield per hectare was largely affected by the stocking rate. The protein content and cell count were unaffected by the treatments but butter fat content was higher in the 0-N group than in the other two groups (4.10 vs. 3.90%; $P < 0.05$). The average daily liveweight gain was not affected by the treatments (0.23 kg·d⁻¹). The plasma and milk urea contents were significantly higher in fertilized groups than in 0-N group (164 vs. 151 mg N·l⁻¹ in plasma and 194 vs. 175 mg N·l⁻¹ in milk respectively; $P < 0.05$). Daily nitrogen excretion per animal was similar for both treatments but when expressed per ha and year, the excretion was higher in the fertilized groups. Thus, it has appeared that a 33% reduction of nitrogen fertilization with a similar stocking rate allowed to maintain performances either on an individual animal or a per hectare basis. Grazing management with no nitrogen fertilization but with an adjusted stocking rate induced a reduction in performances expressed per hectare but maintained similar individual performances as with high input systems. Furthermore, there were both a higher nitrogen efficiency and a reduction in nitrogen excretion per hectare.

dairy cows / nitrogen fertilization / grazing / milk yield / nitrogen balance

* Correspondance et tirés-à-part
Tél. : (32) 4 366 23 73 ; fax : (32) 4 366 23 70 ; e-mail : isabelle.dufasne@ulg.ac.be

Résumé — L'effet du niveau d'intensification de la conduite du pâturage a été étudié sur des parcelles pâturées par des vaches laitières pendant 6 années consécutives dans un système de pâturage tournant. Les trois traitements comparés ont été un niveau élevé (H-N, 136 kg N·ha⁻¹·an⁻¹, 3,35 vaches·ha⁻¹), un niveau modéré avec une réduction de 33 % de la fertilisation azotée et le même chargement (M-N, 91 kg N·ha⁻¹·an⁻¹, 3,35 vaches·ha⁻¹) et un niveau faible avec un chargement réduit (0-N, 0 kg N·ha⁻¹·an⁻¹ et 2,51 vaches·ha⁻¹). Les traitements n'ont affecté ni la hauteur de l'herbe à la sortie des parcelles, ni le pourcentage de refus, ni la teneur en matière azotée totale et en ADF de l'herbe pâturée, mais les hauteurs de l'herbe à l'entrée des parcelles et la production de MS·ha⁻¹ ont augmenté dans les traitements H-N et M-N. Le pourcentage de trèfle a été réduit pendant la première et la sixième année dans les traitements H-N et M-N. La production de lait individuelle n'a pas été affectée par les traitements (15,4 kg·j⁻¹), mais la production à l'hectare a été fortement influencée par le niveau de chargement. Le taux butyreux a été supérieur dans le lot 0-N (4,10 vs. 3,90 % ; $P < 0,05$), le taux protéique et le nombre de cellules n'ont pas été influencés par les traitements. Le gain quotidien moyen des vaches a été semblable dans les trois traitements (0,23 kg·j⁻¹). Les teneurs en urée plasmatique et dans le lait ont été significativement plus faibles dans le lot 0-N (151 vs. 164 mg N·l⁻¹ dans le plasma et 175 vs. 194 mg N·l⁻¹ dans le lait respectivement ; $P < 0,05$). Les rejets azotés journaliers par vache ont été similaires dans les trois lots. Le bilan azoté de la parcelle a été réduit dans le lot 0-N. En conclusion, dans cet essai, il a été possible de réduire de 33 % la fertilisation azotée tout en maintenant le niveau de production. Dans un système sans fertilisation azotée avec un chargement adapté, des productions individuelles semblables aux systèmes plus intensifs ont été obtenues. L'efficacité de l'utilisation de l'azote a été augmentée et les rejets azotés à l'hectare ont été réduits.

vaches laitières / fertilisation azotée / pâturage / production / bilan azoté

1. INTRODUCTION

En Europe de l'Ouest et en Belgique plus particulièrement, la production de lait reste largement basée sur la production de fourrages. Dans ces conditions, l'herbe pâturée reste le fourrage le moins coûteux. Depuis les années 60, la production laitière a été menée de manière très intensive : l'augmentation conjointe des niveaux de fertilisation azotée et de chargement a permis des accroissements de la production par hectare [9]. Cette augmentation du niveau d'intensification et ses répercussions sur les paramètres phytotechniques et les performances animales ont été largement étudiées [20, 26]. Ces systèmes intensifs, s'ils permettent des performances élevées par hectare, s'accompagnent généralement d'un bilan azoté élevé et d'une efficacité faible de l'azote.

L'instauration des quotas laitiers en 1984, la réforme de la politique agricole commune

en 1992 et les problèmes environnementaux associés aux excès d'azote ont réorienté la gestion de la production laitière ; en Belgique le nombre de vaches laitières par exploitation et le recours aux engrais azotés ont diminué [32]. Les systèmes n'employant pas d'engrais azoté ont été étudiés dans le cadre de l'extensification, mais il n'y a pas eu beaucoup d'études s'intéressant à des systèmes désintensifiés comme les définissent Grenet et al. [21].

Dans le contexte actuel d'une politique plus soucieuse de l'environnement, il est intéressant de diminuer les quantités d'engrais azoté appliquées [41]. La diminution de la fumure azotée est habituellement conjointe à une diminution du chargement. Dans une optique de désintensification, il reste néanmoins important de garder une production élevée à l'hectare afin de maintenir la rentabilité économique de l'exploitation : la production étant le résultat du chargement et de la production individuelle

des animaux, il convient de ne pas diminuer trop le chargement et/ou les performances individuelles. Or, la réduction de la fumure azotée sans modification du chargement et ses effets sur les performances animales ont été peu étudiés. La capacité des vaches au pâturage d'adapter leur comportement et le niveau d'ingestion à la quantité d'herbe disponible pourrait jouer un rôle modérateur sur une diminution de la quantité d'herbe offerte ; en effet les vaches peuvent pâturer plus ras par exemple en cas de disponibilité en herbe réduite de façon à maintenir un niveau d'ingestion adéquat. Dans une optique extensive, le recours aux engrais azotés peut être supprimé.

Le but de cet essai est d'étudier les effets d'une réduction de la fertilisation azotée sans réduction du chargement ou d'une suppression de la fertilisation azotée avec un chargement adapté sur les paramètres phytotechniques, les performances animales et le bilan azoté d'une prairie pâturée par des vaches laitières.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Principes et traitements expérimentaux

Trois niveaux de fertilisation azotée ont été comparés pendant six années consécutives (93–98). Les niveaux annuels de fertilisation ont été de 136 kg N (40 kg N·ha⁻¹ après chaque passage) dans le traitement H-N, 91 kg N (27 kg N·ha⁻¹ après chaque passage) dans le lot M-N et 0 kg N dans le traitement 0-N. Chaque année, les mêmes parcelles ont été attribuées aux mêmes traitements. Le chargement a été identique dans les parcelles recevant de l'engrais azoté. Dans la parcelle ne recevant aucun engrais azoté, le chargement a été diminué à priori de 25 %. Les parcelles affectées aux lots H-N et M-N ont été pâturées à un même âge de repousse lors des différents cycles de pâturage tandis que le lot 0-N était conduit indépendamment.

Chaque année, la comparaison entre traitements était précédée d'une période pré-expérimentale d'une durée moyenne de 10 jours, commençant à la mise à l'herbe (entre le 24 avril et 5 mai) au cours de laquelle les animaux pâturaient ensemble les 2 premières parcelles de chaque traitement. La période expérimentale portait sur 23 semaines en moyenne (du 4–15 mai au 9–31 octobre).

2.2. Prairies et conduite du pâturage

L'essai a eu lieu sur prairie permanente située dans la région liégeoise à une altitude de 150 m. La superficie totale a été de 2,62 hectares pour les traitements avec fertilisation azotée et 3,50 ha pour le traitement 0-N. Chaque traitement était composé de 6 parcelles de 43,7 ares en moyenne dans les lots H-N et M-N et de 58,3 ares dans le lot 0-N. Le système de pâturage tournant a été appliqué.

La flore de la prairie au début de l'essai était constituée de 74 % de graminées, 15 % de trèfle blanc et de 11 % de plantes diverses. Chaque année en avril, les prairies ont reçu une fertilisation de fond constituée de 54 unités de P₂O₅ et 54 unités de K₂O. Les applications d'engrais azotés sur les parcelles des lots H-N et M-N ont commencé au deuxième passage des animaux et ont été effectuées après chaque sortie des animaux, sauf lors des périodes de sécheresse prolongée.

Les lots H-N et M-N étaient conduits de manière similaire tandis que le lot 0-N était conduit de manière indépendante. La sortie des animaux des parcelles des traitements H-N et M-N était décidée quand la production laitière des 3 derniers jours du lot H-N chutait à 90 % de la production maximale observée sur la parcelle. Le même critère était appliqué par les animaux du lot 0-N.

Des génisses de deux ans ont été ajoutées en début de saison pendant la première et la dernière année afin de valoriser les

excédents d'herbe. Un taureau a accompagné les vaches afin de les féconder. Une fauche de refus était effectuée une fois sur chaque parcelle après le premier ou le deuxième passage des animaux.

2.3. Animaux

Le nombre d'animaux total par année était de 27 vaches pendant les trois premières années et de 24 vaches pendant les trois dernières années. La majorité des vaches était Pie Noire Holstein (50 %). Il y avait également des Pie Rouge (25 %) et des croisées Pie Noire et Blanc Bleu Belge (25 %). Le pourcentage de primipares était de 35 %. Chaque année, les animaux ont été répartis en 3 lots les plus homogènes possible sur la base de la race, du numéro de lactation, de la date de vêlage, de la production de lait de la lactation antérieure et de la production à la mise à l'herbe.

Au début de l'essai, les vaches pesaient en moyenne 536 kg et avaient vêlé depuis 59 jours. Elles produisaient $21,2 \text{ kg}\cdot\text{j}^{-1}$ de lait. L'aliment complémentaire était constitué de pulpes séchées (50 %) et d'orge aplatie (50 %). Il était distribué pendant la traite à l'aide d'un distributeur manuel. La complémentation individuelle a été fixée à raison de 1 kg par tranche de 3 kg de lait pour les productions supérieures à $12 \text{ kg}\cdot\text{j}^{-1}$. Elle a été augmentée de $0,6 \text{ kg}\cdot\text{va}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ tous les mois à partir du quatrième mois pour tous les animaux afin de soutenir la production laitière. Des pierres de sel (NaCl) étaient mises à la disposition des animaux.

2.4. Mesures

2.4.1. Prairies

La production de matière sèche à l'hectare de la prairie a été mesurée seulement lors de la première année dans 3 enclos soustraits au pâturage, comportant chacun les 3 niveaux de fertilisation azotée. Les enclos étaient subdivisés en 2 bandes de 5 m^2

chacune. Ces bandes ont été coupées en alternance toutes les 2 semaines à l'aide d'une tondeuse à gazon, à une hauteur de 4 cm.

Les hauteurs d'herbe ont été mesurées lors de chaque entrée et sortie des parcelles à l'aide d'un herbomètre à plateau en aluminium de 30 cm de côté exerçant une pression de $2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ et coulissant sur un axe gradué : 100 mesures ont été effectuées par hectare. Les pourcentages de refus ont été calculés à la sortie des animaux, en considérant la proportion des mesures qui tombaient sur des refus sur le total des mesures effectuées. Les refus étaient appréciés visuellement.

La composition chimique de l'herbe a été déterminée à partir d'échantillons prélevés toutes les deux semaines aux ciseaux à une hauteur de 1 cm. On prélevait un échantillon qui représentait 10 à 15 poignées prises au hasard.

La composition de la flore a été estimée la première et la dernière année par une méthode adaptée de la méthode des fréquences [1]. Les observations n'ont pas été réalisées par la même personne entre l'année 1 et l'année 6.

Les journées de pâturage des animaux hors essai ajoutés au lot pour valoriser les parcelles ont été comptabilisées.

La pluviométrie et les températures moyennes quotidiennes ont été relevées à partir des stations météorologiques dépendant de l'Institut Royal Météorologique implantées non loin des parcelles.

2.4.2. Animaux

Les mesures zootechniques comprenaient la pesée journalière des productions laitières lors de la traite du matin (06.00) et du soir (15.00) à l'aide de compteurs à lait. Les teneurs en matières grasses et protéiques, en urée et le nombre de cellules dans le lait ont été déterminés mensuellement à partir d'un échantillon correspondant au lait d'une journée. Les animaux ont été pesés tous les 28 jours. Les gains par hectare ont été

obtenus en additionnant les gains de poids vif des vaches laitières en expérimentation et les animaux ajoutés. Un échantillon de sang a été prélevé lors de chaque pesée. La teneur en urée plasmatique a été déterminée à partir des plasmas conservés au congélateur par la méthode de la diacétylmonoxime [23]. Les consommations de complément ont été répertoriées. Les doses distribuées ont été pesées deux fois par mois dans chacun des deux distributeurs.

2.5. Analyses statistiques et calculs du bilan azoté

Les résultats ont été traités par la procédure "General Linear Model" à l'aide du logiciel MINITAB [33]. Le modèle statistique a été : $Y_{ij} = T_i + A_j + T_i \times A_j + e_{ij}$ avec T : effet Traitement (ddl = 2), A : effet Année (ddl = 5) et e : résiduelle. Les résultats de production à l'ha ont été comparés par analyse de variance à un critère en considérant le traitement comme facteur de variation. Les variables qui ont présenté des différences entre les traitements ont été comparées par la méthode des contrastes orthogonaux [6] en vue d'analyser statistiquement l'effet de l'absence ou de la présence de fertilisation azotée associée à la réduction du chargement (0-N vs. H-N et M-N) et l'effet du niveau de fertilisation azotée avec le même chargement (H-N vs. M-N).

Pour le calcul du bilan azoté, l'excrétion d'azote journalière a été calculée en utilisant la formule proposée par De Brabander et al. [7] : excrétion totale d'azote ($\text{g N} \cdot \text{j}^{-1}$) = $43,1 + 0,36 \times \text{urée plasmatique (mg N} \cdot \text{l}^{-1}) + 6,0 \times \text{production laitière (kg} \cdot \text{j}^{-1}$; moyenne hebdomadaire des deux traites). L'excrétion d'azote à l'hectare a été calculée en fonction de l'excrétion journalière et du nombre de journées de pâturage réalisées par hectare.

Les apports d'azote par la pluie ont été estimés à $10 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ selon les résultats publiés par Decau et al. [8] et Simpson

et Stobbs [39]. La fixation d'azote par les légumineuses a été calculée en fonction de la formule proposée par Farruggia et al. [15] : fixation d'azote lég. = biomasse produite par la prairie ($\text{kg MS} \cdot \text{ha}^{-1}$) \times TB% \times %NTB \times %fixation, où TB% : pourcentage du trèfle ; %NTB : teneur en azote du trèfle (0,035) ; %fixation : fixation moyenne d'azote du trèfle (0,9).

Les exportations d'azote par le lait ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) ont été estimées par le produit entre la production laitière et sa teneur en azote [15]. L'azote fixé dans la viande a été calculé en fonction du gain de poids et sa teneur en azote (0,024) comme l'ont proposé Farruggia et al. [15]. L'azote apporté par les aliments de complément a été calculé à partir des quantités distribuées et leur teneur en azote [27] pendant la période de pâturage. Il s'agissait d'un mélange de pulpes séchées de betteraves sucrières et d'orge aplatie dans une proportion de 50/50 distribué à chaque traite, soit d'ensilage de maïs distribué pendant les périodes de déficience d'herbe au mois de juillet pendant les trois premières années.

L'efficacité de l'utilisation d'azote du système a été calculée selon la formule proposée par Leach et Bax [31], soit : efficacité (%) = (N viande + N lait) / entrées, où les entrées considérées ont été la fertilisation azotée, l'apport d'azote par la pluie, l'azote des aliments complémentaires et la fixation biologique par le trèfle.

3. RÉSULTATS

3.1. Conditions climatiques et déroulement du pâturage

Au cours des deux premières années, le mois de mai a été doux (+2 °C par rapport à la moyenne des 31 dernières années) et avec un bilan hydrique propice au démarrage des essais (Tab. I). Ensuite une période de déficit hydrique s'étalant sur les mois de juin, juillet et août a été observée (-35, -28 et -23 mm par rapport à la moyenne). Pendant

Tableau I. Température moyenne de l'air et pluviométrie mensuelle observées au cours des 6 années d'essai, comparaison avec la moyenne de 31 années (1962–1992).

		Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.
Température (°C)	1993	15,5	17,1	17,8	16,4	14,1	9,8
	1994	13,3	16,8	22,3	18,9	14,4	10,6
	1995	14,1	15,5	21,5	20,6	14,9	14,4
	1996	11,5	16,8	17,5	18,4	12,7	11,2
	1997	13,4	16,6	17,6	21,3	15,1	10,3
	1998	15,5	17,3	17,2	18,1	15,7	9,8
Moyenne	1962–1992	12,6	15,8	17,5	17,2	14,7	10,5
Précipitation (mm)	1993	45	37	86	46	157	92
	1994	56	56	34	75	95	54
	1995	47	82	31	26	87	90
	1996	54	30	51	164	36	62
	1997	113	111	81	39	40	58
	1998	45	103	45	61	190	144
Moyenne	1962–1992	72	81	88	84	74	72

la troisième année, les conditions ont été propices à la bonne croissance de l'herbe au début de la saison de pâturage, mais aux mois de juillet et d'août le temps a été sec et chaud (+5 °C par rapport à la moyenne). Lors de la quatrième année, les températures et la pluviosité ont été plus faibles par rapport à la moyenne (−1,2 °C, −32 mm) de la mise à l'herbe jusqu'au mois de juillet. Au mois d'août, les précipitations et la température ont été plus élevées (+80 mm, −1,2 °C) et en fin de saison, il a fait sec et froid (−24 mm et −1 °C par rapport à la moyenne). Au démarrage de l'essai à la cinquième année, le temps a été chaud et humide jusqu'au mois de juin (+1 °C et +35 mm). À partir du mois de juillet, les températures ont été plus élevées par rapport à la moyenne (+1 °C) mais un déficit hydrique a persisté jusqu'à la fin de l'essai (−25 mm). Les conditions climatiques de la dernière année ont été sèches et chaudes en début de saison (−28 mm et +3 °C). À la fin de la saison les précipitations ont été très abondantes (+72 mm), rendant le pâturage difficile.

Le temps de séjour moyen par parcelle a été de 6,5 jours dans les lots H-N et M-N et de 7,2 jours dans le lot 0-N (Tab. II).

3.2. Caractéristiques phytotechniques

La production d'herbe de la première année a été de 9 643, 11 454 et 11 728 kg MS·ha⁻¹ respectivement pour les traitements 0-N, M-N et H-N. La composition botanique relevée dans les différents traitements est indiquée sur le tableau III. À la fin de la première année, le pourcentage de trèfle blanc a été plus élevé dans le traitement sans apport de fertilisation azotée tandis que le pourcentage de graminées était moins élevé. Il n'est pas possible de comparer les compositions botaniques relevées lors de la première et de la sixième année car elles n'ont pas été réalisées par la même personne. En sixième année, la proportion de trèfle était plus importante dans le traitement 0-N que dans les traitements M-N et H-N. Il y a eu par contre plus de graminées dans le lot H-N que dans les deux autres traitements. Les

Tableau II. Fertilisation azotée, chargement et complément dans des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements		
	H-N	M-N	0-N
Fertilisation azotée (kg N·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	136	91	0
Chargement (vaches·ha ⁻¹)	3,35	3,35	2,51
Poids vif initial (kg)	538 ± 65	535 ± 74	536 ± 69
Jours de lactation	59 ± 8	60 ± 8	59 ± 11
Production lait initiale (kg·j ⁻¹)	22,0 ± 2,4	21,8 ± 2,1	22,4 ± 2,5
Urée lait initiale (mg N·l ⁻¹)	103 ± 37	111 ± 44	104 ± 41
Séjour par parcelle (j)	6,5	6,5	7,2
Cons. complément (kg MS par vache)	304	307	303
Cons. ens. maïs (kg MS par vache)	127	127	127

Les valeurs correspondent à la moyenne ± écart type.

Tableau III. Composition botanique des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements		
	H-N	M-N	0-N
Année 1 :			
– Légumineuses	9	12	21
– Graminées	78	78	68
– Diverses	13	10	11
Année 6 :			
– Légumineuses	7	12	14
– Graminées	74	69	61
– Diverses	19	19	25

pourcentages de plantes diverses ont été identiques dans les trois traitements comme c'était déjà le cas en première année.

Les résultats des mesures phytotechniques et de composition chimique de l'herbe sont présentés sur le tableau IV. Les hauteurs d'herbe à l'entrée des parcelles ont été plus élevées en présence de fertilisation azotée (11,6 vs. 10,6 cm ; $P < 0,05$) et quand la fertilisation était élevée (11,9 vs. 11,2 cm ; $P > 0,05$).

Les hauteurs à la sortie des parcelles n'ont pas été significativement différentes entre les traitements, les hauteurs dans les parcelles 0-N étant intermédiaires à celles des autres traitements. Les proportions de refus ont été légèrement supérieures dans les traitements H-N et 0-N par rapport au M-N sans être significativement différentes (10,0 vs. 9,2 %).

La teneur en matière sèche de l'herbe (Tab. IV) n'a pas été affectée significativement par les traitements (17,1, 17,4 et 17,5 % MS, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement). Il n'y a pas eu de différences entre les traitements pour les teneurs en matière azotée totale (201,8, 199,8 et 202,0 g·kg⁻¹ MS, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement), en azote non protéique (22,9, 22,7 et 21,3 % N total, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement), en azote soluble (32,5, 33,1 et 31,7 % N total, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement), en azote protéique soluble (9,6, 10,5 et 10,5 % N total, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement) et en ammoniacque (2,1, 2,2 et 2,3 % N total, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement). Les teneurs en nitrates ont été plus élevées quand la fertilisation azotée a été utilisée (9,0 vs. 7,5 % N total ; $P < 0,05$), mais il n'y a pas eu de

Tableau IV. Hauteur d'herbe, proportion de refus dans la prairie et composition chimique de l'herbe des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements			
	H-N	M-N	0-N	Syx
Hauteur d'herbe (cm) :				
– Entrée	11,9 a	11,2 ab	10,6 b	3,3
– Sortie	4,3	4,1	4,2	0,9
Refus (%)	10,0	9,2	10,0	5,3
MS (%)	17,1	17,4	17,5	4,3
Composition de la MS :				
Cendres (g·kg ⁻¹ MS)	105,6 a	110,1 ab	114,1 b	1,6
MAT (g·kg ⁻¹ MS)	201,8	199,8	202,0	3,1
N non protéique (% N total)	22,9	22,7	21,3	3,5
N soluble (% N total)	32,5	33,1	31,7	4,9
N prot. soluble (% N total)	9,6	10,5	10,5	2,7
NH ₃ (% N total)	2,1	2,2	2,3	0,5
NO ₃ (% N total)	9,2 a	8,7 ab	7,5 b	2,4
ENN (g·kg ⁻¹ MS)	482,0	484,9	484,6	3,7
ADF (g·kg ⁻¹ MS)	218,6	218,4	214,4	1,7
K (g·kg ⁻¹ MS)	33,10	33,02	32,20	5,4
P (g·kg ⁻¹ MS)	3,80	3,89	3,96	0,7
Na (g·kg ⁻¹ MS)	0,98 a	0,88 ab	0,80 b	0,3
Mg (g·kg ⁻¹ MS)	2,23	2,22	2,27	0,3
Ca (g·kg ⁻¹ MS)	6,54 a	7,41 a	8,79 b	1,9

Les moyennes suivies de lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5 %.

différence entre les lots H-N et M-N. Des différences inter annuelles significatives ($P < 0,05$) ont été constatées, mais aucune interaction année \times traitement n'a été observée.

Les teneurs en minéraux (Tab. IV) ont varié d'une année à l'autre et il n'y a pas eu d'interaction entre les effets année et traitement. Les teneurs en phosphore (3,80, 3,89 et 3,96 g·kg⁻¹ MS, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement), potassium (33,10, 33,02 et 32,20 g·kg⁻¹ MS, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement) et magnésium (2,23, 2,22 et 2,27 g·kg⁻¹ MS, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement) n'ont pas différé entre les systèmes. Les teneurs en sodium ont été significativement plus élevées quand la fertilisation azotée était appliquée (0,93 vs. 0,80 g·kg⁻¹ MS pour les

traitements azotés (H-N, M-N) et 0-N respectivement ; $P < 0,05$). Les teneurs en calcium ont été plus faibles en présence de fertilisation azotée (6,98 vs. 8,79 g·kg⁻¹ MS, traitements azotés (H-N, M-N) et 0-N respectivement ; $P < 0,05$). Lorsque la quantité d'engrais azoté était élevée, les teneurs en calcium étaient plus faibles (6,54 vs. 7,51 g·kg⁻¹ MS dans les traitements H-N et M-N respectivement ; $P < 0,05$).

3.3. Performances zootechniques

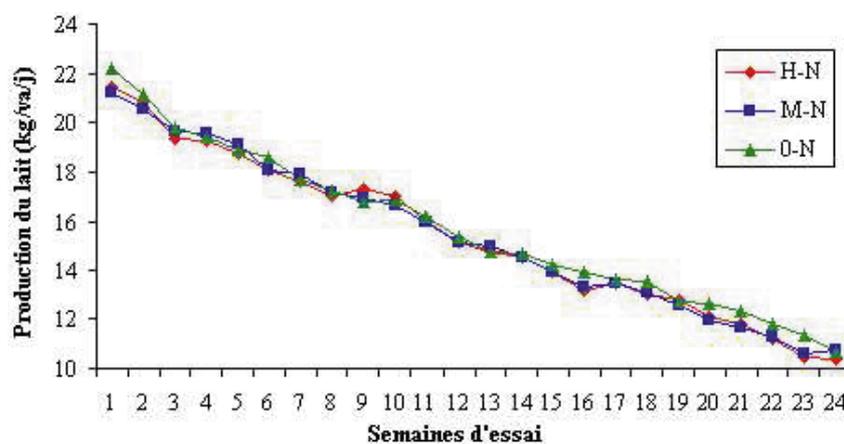
3.3.1. Production laitière et composition du lait

Ni la production journalière individuelle des vaches (15,4 kg par vache par jour ; Tab. V), ni son évolution au cours de la

Tableau V. Production laitière individuelle, composition du lait et urée plasmatique des vaches pâturant dans des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements			
	H-N	M-N	0-N	Syx
Production lait (kg·va ⁻¹ ·j ⁻¹)	15,4	15,4	15,4	4,6
Taux butyreux (g·kg ⁻¹)	39,1 a	39,0 a	41,1 b	6,7
Taux protéique (g·kg ⁻¹)	33,2	33,3	33,6	3,9
Cellules (milliers·ml ⁻¹)	194	208	156	341
Urée du lait (mg N·l ⁻¹)	198 a	189 ab	175 b	74
Urée plasma (mg N·l ⁻¹)	166 a	162 ab	151 b	75
Excrétion d'azote (g N·j ⁻¹)	208 a	203 ab	200 b	27
GQM (kg·j ⁻¹)	0,22	0,23	0,24	0,66

Les moyennes suivies de lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5 %.

**Figure 1.** Évolution de la production laitière individuelle journalière moyenne au cours des six années.

saison de pâturage (Fig. 1) n'ont été affectées par les traitements. Par contre, la production par hectare a été supérieure quand le niveau d'intensification était plus élevé (8655 vs. 6612 kg·ha⁻¹ ; $P < 0,05$, Tab. VI). La réduction de la fumure azotée n'a pas eu d'effet significatif sur la production de lait à l'hectare. La production de lait autonome, correspondant au lait produit après déduction du lait produit grâce à l'énergie apportée

par les aliments complémentaires [9] a été plus élevée dans les lots avec fumure azotée sans être significativement différente de celle du lot 0-N.

La teneur en protéines du lait n'a pas été influencée par les traitements (3,33 %). La teneur en matières grasses du lait a été supérieure dans le lot 0-N (4,11 vs. 3,91 % ; $P < 0,05$), mais n'a pas été influencée par la

Tableau VI. Bilan annuel par hectare de pâturage des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements			
	H-N	M-N	0-N	Syx
Production lait (kg)	8640 a	8669 a	6612 b	505
Production lait 4 % (kg)	8430 a	8434 a	6783 b	425
Prod. lait 4 % autonome (kg)	5898	5878	4897	1060
Mat. grasse (kg)	317 a	323 a	255 b	17
Mat. protéique (kg)	287 a	288 a	222 b	15
Gain de poids (kg)	126	133	106	79
Complément (kg MS)	1018	1029	762	323
UFL complément (ha)	1089	1099	811	444
Journées de pâturage :				
– vaches laitières	562 a	562 a	423 b	12
– total	584 a	584 a	473 b	32
– animaux ajoutés (%)	3,6 a	3,6 a	10,3 b	4,1
Excrétion d'azote (kg)	117 a	114 a	85 b	5

Les moyennes suivies de lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5 %.

quantité d'engrais azoté. Les lots avec fertilisation azotée ont présenté une production de matière grasse et protéique par hectare supérieure au lot 0-N (320 vs. 255 kg de matière grasse par hectare et 288 vs. 222 kg de matière protéique par hectare ; $P < 0,05$). La teneur en cellules dans le lait n'a pas été significativement différente entre lots, malgré une tendance à des teneurs moindres dans le lot 0-N (194, 208 et 156 milliers·ml⁻¹ pour les lots H-N, M-N et 0-N).

Le gain quotidien moyen des vaches n'a pas été influencé par les traitements et a été en moyenne de 0,23 kg·j⁻¹.

Dans les parcelles du traitement 0-N, chaque année il a fallu ajouter plus d'animaux supplémentaires dans les périodes d'excès d'herbe par rapport aux 2 autres lots et le nombre d'animaux ajoutés ont varié d'une année à l'autre (10,3 vs. 3,6 %, traitements 0-N vs. M-N et H-N ; $P < 0,05$). Cependant le nombre de journées de pâturage a été plus élevé dans les lots H-N et M-N que dans le lot 0-N (584 vs. 473 j·ha⁻¹ respectivement ; $P < 0,05$).

3.3.2. Teneurs en urée plasmatique, urée du lait et excrétion azotée

Les teneurs en urée dans le lait et dans le plasma ont été significativement plus faibles dans le lot 0-N que dans les deux autres lots (175 vs. 194 mg N dans le lait et 151 vs. 164 mg N·l⁻¹ dans le plasma ; $P < 0,05$). Des corrélations ont été calculées entre les teneurs en urée plasmatique et en urée du lait, le coefficient de détermination a été de 74 % ($P < 0,05$). L'excrétion journalière totale d'azote par vache (Tab. V) des lots H-N et M-N a présenté des valeurs supérieures à celles du lot 0-N (206 vs. 200 g N·j⁻¹ pour les traitements H-N et M-N et 0-N respectivement ; $P < 0,05$). De même, l'excrétion d'azote à l'hectare (Tab. VI) a été supérieure dans les lots avec fertilisation azotée par rapport au lot 0-N (116 vs. 85 kg N·ha⁻¹·an⁻¹, traitements H-N et M-N vs. 0-N ; $P < 0,05$). Il n'y pas eu de différence significative entre les lots H-N et M-N en ce qui concerne les teneurs en urée et les rejets azotés.

3.4. Bilan azoté

Le tableau VII donne le bilan azoté des systèmes de pâturage. Le bilan a été positif dans les trois lots, avec des valeurs de 85, 177 et 208 kg N·ha⁻¹·an⁻¹ respectivement pour les lots 0-N, M-N et H-N. L'efficacité calculée pour les trois lots a été respectivement de 31, 21 et 18 % pour les lots 0-N, M-N et H-N.

4. DISCUSSION

4.1. Aspects végétaux

La production de matière sèche lors de la première année ainsi que la hauteur d'herbe à l'entrée des parcelles ont été plus élevées dans le traitement H-N. Ces résultats sont en accord avec ceux publiés par Delaby et Peyraud [9]. La réponse de la production d'herbe à la fertilisation azotée a diminué quand le niveau de fumure a augmenté en année 1 : elle a été de 21 kg MS·kg⁻¹ N entre les traitements 0-N et M-N et de 6,5 kg MS·kg⁻¹ N entre les deux traitements M-N et H-N. Selon Holmes [25] et Prins [36] des réponses de 15 à 7,5 kg MS·kg⁻¹ N peuvent respectivement être obtenues pour des applications de fertilisation azotée de 200 à 400 kg·ha⁻¹. Pour des niveaux plus faibles de fertilisation azotée (80 kg N·ha⁻¹), Frame [17] a rapporté des réponses plus grandes de l'ordre de 20 kg MS·kg⁻¹ N appliqué.

Les hauteurs résiduelles relevées après le passage des animaux ont été légèrement inférieures à celles rapportées par Delaby et Peyraud [9] et Hoden et al. [24]. Ces derniers auteurs ont constaté qu'une hauteur d'herbe résiduelle de 5–6 cm n'est pas limitante pour la production laitière individuelle et qu'à cette intensité de pâturage la production de lait à l'hectare peut être augmentée avec un chargement plus élevé. Une diminution non significative de la hauteur de l'herbe a été constatée dans le traitement M-N par rapport au H-N aussi bien à l'entrée

Tableau VII. Bilan azoté en kg N·ha⁻¹·an⁻¹ des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements		
	H-N	M-N	0-N
Pluie	10	10	10
Fertilisation appliquée	136	91	0
Fixation légumineuses	30	43	53
Azote alimentaire	79	80	60
Entrées	255	224	123
Azote du lait	44	44	35
Azote de la viande	3	3	3
Sorties	47	47	38
Bilan ¹	208	177	85
Efficacité (%) ²	18	21	31

¹ Bilan = entrées – sorties.

² Efficacité = (N viande + N lait) / entrées.

qu'à la sortie des parcelles. Les vaches du lot M-N ont donc adapté la hauteur de pâturage afin de maintenir une ingestion d'herbe suffisante.

La diminution de la proportion de trèfle dans des prairies recevant de la fertilisation azotée est couramment décrite dans la littérature [19] et est attribuée à une meilleure utilisation de l'azote minéral par les graminées, avec pour conséquence une plus forte compétition pour la lumière entre graminées et légumineuses [17, 25].

La teneur en matière sèche de l'herbe n'a pas été affectée par les traitements. Cette observation est opposée aux résultats de Demarquilly [12] et Delaby et Peyraud [9] où la fertilisation azotée a diminué la teneur en matière sèche de l'herbe.

Dans le présent essai on n'a pas constaté de différences significatives entre traitements pour les teneurs en MAT. Habituellement, il est constaté que la fertilisation azotée augmente la teneur en matières azotées totales de l'herbe des prairies mixtes [12, 35]. Dufrasne et al. [14] avaient également constaté des teneurs en MAT similaires lorsque les quantités d'engrais azoté étaient augmentées dans des prairies permanentes

de composition floristique similaire à celle étudiée dans cet essai. Il est probable que de l'azote minéral ait été fourni par le sol aux plantes. Le sol des prairies permanentes contient, en effet, plus de 95 % d'azote dans la matière organique [42] et cet azote est susceptible d'être minéralisé. La réduction de la fertilisation dans le lot M-N a donc eu des effets limités sur les teneurs en MAT. Dans le cas de cet essai, l'azote minéral mobilisable a été utilisé et a permis d'offrir aux animaux une herbe de même qualité dans les différents lots. Dans le lot M-N, c'est probablement l'azote minéral apporté par le sol qui a gommé les différences avec le lot H-N. Dans le lot 0-N, l'augmentation du trèfle a aussi contribué à obtenir des teneurs en MAT aussi élevées que dans les autres lots. Delaby et Peyraud [9] ont également rapporté que l'absence de fertilisation permet au trèfle blanc de se développer et d'offrir aux animaux une herbe de qualité voisine de celle des prairies fertilisées. L'effet de l'accroissement de la teneur en nitrates avec la fertilisation azotée a déjà été décrit par plusieurs auteurs [2, 12, 26].

La diminution de la teneur en calcium observée avec l'augmentation de la fertilisation azotée est également rapportée par Coombe et Hood [5] et Hemingway [22]. Les teneurs en potassium et phosphore de l'herbe sont comprises dans les fourchettes des valeurs citées par Hemingway [22]. Par contre, ce dernier rapporte que la teneur en magnésium augmente avec la fertilisation, citant des concentrations de l'ordre de 1,50 à 1,79 g·kg⁻¹ MS. Les teneurs en magnésium plus élevées dans le présent essai que celles citées par Hemingway [22] peuvent être associées à la présence de trèfle blanc dans les parcelles. C'est dans ce contexte que de manière logique les teneurs en magnésium ont été aussi élevées dans le lot 0-N que dans les autres lots en raison de la plus forte proportion de trèfle blanc, espèce plus riche en magnésium que la plupart des graminées. La teneur en sodium a été significativement plus faible dans le lot 0-N. Cette

diminution a été reliée à une plus grande consommation de sel à partir des pierres à lécher dont disposaient les animaux en prairie. L'augmentation des teneurs en sodium dans des prairies composées de trèfle et graminées est rapportée par Reid et Strachan [37].

4.2. Aspects animaux

4.2.1. Production laitière et composition du lait

La production journalière individuelle des vaches n'a pas été affectée par les traitements. Dans le lot M-N, les vaches ont adapté leur hauteur de pâturage, en broutant l'herbe plus ras. Dans un essai similaire avec des vaches allaitantes pâturant en continu, la densité du gazon a été diminuée avec l'augmentation de la fertilisation après quelques années. Une telle diminution n'a pas été constatée visuellement, mais il est probable que le pâturage plus ras des animaux ait entraîné une augmentation de la densité du gazon. Les vaches ont donc pâturé plus ras une herbe probablement plus dense. Il en est résulté que la quantité d'herbe ingérée par les vaches du lot M-N a été semblable à celle ingérée par les vaches H-N, la qualité de cette herbe étant identique, les productions de lait ont été semblables. Dans le lot 0-N, les productions individuelles ont été équivalentes à celles des deux autres lots. La hauteur d'herbe à l'entrée a été plus faible, la hauteur à la sortie a été identique et la surface par animal était plus grande. Dans ces conditions il est à nouveau vraisemblable que les ingestions ont été identiques à celles des autres lots. Que ce soit dans le lot M-N ou 0-N, on constate une grande adaptabilité du pâturage tant au niveau des interactions sol-herbe qu'au niveau des interactions herbe-animal. On observe finalement peu de différences dans les productions de la prairie ou des animaux car il y a eu minéralisation de l'azote du sol, modification de la flore et adaptation des quantités d'herbe ingérée par les

animaux. Finalement, en ce qui concerne les lots avec fumure azotée, on peut considérer que l'apport de 40 kg N par passage représente un gaspillage et que 27 kg suffisent à obtenir des productions tout aussi élevées.

La production de lait à l'hectare a été inférieure dans le lot sans fertilisation azotée en raison de la réduction du chargement. Ces résultats sont semblables à ceux publiés par Delaby et Peyraud [9] qui n'ont pas observé des différences de production individuelle mais une réduction de la production à l'hectare en systèmes extensifs de pâturage. Béranger et Micol [3] citent des réductions de 10 % de la production individuelle et une augmentation de 20 % de la production à l'hectare avec l'augmentation d'une vache à l'hectare (entre 2 et 4 vaches par hectare). La production du lait autonome 4 % n'a pas présenté de différence significative entre les lots H-N et M-N mais le lait autonome 4 % des lots avec fertilisation azotée a été supérieur de 990 kg·ha⁻¹ par rapport au lot 0-N. Delaby et Peyraud [9] ont également rapporté une augmentation de la production du lait autonome lorsque le niveau d'intensification était augmenté. La réponse à la fertilisation azotée a été de 22,6 kg lait·kg⁻¹ N entre les traitements 0-N et M-N et de -0,6 kg lait·kg⁻¹ N entre M-N et H-N. Delaby et Peyraud [9] ont calculé à partir d'une synthèse bibliographique des réponses moyennes de 14,1 kg lait·kg⁻¹ N appliqué avec une production moyenne de 15,8 kg de lait·j⁻¹. Une augmentation de la fertilisation azotée n'a pas permis dans cet essai d'augmenter la production de lait car elle ne s'est pas soldée par une augmentation de la production individuelle.

La teneur en protéine du lait n'a pas été influencée par les traitements, ce qui est en accord avec les observations de Fiorelli [16] et Coombe et Hood [5]. Dans le présent essai, la teneur en matière grasse du lait a été supérieure dans le lot 0-N. Delaby et Peyraud [9] ont observé également une tendance à l'augmentation des matières grasses avec la réduction de la fertilisation azotée.

Le gain moyen quotidien n'a pas été affecté par les traitements. Ce résultat est en accord avec celui publié par Delaby et Peyraud [9] qui ont obtenu des gains de poids comparables et n'ont pas observé d'effets du niveau de la fertilisation azotée sur le poids vif. Gordon [20] en travaillant avec de hauts niveaux de fertilisation azotée (400 et 700 kg N·ha⁻¹) n'a pas observé de différences de changement de poids entre niveaux de fertilisation azotée mais bien entre différents niveaux de chargement. King et Stockdale [30] ont observé qu'avec une augmentation du chargement d'une vache laitière à l'hectare, le poids au tarissement est réduit de 22 kg par vache.

Les jours de pâturage pour chaque kilo d'azote appliqué entre les traitements M-N et 0-N ont été augmentés de 1,22 jours. Delaby et Peyraud [9] ont obtenu une réponse similaire. Ces auteurs rapportent à partir d'une revue bibliographique qu'en dessous d'une fertilisation annuelle de 450 kg N·ha⁻¹, la relation entre la fertilisation azotée et les journées de pâturage est linéaire avec un coefficient de 0,87 jour de pâturage par kg N. Dans le présent essai, il n'y a pas eu d'augmentation des jours de pâturage entre les lots M-N et H-N en raison du chargement identique dans ces deux lots.

Il a fallu ajouter plus d'animaux supplémentaires dans les parcelles du traitement 0-N afin de pâturer les excédents d'herbe. On peut supposer que, d'une part le chargement de départ dans le lot 0-N était un peu faible et que, d'autre part la variabilité inter annuelle peut être accrue quand aucune fertilisation azotée n'est apportée, la fourniture d'azote par le sol (via la minéralisation) étant très dépendante des conditions climatiques [9].

4.2.2. Teneurs en urée plasmatique et urée du lait

Les teneurs en urée plasmatique ont varié de 122 à 200 mg N·l⁻¹. Ces valeurs sont plus élevées que celles rapportées par Vagneur [40] qui considèrent comme normales des

valeurs de 92 à 138 mg N·l⁻¹ ; cependant ces teneurs se trouvent dans la fourchette de 59 à 265 mg N·l⁻¹ citée par Doxey [13]. Les teneurs en urée plasmatique obtenues sans fertilisation azotée ont été significativement inférieures. Ces teneurs plus faibles en urée plasmatique ne peuvent pas être expliquées par les teneurs en MAT de l'herbe qui sont les mêmes dans les trois traitements. Par contre, les teneurs en nitrates de l'herbe plus élevées dans le traitement H-N pourraient partiellement expliquer ces différences. L'absence de différence significative entre les lots H-N et M-N est vraisemblablement due au fait que la réduction de la fertilisation azotée dans le lot M-N est faible par rapport au lot H-N.

Les teneurs en urée du lait représentent une bonne estimation des rejets azotés dans un troupeau de vaches [4, 7, 29]. Les excréctions journalières d'azote par vache calculées à partir des teneurs en urée et de la production laitière ont été plus élevées en présence de fertilisation azotée. Cette observation est probablement à relier à la plus haute teneur de l'herbe en nitrates observée dans ce traitement, malgré l'absence des différences dans les teneurs en MAT entre traitements. Delaby et al. [10] ont constaté une augmentation des rejets azotés et expliquaient leurs résultats par l'augmentation des teneurs en MAT dans l'herbe produite avec la fertilisation azotée, l'excrétion azotée étant proportionnelle à la quantité d'azote ingérée [41]. Decau et al. [8] ont rapporté une augmentation des restitutions au pâturage avec l'augmentation de la fertilisation. Les rejets azotés calculés à l'hectare ont augmenté avec le chargement comme dans l'essai de Delaby et al. [11], le niveau du chargement ayant aussi une grande influence sur la quantité des rejets émise par hectare [35].

4.3. Bilan azoté

Les quantités d'azote fixées par hectare par les légumineuses sont semblables à celles citées par Orr et al. [34] (de 30 à 50 kg

N fixé·ha⁻¹·an⁻¹). D'autres auteurs citent des valeurs de fixation d'azote allant jusqu'à 280 kg N fixé·ha⁻¹ [18]. Dans le présent essai, 1 % de trèfle correspondait en moyenne à 3,7 kg d'azote appliqué. D'après Andries et al. [1], on peut admettre que 1 % de trèfle blanc correspond à une dose d'environ 2 kg N·ha⁻¹·an⁻¹. Les sorties d'azote dans le lait calculées en fonction de la teneur en azote du lait et de la production laitière sont conformes à celles rapportées par Farruggia et al. [15] et Jarvis [28].

Le bilan de l'azote a été positif dans les trois lots, le lot 0-N présentant un bilan nettement plus faible (85, 177 et 208 kg N·ha⁻¹·an⁻¹ pour les lots 0-N, M-N et H-N respectivement). Simon et al. [38] ont calculé des bilans de 167, 128 et 42 kg N·ha⁻¹ pour des systèmes de production laitière en France avec des applications de fertilisation de 160, 64 et 0 kg N·ha⁻¹·an⁻¹ dans des systèmes conventionnel, durable et biologique respectivement. Ce type de système avec une suppression de la fertilisation azotée (0-N) permet de réduire les excédents en azote et de valoriser d'autres sources comme la fixation biologique par les légumineuses [39]. Néanmoins, l'augmentation de la fertilisation s'est soldée par une augmentation du bilan azoté.

L'efficacité d'utilisation de l'azote a été nettement augmentée dans le lot 0-N. En considérant que les sorties du système sous forme de viande ont été assez réduites, les valeurs d'efficacité calculées peuvent être comparées à celles citées par Leach et Bax [31] comme normales avec une efficacité de 18 % pour les systèmes de production « conventionnels » intensifs et une efficacité de 25 % pour des systèmes sans apport d'engrais azoté. Simon et al. [38] rapportent des efficacités de l'ordre de 23–32 % avec des systèmes conventionnels de production laitière en France et des efficacités allant jusqu'à 81 % en systèmes biologiques, sans application de fertilisation azotée et avec une faible complémentation des animaux. L'augmentation de la fertilisation azotée a diminué l'efficacité de l'utilisation de

l'azote : les entrées d'azote ont été supérieures tandis que les sorties d'azotes dans le lait et la viande n'ont pas été augmentées. Avec un tel chargement, 27 kg N par application en comparaison avec 40 kg N permettent d'obtenir une meilleure efficacité d'utilisation de l'azote.

5. CONCLUSION

La réduction de la fertilisation azotée de 33 % avec un chargement inchangé n'a pas modifié les paramètres phytotechniques, ni les performances animales, mais a amélioré le bilan azoté. On peut donc conclure que des applications de 27 kg N par rapport à celles de 40 kg N après chaque passage permettent une économie de l'azote et une augmentation de l'efficacité d'utilisation sans nuire aux productions animales. Un système sans engrais azoté permet des productions individuelles aussi élevées que des systèmes plus intensifs à condition que le chargement et la gestion du pâturage soient adaptés. De plus, la réduction des rejets azotés par animal et par hectare est d'une importance non négligeable du point de vue de l'impact environnemental.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail a été permise grâce au financement de la DG6 – Administration Recherche et Développement – Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture.

RÉFÉRENCES

- [1] Andries A., L'appréciation dans la pratique de la valeur agricole des herbages, par l'examen de leur composition botanique, *Rev. Agric.* 12 (1950) 15–19.
- [2] Andries A.P., Carlier L.A., Boucque C.V., Cottyn B.G., Buysse F.X., Production de viande bovine sur des prairies exploitées d'une manière intensive, *Rev. Agric.* 26 (1973) 1049–1061.
- [3] Béranger C., Micol D., Utilisation de l'herbe par les bovins au pâturage : importance du chargement et du mode d'exploitation, *Fourrages* 85 (1981) 73–93.
- [4] Ciszuck P., Gebregziabher T., Milk urea as an estimate of urine nitrogen of dairy cows and goats, *Acta Agric. Scand.* 44 (1994) 87–95.
- [5] Coombe N.B., Hood A.E.M., Fertilizer-nitrogen: effects on dairy cow health and performance, *Fertil. Res.* (1980) 157–176.
- [6] Dagnelie P., Théorie et méthodes statistiques, Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 1975.
- [7] De Brabander D.L., Botterman S.M., Vanacker J.M., Boucqué Ch.V., La teneur du lait en urée comme indicateur de l'alimentation énergétique et protéique de la vache laitière ainsi que de l'excrétion d'azote, *Renc. Rech. Ruminants* 5 (1998) 228.
- [8] Decau M.L., Delaby L., Roche B., AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. II - Le flux du système sol-plante, *Fourrages* 151 (1997) 313–330.
- [9] Delaby L., Peyraud J.L., 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 (1998) 17–39.
- [10] Delaby L., Decau M.L., Peyraud J.L., Accarie P., 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 (1997) 297–312.
- [11] Delaby L., Peyraud J.L., Bouttier A., Peccatte J.R., Effet de deux conduites du pâturage sur les performances des vaches laitières, la valorisation des prairies et les restitutions d'azote, *Renc. Rech. Ruminants* 5 (1998) 229.
- [12] Demarquilly C., Fertilisation et qualité du fourrage, *Fourrages* 69 (1977) 61–84.
- [13] Doxey D.L., Clinical pathology and diagnostic procedures, Baillière Tindall (Eds.), London, UK, 1983.
- [14] Dufasne I., Gielen M., Limbourg P., Brundseaux C., Istasse L., Production bovine allaitante en Belgique : effets de l'intensification et de la complémentation des veaux au pâturage, *Fourrages* 141 (1995) 91–104.
- [15] Farruggia A., Decau M.L., Vertès F., Delaby L., En prairie, la balance azotée à l'échelle de la parcelle, *Fourrages* 151 (1997) 281–295.
- [16] Fiorelli J.L., Extensification du pâturage continu des vaches laitières, *Fourrages* (AFPF, Eds.), 25–26 mars 1992, Paris, France, p. 68.
- [17] Frame J., The effect of strategic fertilizer nitrogen and date of primary harvest on the productivity of a perennial ryegrass/white clover sward, *Grass Forage Sci.* 42 (1987) 33–42.
- [18] Frame J., Improved grassland management, Farming Press Books, Ipswich, UK, 1992.

- [19] Frame J., Boyd A.G., The effect of fertilizer nitrogen rate, white clover variety and closeness of cutting on herbage productivity from perennial ryegrass/white clover swards, *Grass Forage Sci.* 42 (1987) 85–96.
- [20] Gordon F.J., The effect of high nitrogen levels and stocking rates on milk output from pasture, *J. Brit. Grassld Soc.* 28 (1973) 193–201.
- [21] Grenet N., Dedieu B., Dozias D., Hardy A., Micol D., Research on extensification of beef and sheepmeat production in France: Description, preliminary results and prospects, in: Keane M., Pflimlin A. (Eds.), *Extensification of beef and sheep production on grassland*, Occasional publication No. 2. Paris, France, 1995, pp. 27–46.
- [22] Hemingway R.G., The effect of changing patterns of fertilizer applications on the major mineral composition of herbage in relation to the requirements of cattle: a 50-year review, *Anim. Sci.* 69 (1999) 1–18.
- [23] Henry R.J., Cannon D.C., Winkelmann J.L., *Clinical Chemistry. Principles and Technics*, Harper and Row, New York, 1974.
- [24] Hoden A., Peyraud J.L., Muller A., Delaby L., Faverdin P., Simplified rotational grazing management of dairy cows: effects of rates of stocking and concentrate, *J. Agric. Sci. Camb.* 116 (1991) 417–428.
- [25] Holmes W., The use of nitrogen in the management of pasture for cattle, *Herbage Abstr.* 38 (1968) 265–276.
- [26] Hood A.E.M., The high nitrogen trial on grassland at Jealott's Hill, *Overdruk uit Stikstof 83/84* (1976) 395–404.
- [27] INRA, *Alimentation des ruminants. Valeur nutritive des aliments*, INRA Publications, Versailles, France, 1980.
- [28] Jarvis S.C., Accounting for nutrients in Grassland: challenges and needs, in: Corral A.J. (Ed.), *Proceedings of the 33 Occasional Symposium of British Grassland Society*, Oxfordshire, UK, 1999, pp. 3–12.
- [29] Jonker J.S., Kohn R.A., Erdman R.A., Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows, *J. Dairy Sci.* 81 (1998) 2681–2692.
- [30] King K.R., Stockdale C.R., The effects of stocking rate and nitrogen fertilizer on the productivity of irrigated perennial pasture grazed by dairy cows, *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 20 (1980) 537–542.
- [31] Leach K.A., Bax J.A., Efficiency of nitrogen use in dairy systems, in: Corral A.J. (Ed.), *Proceedings of the 33 Occasional Symposium of British Grassland Society*, Oxfordshire, UK, 1999, pp. 69–74.
- [32] Ministère de la Région Wallonne, *L'évolution de l'économie agricole et horticole de la Région Wallonne 1999*, Faculté de Sciences Agronomiques, Gembloux, Belgique, 2000.
- [33] MINITAB, *Minitab reference manual*, Valley Forge Data Tech. Industries, 1989.
- [34] Orr R.J., Parsons A.J., Penning P.D., Sward composition, animal performance and the potential production of grass/white clover swards continuously stocked with sheep, *Grass Forage Sci.* 45 (1990) 325–336.
- [35] Peyraud J.L., Astigarraga L., 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 (1998) 235–259.
- [36] Prins W.H., Limits to nitrogen fertilizer on grassland, *Neth. J. Agric. Sci.* 32 (1984) 319–321.
- [37] Reid D., Strachan H., 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. Camb.* 83 (1974) 393–401.
- [38] Simon J.C., Vertès F., Decau M.L., Le Corre L., Les flux d'azote au pâturage. I - Bilans à l'exploitation et lessivage du nitrate sous prairies, *Fourrages* 151 (1997) 249–262.
- [39] Simpson J.R., Stobbs T.H., Nitrogen supply and animal production from pastures, in: Morley (Ed.), *Grazing Animals*, Elsevier's Publisher, 1981, pp. 261–287.
- [40] Vagneur M., *Biochimie de la vache laitière appliquée à la nutrition, La dépêche vétérinaire, supplément technique* (1992) 28.
- [41] Vérité R., Delaby L., Conduite alimentaire et rejets azotés chez la vache laitière. Interrelations avec les performances, *Renc. Rech. Ruminants* 5 (1998) 185–192.
- [42] Whitehead D.C., *Nutrient elements in grassland. Soil-plant-animal relationships*, CABI Publishing, Wallingford, UK, 2000.