

Amélioration des bilans d'excrétion d'azote dans deux exploitations laitières de la région wallonne par un suivi raisonné des rations

Émilie Knapp, Louis Istasse, Jean-Luc Hornick, Isabelle Dufrasne

Service de Nutrition, Boulevard de Colonster, 20 B43. B-4000 Liège (Belgique). E-mail : eknapp@ulg.ac.be

Deux exploitations laitières situées l'une en Pays de Herve et l'autre en Ardenne ont fait l'objet de suivis réalisés en vue de déterminer les bilans d'excrétion azotée. Dans la première exploitation, les vaches étaient divisées en deux groupes, à savoir le groupe des hautes productrices (HP) et le groupe des basses productrices (BP), chaque groupe recevant une ration spécifique. Dans la seconde exploitation, les animaux constituaient un seul groupe. Les rations étaient caractérisées par un déséquilibre de la production permise par l'énergie et l'azote et un bilan OEB très élevé, à savoir 794, 582 et 726 g·j⁻¹ respectivement dans le groupe HP, BP et l'exploitation 2. Des modifications des rations ont été proposées afin d'équilibrer les productions permises et diminuer le bilan azoté. Les données de la production, de teneur en urée du lait et de rejets d'azote ont été analysées par un modèle mixte permettant d'établir des comparaisons entre les données au premier contrôle laitier et après l'intervention (quatre contrôles suivants). Les modifications de conduite du rationnement ont maintenu les niveaux de production laitière à des valeurs semblables de celles du premier contrôle, à savoir 36,2, 24,3 et 23,0 l corrigés à 4 % de matière grasse et pour des jours en lactation fixes, respectivement pour les groupes HP, BP et l'exploitation 2. Les changements ont permis une réduction significative du taux d'urée dans le lait (220 au lieu de 300 mg·l⁻¹) ainsi qu'une diminution significative des rejets azotés exprimés en g par jour par vache, en g·l⁻¹ et en kg par an par vache. Les vaches de l'exploitation 2 rejetaient moins d'azote en absolu (217,9 contre 260,1 g par jour). Il était cependant intéressant de noter que la conduite de l'exploitation 1 était plus efficiente en matière de rejets azotés puisqu'il était rejeté en moyenne 9 g·l⁻¹ au lieu de 10 g·l⁻¹ dans l'exploitation 2. En conclusion, il est apparu que, quel que soit le type d'exploitation (intensive ou extensive), un suivi raisonné et adapté à chaque exploitation des rations a permis une diminution des rejets azotés.

Mots-clés. Nutrition animale, vache laitière, excrétion, azote, teneur en azote, urée, conduite d'élevage.

Improvements after precision dietary management of nitrogen rejection in two commercial dairy farms in Wallonia.

Two dairy farms located in Pays de Herve and in Ardennes were followed at regular intervals in order to assess levels of nitrogen rejection. In Farm 1, the cows were divided into two groups: group HP contained high production cows and group BP contained cows with a lower production yield. Each group was offered a specific basal diet. In Farm 2, only one group of cows was assessed. The feed rations on both farms were characterized by an imbalance between the yields allowed by the energy or the nitrogen supplies and by an extremely high OEB balance of 794, 582 and 726 g, respectively, in groups HP and BP and in the Farm 2 group. Dietary changes were proposed in order to balance milk yields and to reduce the hypothesized nitrogen balance. The yield and urea content data from each milk record, along with data regarding nitrogen rejection, were statistically analyzed using a mixed model, which included an autoregressive covariance. The data from records 2, 3, 4 and 5 were then compared to the data from record 1. The advised changes implemented in the feeding management plan maintained milk yields at values similar to the yields observed in record 1 – 36.2, 24.3 and 23.0 l of 4% fat-corrected milk expressed for fixed days in milk groups HP and BP and the Farm 2 group. The changes induced a significant reduction in the milk urea content (220 vs 300 mg·l⁻¹) and a significant reduction in nitrogen rejection, whether expressed in terms of g per day per cow, g·l⁻¹ or kg per year per cow. The cows in the Farm 2 group rejected less nitrogen in absolute terms (217.9 vs 260.1 g per day). However, it is interesting to note that the management approach in Farm 1 was more efficient in terms of nitrogen rejection since the level was on average 9 g·l⁻¹ in comparison with 10 g·l⁻¹ in Farm 2. In conclusion, it appears that, for either farm, whether an intensive or extensive management regime was being employed, the provision of well balanced feed rations led to a reduction in nitrogen rejection. It should, however, be noted that management advice needs to be provided on a farm by farm basis.

Keywords. Animal nutrition, dairy cows, nitrogen, nitrogen content, excretion, urea, livestock management.

1. INTRODUCTION

Depuis quelques années, les autorités ainsi que les consommateurs se préoccupent des conditions de production des animaux de rente et veillent à établir une meilleure adéquation entre les productions animales et l'environnement afin que les exploitations soient plus durables au sens étymologique du terme. En Belgique, un Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) a été initié suite à la Directive Européenne Nitrates (91/676EC) afin de limiter la quantité d'azote provenant des déjections et des engrais de ferme à 230 kg N·ha⁻¹ sur les prairies, à 115 kg N·ha⁻¹ sur les terres de culture et, en zone vulnérable, à 170 kg N·ha⁻¹ à l'échelle de l'exploitation agricole. Chaque éleveur reçoit alors en fonction de la superficie, du type d'affectation (culture ou prairie), de la zone géographique (zone vulnérable ou non) et du cheptel un taux de liaison au sol qui est le rapport entre la quantité d'azote produit et la capacité d'épandage de l'exploitation (Lambert et al., 2010). Le taux de liaison au sol ne doit pas dépasser l'unité sous peine de sanctions. Un bovin utilise pour ses besoins d'entretien et de production entre 21 et 38 % de l'azote ingéré (Klausner, 1993). L'azote restant peut avoir un impact sur la pollution suite aux pertes par volatilisation, dénitrification et lixiviation (Hutson et al., 1998). L'urée sanguine, qui est synthétisée par le foie, est la molécule finale du métabolisme protéique chez le ruminant. Elle est filtrée par le rein et passe par diffusion dans le lait et dans les sécrétions génitales. Dufrasne et al. (2010) ont montré que l'excrétion d'azote par les urines était en moyenne de 242 g d'azote par jour pour des vaches au pâturage ingérant 444 g d'azote par jour. Il s'agissait de la principale source d'excrétion d'azote puisqu'elle représentait entre 70,8 et 78,6 % de l'azote total excrété par les urines, les fèces et le lait. Plusieurs facteurs liés à la ration ont un impact sur le taux d'urée et les rejets azotés. Le taux de protéines brutes de la ration ainsi que la qualité de la matière azotée ont un impact important sur les concentrations en urée dans le sang et sur l'excrétion azotée par l'animal. Plusieurs études ont montré qu'une diminution de la teneur en protéines brutes (16,5 % PBT contre 18 % PBT) d'une ration pour vache en lactation peut diminuer significativement la quantité d'azote excrétée sans avoir d'impact sur la production (Leonardi et al., 2003 ; Wattiaux et al., 2004). Dans le rumen, ce n'est qu'en présence d'énergie que l'ammoniaque issue de la dégradation de l'azote alimentaire est utilisée pour la multiplication bactérienne et donc la synthèse de protéines bactériennes. La digestion de ces protéines permet la production d'acides aminés utilisables par le ruminant et en particulier par la mamelle pour la synthèse des protéines du lait. Le rapport protéine/énergie dans une ration ainsi que la synchronisation des apports dans le rumen ont donc un impact sur

l'efficacité azotée de la ration et l'excrétion d'azote (Carlsson et al., 1994 ; Groff et al., 2005). La mesure du taux d'urée dans le sang est difficilement réalisable en pratique. Il est cependant lié directement au taux d'urée du lait qui est utilisé en routine comme indicateur fiable et pratique de l'excrétion azotée à l'échelle du troupeau (Kohn et al., 2002 ; Nousiainen et al., 2004 ; De Campeneere et al., 2006). L'objectif de cette étude est de montrer l'évolution des bilans de rejets azotés après mise en place d'un suivi raisonné des rations, adapté à chaque type d'exploitation, dans un contexte de terrain, c'est-à-dire en considérant la structure des exploitations conseillées et plus particulièrement leur potentiel de production fourragère.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Deux exploitations laitières dont les rejets azotés étaient importants hors saison de pâturage ont été suivies au niveau de la gestion de la ration afin d'améliorer l'efficacité azotée du troupeau dans un contexte pratique d'élevage. Les éleveurs opéraient de façon différente comme décrit ci-dessous.

2.1. Description des exploitations

Exploitation située en zone herbagère et à haut potentiel de production. L'exploitation se situe à l'est de la Belgique, en zone herbagère liégeoise spécialisée dans la production laitière (79 % des vaches sont de races laitières) et dans la production d'herbe avec 86 % de la surface agricole utile (SAU) régionale, toujours couverte d'herbe (SPF Économie, 2011). L'exploitation n'est pas en zone vulnérable (telle que délimitée jusqu'au 31 décembre 2012). Elle comprend une surface de 55 ha de prairies permanentes et de 10 ha de prairies temporaires (Ray-Grass/Trèfle) sans culture avec un taux de liaison au sol de 0,7. C'est une exploitation avec une grande SAU par rapport à la moyenne de la région qui est de 46 ha (SPF Économie, 2011). Le troupeau est composé de 55 vaches Holstein pie noire en production, soit dans la moyenne de la région de 52 vaches par exploitation (SPF Économie, 2011). Le quota est de 650 000 l avec une production moyenne annuelle de 9 500 kg de lait par vache. Les vaches du troupeau sont en moyenne à 2,6 lactations avec 31 % de primipares, 25 % de vaches en deuxième lactation et 43 % en troisième lactation ou plus. Les vaches traitées sont logées dans une étable sur caillebotis de 65 places à table et 60 logettes en béton pleines recouvertes d'un tapis et de sciure. La période de tarissement est d'environ 6 semaines. Le contexte d'appel pour la réalisation d'un suivi était une diminution des performances de reproduction chez les vaches laitières qui présentent un intervalle

moyen entre le vêlage et la première insémination de 97 jours et un pourcentage de réussite à la première insémination de 30 %.

Exploitation laitière en zone Ardenne. La deuxième exploitation se situe dans le sud de la Belgique, en Ardenne, qui est une zone dont les productions sont tournées vers la spéculation viande (84 % des vaches), avec 76 % de la SAU occupée par des herbages (SPF Économie, 2011). La zone concernée dans ce suivi présente un nombre d'exploitations à spéculation laitière plus grand que la moyenne (38 % de vaches laitières contre 16 % dans la région). L'exploitation n'est pas en zone vulnérable. Elle comprend une surface de 39 ha de prairies permanentes sans culture avec un taux de liaison au sol de 0,7. C'est une petite exploitation puisque les exploitations ont une SAU moyenne de 62 ha (SPF Économie, 2011). Le troupeau est composé de 50 vaches pleines en production pour 442000 l de quota, soit moins que la moyenne de la région qui est de 64 vaches (SPF Économie, 2011). La production moyenne annuelle est de 7000 kg de lait par vache. Le troupeau est caractérisé par un nombre de lactations moyen de 3,2 avec 24 % de primipares, 18 % de deuxième lactation et 58 % de vaches en troisième lactation ou plus. Les vaches laitières sont logées dans une étable sur béton raclé manuellement et comprenant 45 places à table et 50 logettes en béton pleines recouvertes d'un tapis. La période de tarissement est d'environ 6 semaines. Le contexte d'appel était une mauvaise efficacité de l'utilisation de la protéine de la ration avec des teneurs en urée dans le lait très élevées. On notait 30 % de boiteries (score de locomotion > 2/5) et une dégradation des performances de reproduction dont un intervalle entre les vêlages actuel de 400 jours et projectif de 430 jours.

2.2. Système de rationnement

Méthode de calcul des rations. Le calcul des rations et leur critique ont été réalisés au moyen du programme ALIM32 (APC, ULg, licence 2009). Les unités utilisées pour le calcul des besoins et des apports ont été les unités hollandaises, à savoir les VEM (*Voeder Eenheid Melk*) ou KVEM qui équivaut à 1000 VEM pour l'énergie (Ministère de l'Agriculture, 1983) et le système DVE (*Darm Verteerbaar Eiwit* : Protéines digestibles intestinales) et OEB (*Onbestendige Eiwit Balans* : Bilan des Protéines dégradables) pour les protéines (Tamminga et al., 1994). Le calcul des coûts de la ration a été réalisé sur base des prix effectifs des aliments de commerce et une estimation des coûts de production des fourrages à partir des travaux de Deprez et al. (2007) et du Service technico-économique de l'association Wallonne de l'Élevage (communication personnelle, 2011). Les ensilages ainsi que les aliments

composés ont été analysés en utilisant des méthodes de référence européennes en ce qui concerne les cendres brutes (Directive 71/250 EEC, 1971), la matière sèche (MS ; Directive 71/393 EEC, 1971) et les protéines brutes (PBT ; Directive 72/199 EEC, 1972). Les valeurs de NDF (*neutral detergent fiber*), ADF (*acid detergent fiber*), cellulose brute, amidon et sucres ont été mesurées par la méthode proche infrarouge (NIR) afin de calculer une digestibilité de la matière organique et des protéines.

Exploitation 1. La première exploitation divise le troupeau de vaches en lactation en deux groupes en été comme en hiver. Le groupe « haute production » (HP) avec les vaches en début de lactation comprend les animaux depuis le vêlage et produisant plus de 25 l de lait par jour. Le groupe « basse production » (BP) comprend les animaux en fin de lactation et/ou produisant moins de 25 l de lait par jour. Un distributeur automatique de concentré (DAC) est présent dans le groupe HP et permet la distribution du concentré de production, c'est-à-dire l'aliment composé offert aux vaches dont la production dépasse celle permise par la ration de base. Les animaux ne reçoivent aucun aliment en salle de traite. En été, les vaches reçoivent, la nuit et en stabulation, un mélange identique à celui offert en période hivernale, comptant pour environ 60 % de la MS ingérée et pâturent sur prairie permanente le jour. Les prairies temporaires sont uniquement utilisées pour la fauche. Les animaux sont rentrés en stabulation de façon permanente à la mi-octobre. Les rations hivernales pour les deux groupes sont décrites dans le **tableau 1**. Les vaches dans le groupe HP reçoivent le concentré de production au-delà de 27 l de lait par jour avec un maximum de 6 kg par vache. En moyenne, les animaux ingèrent 3,5 kg du concentré. La ration du groupe BP est une ration totale mélangée et doit permettre une production individuelle de 25 l par jour au maximum d'ingestion apportée par la ration. La ration de base HP est composée de 51 % d'ensilage d'herbe (en MS) et la ration BP de 48 % d'ensilage d'herbe.

Exploitation 2. Un seul lot de vaches traitées est constitué dans cette exploitation. Un DAC est présent dans la stabulation pour distribuer le correcteur azoté (20 % PBT) qui fait également office de concentré de production. Les animaux ne reçoivent aucun supplément en salle de traite. La ration estivale est composée uniquement d'herbe fraîche pâturée. Les animaux sont rentrés mi-octobre. La ration hivernale est décrite dans le **tableau 2**. Le correcteur azoté est un mélange comprenant 30 % de pulpes sèches et 70 % d'un concentré du commerce à 25 % PBT. La teneur est donc élevée en calcium et l'OEB plus bas qu'un concentré à 20 % PBT classique. La production permise

Tableau 1. Composition des aliments et quantités distribuées aux différents groupes de vaches en lactation de l'exploitation 1 — *Composition and distribution of feeds for the two groups of cows in farm 1.*

Aliment	Composition des aliments						Quantités distribuées (kg par jour par vache)		
	Matière sèche (%)	VEM (par kg MS)	PBT (g·kg ⁻¹ MS)	OEB (g·kg ⁻¹ MS)	Calcium (g·kg ⁻¹ MS)	Phosphore (g·kg ⁻¹ MS)	Ration « HP »	Ration « BP »	
Ensilage d'herbe	45	930	190	56	4,7	3,2	21	19	
Ensilage de maïs	32	940	80	-36	2,1	1,9	12	10	
Ensilage de pulpes surpressées	21	1,01	108	-65	8,9	0,9	10	6	
Correcteur 40 % PBT	88	1090	454	188	2,2	7,7	2,5	1	
Correcteur 20 % PBT	88	1034	207	57	9,1	6,8	2	0	
Concentré de production 19 % PBT	88	1090	216	40	9,1	6,8	3,5	4,3	
Sel	100	0	0	0	0	0	0,03	0,03	
Minéral 21/5	100	0	0	0	210	50	0,1	0,2	

VEM (*Voeder Eenheid Melk*) : unité d'énergie — *energy unit* ; PBT : protéines brutes totales — *crude protein* ; OEB (*Onbest endige Eiwit Balans*) : bilan azoté ruminal — *degradable protein balance* ; HP : hautes productrices — *high yielding cows* ; BP : basses productrices — *low yielding cows*.

par 15,1 kg MS de la ration de base est de 16 l de lait par jour. Le correcteur est ajouté pour les animaux produisant plus de 16 l de lait par jour. En moyenne, les vaches ingèrent 4 kg de correcteur azoté par jour. La proportion d'ensilage d'herbe dans la ration hivernale est de 69 % des apports en MS de la ration de base, valeur considérée comme élevée dans une région non spécialisée en production d'herbe, mais expliquée par le fait que l'éleveur ne dispose d'aucune zone de culture et maximise l'utilisation de la production de l'exploitation. Un complément minéral composé de 21 % de calcium et 7 % de phosphore est distribué.

2.3. Analyse des données des exploitations

Production et qualité du lait. Le traitement des données du contrôle laitier mensuel a permis une analyse détaillée de la production laitière, des teneurs en matières utiles et des taux cellulaires ainsi que de leurs évolutions dans le temps. Afin de comparer les productions mensuelles entre elles, les productions ont été ajustées et estimées pour une durée moyenne identique de jours en lactation (JEL) entre les contrôles et entre les troupeaux. En effet, la production laitière, en l'absence de facteurs limitants, suit une courbe spécifique et dépendante des JEL. Cette courbe est définie par de nombreux paramètres, dont la persistance de la production en phase décroissante (*p*). Cette dernière dépend de facteurs environnementaux, de la génétique des animaux et de la production laitière (Dhanoa et al., 1982). La persistance moyenne de la production laitière est donc spécifique à chaque vache et à chaque troupeau. Elle a été calculée pour chacun des troupeaux étudiés. Une régression linéaire a été appliquée sur l'ensemble des productions laitières en fonction du nombre de JEL observés lors d'une année de production de chaque troupeau. L'équation obtenue est décrite par :

$$Y = pt + b$$

Y étant la production laitière et *t* étant les JEL.

La pente de la droite « *p* » correspond à la persistance de la production pour le troupeau.

Pour chaque production mensuelle, une nouvelle droite de régression est calculée en gardant la persistance *p* de la régression générale :

$$Y_i(t) = pt + b_i$$

L'obtention de b_i pour toutes les productions observées à un JEL (t_i) permet d'estimer le $Y_i(t_n)$ en fonction du JEL t_n choisi pour la comparaison des productions et des excréments.

Tableau 2. Composition des aliments et quantités distribuées aux vaches en lactation de l'exploitation 2 — *Composition and distribution of feeds for the cows in farm 2.*

Aliment	Composition des aliments						Quantités distribuées (kg par jour par vache)
	Matière sèche (%)	VEM (kg ⁻¹ MS)	PBT (kg ⁻¹ MS)	OEB (kg ⁻¹ MS)	Calcium (g·kg ⁻¹ MS)	Phosphore (g·kg ⁻¹ MS)	
Ensilage d'herbe	30	870	175	62	5	3,9	34
Ensilage de maïs	31	950	93	-12	3,2	3	15
Concentré de production 20% PBT	90	1037	220	34	9,4	4,2	4
Minéral 21/7	100	0	0	0	210	70	0,2

Abréviations — *abbreviations* : voir **tableau 1** — *see table 1.*

Indicateurs de bilan azoté. Le bilan OEB de la ration est un indicateur du bilan azoté ruminal. En effet, il s'agit de la différence entre la quantité de protéines bactériennes théoriquement permises par l'azote disponible de la ration et la quantité de protéines bactériennes théoriquement permises par l'énergie disponible de la ration (Ministère de l'Agriculture, 1992). De nombreuses études ont montré que la réduction du bilan OEB permettait une diminution de la quantité d'azote excrétée (Borsting et al., 2003 ; De Campeneere et al., 2009). L'excrétion d'azote est également liée à l'équilibre ruminal et la synchronisation des disponibilités en énergie et en protéines. Si l'énergie manque, l'ammoniaque sera utilisée par le foie pour la synthèse d'urée. Le rapport DVE/KVEM de la ration a été utilisé comme indicateur de la synchronisation ruminale de l'énergie et de la protéine alimentaire. Le calcul de l'excrétion totale d'azote pour les vaches en lactation se fera sur base de l'équation de De Brabander (1998) :

$$N \text{ (g par jour par vache)} = 43,1 + 0,36 \times MUN \text{ (mg·l}^{-1}\text{)} + 6 \times L_4 \text{ (l par jour)}$$

avec MUN (*milk urea nitrogen*), l'azote contenu dans l'urée du lait :

$$MUN = 0,4665 \times \text{urée (mg·l}^{-1}\text{)}$$

et L_4 , la production laitière corrigée à 4 % matière grasse (MG), c'est-à-dire :

$$L_4 = L \times (0,337 + 0,116 \times MG [\%] + 0,06 \times P [\%]).$$

Les moyennes et leur évolution par groupes d'animaux ont été étudiées en fonction des changements de ration réalisés dans les exploitations. L'efficacité des animaux a été calculée en exprimant l'azote excrété (g par jour) par litre de lait produit (L_4). Le calcul de rejet azoté annuel (kg par an par vache) a été effectué

sur base d'une lactation de 323 jours et d'une période de tarissement de 6 semaines. On a estimé à 5 kg la quantité d'azote excrétée par mois pour les vaches tarées.

Les données (urée du lait et calcul des rejets azotés) ont été analysées à l'aide d'un modèle mixte (proc mixed, SAS, 1999) permettant l'inclusion d'une structure de covariance autorégressive de type 1 (AR[1]), pour des mesures répétées dans le temps effectuées sur le même animal.

Le modèle a été le suivant :

$$Y_{ij} = \mu + P_i + e_{ij}$$

où Y_{ij} est la réponse de l'animal i à la période j , μ la moyenne générale, P_i est l'effet de la période i ($I = 1$ à ...) et e est l'erreur résiduelle.

3. RÉSULTATS

3.1. Exploitation 1 : description des rations avant et après l'intervention

Le **tableau 3** résume différentes caractéristiques calculées pour le groupe HP de l'exploitation 1 lors de la distribution de la ration de base correspondant à une production de 27 l et de la même ration additionnée du concentré de production, ingéré au DAC à raison de 3,5 kg en moyenne. Cette ration supportait théoriquement une production de 29,2 l au lieu des 27 l à partir desquels le concentré de production était distribué. La ration était déséquilibrée car la production laitière théoriquement permise par l'énergie de la ration était de 3 l plus faible que celle permise par l'apport azoté (29,2 contre 32,2 l). Dans ce contexte, l'apport du concentré de production aurait dû commencer à partir de 29 l et non de 27 l, comme réalisé en pratique. Il faut également noter que le bilan OEB et le rapport DVE/KVME étaient très élevés

Tableau 3. Comparaison des rations distribuées aux vaches du groupe haute productrices avant et après visite de l'exploitation mi-novembre dans l'exploitation 1 — *Differences between rations for the high yields cows before and after the visit in farm 1.*

	Ration distribuée	Ration recommandée
	Ration de base	
Quantités distribuées (kg MS par vache par jour)	19,4	18,6
Litres permis par		
KVEM	29,2	27,4
DVE	32,2	27,6
Bilan OEB (g par jour)	686	418
DVE/KVEM	95,2	86,5
Cout (EUR)		
Par jour par vache	3,4	3,1
Par litre de lait	0,12	0,11
	Ration de base et concentré de production	
Quantités distribuées (kg MS par vache par jour)	22,4	22,1
Litres permis par		
KVEM	34,9	35,2
DVE	37,3	34,2
Bilan OEB (g par jour)	794	516
DVE/KVEM	96,4	88,6
Cout (EUR)		
Par jour par vache	4,5	4,2
Par litre de lait	0,13	0,12

MS : matière sèche — *dry matter* ; KVEM (*Voeder Eenheid Melk*) : unité d'énergie — *net energy unit* ; DVE (*Darm Verterbaar Eiwit*) : protéines digestibles intestinales — *true protein digestible in the intestine* ; OEB (*Onbestendige Eiwit Balans*) : bilan azoté ruminal — *degradable protein balance* .

sachant que, pour une exploitation dont la production annuelle est supérieure à 9000 l, ce rapport devrait se rapprocher de 85. Enfin, le cout de la ration s'élevait à 3,4 EUR par jour par vache, soit 0,12 EUR.l⁻¹. La distribution, en moyenne, de 3,5 kg de concentré de production avait pour effet de maintenir le déséquilibre entre la production laitière permise par l'énergie et celle permise par la matière azotée, d'aggraver l'excès du bilan azoté, ainsi que d'augmenter le cout de la ration. Après la première visite, les modifications suivantes ont été proposées à la ration de base (**Tableau 1**) : réduction d'1 kg d'ensilage d'herbe (20 contre 21 kg), augmentation de 2 kg d'ensilage de pulpes surpressées (12 contre 10 kg), diminution de 1 kg des concentrés correcteurs (3,5 contre 4,5 kg) et changement de la teneur en matière azotée totale d'un des correcteurs et du concentré de production (31 % contre 40 % PBT et 17 % contre 19 % PBT). Ces changements ont induit une production de 27,5 l par l'énergie et par la matière azotée (**Tableau 3**), une réduction de 268 g par jour d'OEB, une diminution du rapport DVE/KVEM et une

diminution du cout. La distribution de 4 kg de concentré de production (17 % PBT) en plus de la ration a non seulement permis des productions laitières élevées et pratiquement équilibrées à 34,7 l pour les apports en énergie et en matière azotée, mais également a réduit les bilans azotés et les couts par rapport à la ration d'origine.

Les caractéristiques de la ration totale mélangée distribuée aux vaches du groupe BP sont résumées dans le **tableau 4**. Il s'agissait des vaches dont la production était égale ou inférieure à 25 l. Un déséquilibre était à nouveau observé entre la production permise par l'énergie et la matière azotée (25,0 contre 26,2 l). Les bilans OEB restaient élevés. Le cout de l'alimentation pour les vaches de ce groupe était plus élevé que celui des vaches du groupe HP, en particulier par litre de lait permis (0,14 EUR.l⁻¹ contre 0,12 EUR.l⁻¹). Les modifications de la ration du **tableau 1** ont consisté en une augmentation de 1 kg de la distribution d'ensilage d'herbe accompagnée principalement d'une réduction de la teneur en protéines des correcteurs. Dans de

Tableau 4. Comparaison des rations distribuées aux vaches du groupe basses productrices avant et après visite de l'exploitation mi-novembre dans l'exploitation 1 — *Differences between rations for the low yields cows before and after the visit in farm 1.*

	Ration distribuée	Ration recommandée
Quantités distribuées (kg MS par vache par jour)	18,0	17,7
Litres permis par		
KVEM	25,0	25,6
DVE	26,2	25,2
Bilan OEB (g par jour)	543	430
DVE/KVEM	87,6	83,0
Cout (EUR)		
Par jour par vache	3,4	3,1
Par litre de lait	0,14	0,12

Abréviations — *abbreviations* : voir **tableau 3** — *see table 3.*

telles conditions, il en est résulté une diminution du bilan OEB et du rapport DVE/KVEM pour une production laitière permise de 25,4 l. De plus, le cout a été réduit. On a également noté que ces couts par litre pour les vaches du groupe BP étaient identiques à ceux des vaches HP recevant la ration de base et les concentrés de production.

3.2. Exploitation 2 : description des rations avant et après intervention

Les performances théoriques des rations distribuées aux vaches de l'exploitation 2 sont décrites dans le **tableau 5**. En résumé, il s'agissait d'une ingestion de 15,1 kg de MS pour la ration de base, permettant une production déséquilibrée de 17,7 l par l'énergie et de 14,3 l par la matière azotée. Le bilan OEB et le rapport DVE/KVEM étaient respectivement

Tableau 5. Comparaison des rations distribuées aux vaches avant et après visite dans l'exploitation 2 — *Differences between rations before and after the visit in farm 2.*

	Ration distribuée	Ration recommandée
	Ration de base	
Quantités distribuées (kg MS par vache par jour)	15,1	16,0
Litres permis par		
KVEM	17,7	21,3
DVE	14,3	21,1
Bilan OEB (g par jour)	582	350
DVE/KVEM	62,7	79,1
Cout (EUR)		
Par jour par vache	1,9	2,5
Par litre de lait	0,13	0,12
	Ration de base et concentré de production	
Quantités distribuées (kg MS par vache par jour)	18,6	16,9
Litres permis par		
KVEM	25,3	23,3
DVE	22,2	22,8
Bilan OEB (g par jour)	726	387
DVE/KVEM	74,2	80,3
Cout (EUR)		
Par jour par vache	2,9	2,8
Par litre de lait	0,13	0,12

Abréviations — *abbreviations* : voir **tableau 3** — *see table 3.*

de 582 g par jour et de 62,7. Dans une exploitation laitière produisant 7000 l par vache et par an, ce rapport devrait se rapprocher de 80. Le cout de la ration était de 0,13 EUR.l⁻¹. Pour les vaches dont la production était supérieure à 16 l, la distribution moyenne de 4 kg de concentré de production à 20 % PBT a maintenu le déséquilibre en litre permis par les apports en énergie et la matière azotée. On a observé en outre une aggravation du bilan OEB. En vue d'améliorer les performances, l'approche du rationnement a été profondément modifiée par rapport à la ration présentée dans le **tableau 1**. Elle consistait en une augmentation de 5 kg de la distribution de l'ensilage de maïs, une réduction de 14 kg de l'ensilage d'herbe, une distribution de 2,5 kg de pulpes sèches et de 1,5 kg du correcteur à 24 % PBT dans la ration de base au lieu de la distribution au DAC. Cette nouvelle ration de base proposée a permis une production équilibrée de 21,2 l. Elle a réduit le bilan OEB à 350 g par jour et a amélioré le rapport DVE/KVEM, tout en diminuant les couts par litre produit. Pour les vaches en début de lactation et celles produisant plus de 21 l, 1 kg d'un concentré de production à 18 % PBT a été

ajouté au DAC. Cette pratique a permis d'obtenir des productions proches de celles calculées initialement, tout en réduisant le bilan OEB et en améliorant le rapport DVE/KVEM. En outre, le cout par litre de cette dernière ration a été diminué et est resté identique à celui de la ration de base.

3.3. Production et qualité du lait avant et après interventions

Les caractéristiques principales relatives à la production laitière, à savoir les JEL, la production et les teneurs en matières utiles, sont reprises dans le **tableau 6**. Les persistances relatives de la production en phase décroissante ont été de -4,3 % et -6,7 % par mois dans les exploitations 1 et 2 respectivement. La production laitière L₄ corrigée pour 92 JEL dans le groupe HP de l'exploitation 1 a été de 35,7 ± 8,10 L₄ par jour par vache au contrôle 1. Les données correspondantes pour le groupe BP de l'exploitation 1 corrigée à 290 JEL et pour l'exploitation 2, à 185 JEL étaient respectivement de 25,2 ± 7,12 et 22,3 ± 6,6 L₄ par jour par vache. Les modifications des rations

Tableau 6. Évolution en fonction des contrôles laitiers, de la production et de la qualité du lait dans les deux exploitations — *Evolution of the yield and milk quality in the two farms according to milk records.*

Contrôles laitiers	Nombre	Jours en lactation	Production (l par jour par vache)	MG (%)	P (%)	L ₄ (l par jour par vache)
Vaches du groupe HP de l'exploitation 1						
Contrôle 1	26	107 ± 80,3	32,3 ± 8,14	4,6 ± 0,52	3,5 ± 0,31	35,7 ± 8,10
Contrôle 2	31	80 ± 59,9	34,1 ± 6,67	4,0 ± 0,47	3,4 ± 0,33	33,8 ± 6,50
Contrôle 3	32	82 ± 54,8	35,1 ± 8,63	4,2 ± 0,65	3,5 ± 0,31	36,1 ± 8,83
Contrôle 4	32	77 ± 48,7	36,5 ± 6,59	4,2 ± 0,53	3,5 ± 0,30	37,2 ± 6,62
Contrôle 5	30	92 ± 49,0	36,5 ± 7,45	4,2 ± 0,56	3,5 ± 0,37	37,8 ± 7,14
Vaches du groupe BP de l'exploitation 1						
Contrôle 1	29	295 ± 54,4	25,0 ± 6,73	4,5 ± 0,45	3,8 ± 0,31	25,2 ± 7,12
Contrôle 2	31	290 ± 64,9	24,5 ± 5,62	4,4 ± 0,63	3,9 ± 0,31	24,7 ± 6,01
Contrôle 3	28	306 ± 77,0	23,4 ± 4,25	4,7 ± 0,47	4,0 ± 0,24	24,1 ± 5,20
Contrôle 4	31	321 ± 81,5	22,7 ± 4,86	4,8 ± 0,52	4,0 ± 0,30	24,0 ± 5,64
Contrôle 5	27	320 ± 103,0	22,9 ± 6,02	4,7 ± 0,71	4,0 ± 0,33	24,2 ± 6,14
Vaches de l'exploitation 2						
Contrôle 1	55	178 ± 111,2	22,6 ± 7,11	4,4 ± 0,62	3,4 ± 0,39	22,3 ± 6,60
Contrôle 2	53	185 ± 116,8	23,2 ± 7,69	4,1 ± 0,80	3,4 ± 0,34	23,2 ± 7,09
Contrôle 3	54	184 ± 116,2	22,8 ± 7,31	4,1 ± 0,57	3,4 ± 0,32	22,7 ± 6,58
Contrôle 4	57	185 ± 119,4	22,3 ± 6,97	4,3 ± 0,65	3,4 ± 0,39	22,3 ± 6,38
Contrôle 5	55	189 ± 124,8	23,7 ± 7,14	4,3 ± 0,61	3,3 ± 0,34	23,9 ± 6,62

MG : matière grasse — *fat* ; P : protéines — *proteins* ; L₄ de l'exploitation 1 : production laitière ajustée à 4 % MG et soit à 92 JEL pour le groupe HP, soit à 290 JEL pour le groupe BP — *L₄ in farm 1: 4% fat corrected milk yield either on day 92 in the HP group or on day 290 in the BP group* ; L₄ de l'exploitation 2 : production laitière ajustée à 4 % MG et à 185 JEL — *L₄ in farm 2: 4% fat corrected milk yield on day 185*

effectuées après le premier contrôle laitier n'ont pas induit de changements significatifs du niveau de production laitière exprimée en L_4 par jour par vache.

3.4. Évolution de l'excrétion d'urée dans le lait

La teneur en urée dans le lait était proche de $300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ dans les deux exploitations au premier contrôle laitier (Tableau 7). L'intervention a induit une diminution significative de l'urée du lait qui est passée dès le deuxième contrôle et pour les quatre contrôles successifs, à des valeurs proches de $220 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Avant la mise en place du suivi des rations, la proportion de vaches présentant une concentration en urée supérieure à $300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ était respectivement de 32,0 % et 52,7 % dans l'exploitation 1 et dans l'exploitation 2. Ces proportions étaient beaucoup plus faibles voire nulles à partir du deuxième contrôle.

3.5. Évolution des bilans d'excrétion d'azote

Dans l'exploitation 1, l'excrétion journalière d'azote était de 272,8 g par vache (Tableau 8). L'intervention a significativement diminué cette excrétion en fonction des contrôles ($P < 0,05$, $P < 0,01$ et $P < 0,001$), avec une réduction maximale de 7,5 %. Dans l'exploitation 2, l'excrétion journalière d'azote était plus faible que dans l'exploitation 1, à savoir de 224,1 g par vache avant l'intervention. Elle a également été significativement réduite à partir du deuxième contrôle, la diminution maximale a été de 5,5 %. Lorsqu'on exprime l'excrétion d'azote en $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ de lait corrigé à 4 % de MG et pour

185 JEL, les mêmes effets ont été observés dans les deux exploitations. On a néanmoins noté une excrétion plus élevée par litre de lait dans l'exploitation 2, soit en moyenne $10 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ contre $9 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ dans l'exploitation 1. Enfin, la prédiction annuelle d'excrétion azotée exprimée par vache était de 94,7 et 79,4 kg respectivement dans l'exploitation 1 et l'exploitation 2 avant l'intervention. Les rations proposées ont permis de réduire significativement cette quantité d'azote excrétée, soit des diminutions moyennes de 4,5 kg par vache et par an dans l'exploitation 1 et 2,5 kg par vache et par an dans l'exploitation 2.

4. DISCUSSION

Une des originalités du présent travail réalisé dans le contexte du terrain a consisté à comparer les productions laitières en termes de lait à 4 % de MG après les avoir ajustées à une durée de 92, 290 et 185 JEL pour les lots HP et BP de l'exploitation 1 et de l'exploitation 2. Cette approche évite le biais qui aurait été l'influence du nombre d'animaux à un stade de lactation déterminé. Dans ces conditions, il apparaît que les modifications ont permis le maintien, voire une augmentation des productions de lait par rapport à celles observées avant l'intervention dans les exploitations. En outre, cette méthode de correction a été également appliquée pour le calcul de l'excrétion azotée à une durée fixe de 185 JEL pour les deux exploitations, rendant ainsi les différentes comparaisons possibles et pertinentes. Une autre originalité du présent travail réside dans

Tableau 7. Évolution en fonction des contrôles laitiers, de la teneur en urée dans le lait et de la proportion d'animaux présentant un taux d'urée $> 300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ dans les deux exploitations. Comparaison par rapport aux données enregistrées au contrôle 1, c'est-à-dire avant la visite — *Evolution of urea concentration and the proportion of cows with urea concentration higher than $300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ in the two farms according to milk records. All data were compared to the first milk record.*

Contrôles laitiers	Exploitation 1			Exploitation 2		
	Urée dans le lait ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)					
	moyenne	SEM	P > F	moyenne	SEM	P > F
Contrôle 1	288,9	5,54	-	312,2	5,91	-
Contrôle 2	228,9	5,20	***	233,1	5,94	***
Contrôle 3	202,3	5,21	***	206,3	5,99	***
Contrôle 4	243,3	5,12	***	220,1	5,97	***
Contrôle 5	229,9	5,38	***	249,4	6,00	***
Proportion d'animaux avec un taux d'urée $> 300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$						
Contrôle 1	32,0 %			52,7 %		
Contrôle 2	3,3 %			5,7 %		
Contrôle 3	1,7 %			0 %		
Contrôle 4	7,9 %			1,9 %		
Contrôle 5	5,2 %			9,1 %		

Tableau 8. Évolution en fonction des contrôles laitiers et des bilans d'excrétion d'azote dans les deux exploitations. Comparaison par rapport aux données enregistrées au contrôle 1, c'est-à-dire avant la visite — *Evolution of nitrogen excretion in the two farms according to milk records. All data were compared to the first milk record.*

Contrôles laitiers	Exploitation 1			Exploitation 2		
	moyenne	SEM	P > F	moyenne	SEM	P > F
Azote excrété en g par jour et par vache						
Contrôle 1	272,8	5,60	-	224,1	3,92	-
Contrôle 2	260,2	5,35	**	216,9	3,88	**
Contrôle 3	252,3	5,33	***	211,8	3,86	***
Contrôle 4	257,4	5,34	*	212,1	3,83	**
Contrôle 5	257,8	5,52	*	224,6	3,87	NS
Azote excrété en g par litre de lait corrigé à 4 % MG et à 185 JEL						
Contrôle 1	9,2	0,11	-	10,8	0,19	-
Contrôle 2	8,9	0,11	**	10,1	0,19	***
Contrôle 3	8,8	0,11	**	9,8	0,19	***
Contrôle 4	9,0	0,10	NS	9,8	0,19	***
Contrôle 5	8,9	0,11	*	9,7	0,19	***
Prédiction de l'azote excrété en kg par an et par vache						
Contrôle 1	94,7	1,80	-	79,4	1,27	-
Contrôle 2	90,8	1,72	**	77,0	1,25	**
Contrôle 3	88,8	1,71	***	75,4	1,25	***
Contrôle 4	91,0	1,71	*	75,5	1,24	**
Contrôle 5	90,5	1,77	*	79,6	1,25	NS

MG : matière grasse — *fat* ; JEL : jours en lactation — *days in milk*.

l'utilisation, non seulement des productions laitières L_4 au niveau de la vache laitière prise individuellement, mais également des teneurs en urée individuelles obtenues à chaque contrôle laitier. Une telle approche apparaît plus pertinente que la simple utilisation des données de la laiterie sur le lait de tank.

L'excrétion totale d'azote dans l'exploitation 1 était, de manière attendue, plus élevée que dans l'exploitation 2 (260,1 contre 217,9 g par jour par vache) (**Tableau 8**). Cette différence était à associer avec la différence de niveau des productions laitières. La situation était inversée une fois l'excrétion ramenée par litre de lait L_4 . Il apparaît donc que la conduite réalisée dans l'exploitation 1 permettait une meilleure efficacité de l'utilisation de l'azote puisqu'elle excrétaient moins d'azote en g par litre produit.

Suite à la première visite, des adaptations de la conduite des rations ont été proposées dans les deux exploitations afin d'optimiser la synchronisation de l'énergie et de la protéine (DVE/KVEM) tout en diminuant le bilan azoté théorique (OEB). Il en est résulté des diminutions significatives de l'azote excrété et ce, quelle que soit la manière dont on exprime l'excrétion, à savoir en excrétion totale azotée

par jour par vache, en excrétion azotée par litre L_4 et en kilo par vache par an. L'ampleur des réductions aurait pu être considérée comme modeste, elle a été néanmoins de 7,5 % et de 5,5 % respectivement dans les exploitations 1 et 2 et elle est réaliste dans le contexte de l'exploitation. En effet, il fallait, dans les propositions, utiliser les aliments de l'exploitation en termes de stock et de qualité. Il est intéressant de noter que pour une application pratique par l'éleveur, les changements doivent être techniquement réalisables en accord avec les méthodes de travail de l'exploitant. C'est donc principalement au niveau des aliments concentrés du commerce (correcteur azoté et concentré de production) qu'il est possible d'intervenir. Une diminution des quantités distribuées, une adaptation de la teneur en protéines du correcteur et un choix plus adéquat d'un concentré de production ont été réalisés. Un avantage supplémentaire des modifications pertinentes a résidé en une diminution des coûts de la ration, qu'ils soient exprimés en jour par vache ou par litre de lait (**Tableaux 3, 4 et 5**).

Les prédictions de l'excrétion azotée par vache et par an reprises pour les deux exploitations dans le **tableau 8** étaient globalement proches des données

rapportées par région par Lambert et al. (2010). La comparaison des deux exploitations dans leurs régions respectives montre néanmoins que les présentes excréments étaient plus faibles que celles présentées par Lambert et al. (2010). Ces différences peuvent être expliquées par la durée de la lactation prise en considération, à savoir 323 jours dans le présent travail contre 365 jours dans Lambert et al. (2010). Une autre explication réside dans l'utilisation d'un autre mode de calcul pour l'excrétion annuelle. Enfin, il faut noter que pour le présent travail, les productions individuelles et mensuelles ont été utilisées, alors que Lambert et al. (2010) se référait à des valeurs régionales et annuelles. Il s'agissait en réalité de deux objectifs différents. Les données de Lambert et al. (2010) étaient en effet destinées à des comparaisons de statistiques à l'échelle nationale ou régionale. Par contre, l'approche proposée était non seulement adaptée à l'échelle de l'exploitation, mais suggérait un management et un suivi spécifique en fonction du contexte de chaque exploitation.

L'autonomie alimentaire est un paramètre pertinent à prendre en considération dans le contexte économique actuel (Stilmant et al., 1999 ; Pfmiln, 2009). Dans le cas de l'exploitation 1, la production d'ensilage de maïs et d'ensilage d'herbe couvre approximativement 60 % des apports en matières sèches de la ration contre 72 % dans l'exploitation 2. Il en résulte un coût d'alimentaire journalier plus élevé d'environ 1 EUR par vache et par jour dans l'exploitation 1 par rapport à l'exploitation 2. Dans de telles conditions, il est impératif d'optimiser tous les facteurs qui ont un impact sur la production et ce d'autant plus dans l'exploitation 1 que dans l'exploitation 2, afin de maintenir l'efficacité du système en termes économique et environnemental.

5. CONCLUSION

Les données de ce travail proposent des pistes de réflexion quant aux stratégies futures de gestion des exploitations en matière d'impacts environnementaux. Les conduites différentes rencontrées dans deux exploitations étudiées ont mis en évidence des résultats contrastés en termes de productions laitières et de rejets azotés. Avec une conduite intensive (cas de l'exploitation 1), les rejets azotés par litre de lait produit ont été minimisés car les animaux sont très productifs. Une conduite extensive (cas de l'exploitation 2) a entraîné des rejets azotés plus faibles par animal et plus élevés par litre produit. Si la conduite intensive est plus efficace en termes de rejets azotés, la conduite extensive se justifie dans un contexte d'autonomie alimentaire, d'agriculture biologique ou par la robustesse des exploitations. La cohabitation d'exploitations intensives et extensives, performantes par un suivi au cas par cas, répond à un besoin d'agriculture multifonctionnelle (Stilmant

et al., 2006) qui fait la richesse culturelle, paysagère et fournit des produits de qualité différenciée. Dans les deux exploitations étudiées, la correction raisonnée et précise des rations a amélioré l'impact environnemental en réduisant les rejets azotés de 5 à 7 %, tout en maintenant les productions laitières. La généralisation d'un tel suivi à l'échelle wallonne par une structure d'encadrement permettrait d'améliorer la rentabilité des exploitations et de diminuer leur impact environnemental (Dufrasne et al., 2010). Cette approche technique, économique et environnementale, à long terme, semblable à celle suggérée par Ghysel et al. (2009), apparaît indispensable pour améliorer les performances des exploitations laitières et leur liaison au sol (ratio « production d'azote (organique) par le cheptel / capacité maximale de valorisation d'azote organique sur les parcelles de l'exploitation »).

Bibliographie

- Borsting C.F. et al., 2003. Reducing nitrogen surplus from dairy farms. Effects of feeding and management. *Livest. Sci.*, **83**, 165-178.
- Carlsson J. & Pehrson B., 1994. The influence of the dietary balance between energy and protein in milk concentration. Experimental trials assessed by two different protein evaluation systems. *Acta Vet. Scand.*, **35**, 193-205.
- De Brabander D.L., Botterman S.M., Vanacker J.M. & Boucqué C.V., 1998. 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. In : *5^e Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, 2-3 décembre 1998, La Villette, France, INRA.*
- De Campeneere S., de Brabander D.L. & Vanacker J.M., 2006. Milk urea concentration as affected by thoroughage type offered to dairy cattle. *Livest. Sci.*, **103**, 30-39.
- De Campeneere S. et al., 2009. Feeding measures to reduce nitrogen excretion in dairy cattle. *Arch. Anim. Nutr.*, **63**(2), 87-103.
- Deprez B., Parmentier R., Lambert R. & Peeters A., 2007. Rendement, qualité, économie et environnement. In : *Les prairies temporaires : une culture durable pour les exploitations mixtes.* Dossier de la Recherche agricole. Vol 2. Namur, Belgique : Région Wallonne, 7-38.
- Dhanoa M.S. & le Du Y.L.P., 1982. A partial adjustment model to describe the lactation curve of a dairy cow. *Anim. Prod.*, **34**, 243-247.
- Directive 71/250/EEC, 1971. Community methods of analysis for the official control of feedingstuffs. *Off. J. Eur. Communities*, **155**, 13-37.
- Directive 71/393/EEC, 1971. Community methods of analysis for the official control of feedingstuffs. *Off. J. Eur. Communities*, **279**, 7-18.

- Directive 72/199/EEC, 1972. Community methods of analysis for the official control of feedingstuffs. *Off. J. Eur. Communities*, **123**, 6-34.
- Dufrasne I., Istasse I., Robaye V. & Hornick J.L., 2010. Influence du type de fertilisation, du jour de pâturage et du mois de l'année sur les rejets azotés chez des vaches laitières. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **14**(S1), 45-57.
- Ghysel F., Curnel Y., Oger R. & Stilmant D., 2009. Modéliser les performances techniques, économiques et environnementales des systèmes agraires afin d'explorer les voies d'évolutions possibles : le modèle « OptiMAE ». In : *16^{es} Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, 2-3 décembre 2009, Paris, France*, 93-96.
- Groff E.B. & Wu Z., 2005. Milk production and nitrogen excretion of dairy cows fed different amounts of protein and varying proportions of alfalfa and corn silage. *J. Dairy Sci.*, **88**, 3619-3632.
- Hutson J. et al., 1998. Improving dairy farm sustainability. II: Environmental losses and nutrient flows. *J. Prod. Agric.*, **11**, 233-239.
- Klausner S., 1993. Mass nutrient balances on dairy farms. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for feed manufacturer, 19-21 Octobre, 1993, Department of Animal Science and Division of Nutrition, Cornell University Agricultural Experiment Station, Ithaca, NY, USA*, 126-129.
- Kohn R.A., Kalscheur K.F. & Russek-Cohen E., 2002. Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.*, **85**, 227-233.
- Lambert R. et al., 2010. Vers une révision de la norme de production d'azote de la vache laitière : justification et conséquences sur le taux de liaison au sol des exploitations laitières. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **14**(S1), 67-71.
- Leonardi C., Stevenson M. & Armentano L.E., 2003. Effect of two levels of crude protein and methionine supplementation on performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **86**, 4033-4042.
- Ministère de l'Agriculture, 1983. *Het nieuw energiesysteem (VEM) voor de melkveehouderij in België*. 2^e ed. Brussel: Ministerie van Landbouw.
- Ministère de l'Agriculture, 1992. *DVE : le nouveau système d'évaluation des protéines pour le bétail bovin en Belgique*. Bruxelles : Service Information du Ministère de l'Agriculture.
- Nousiainen J., Shingfield K.J. & Huhtanen P., 2004. Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *J. Dairy Sci.*, **87**, 386-398.
- Pfimplin A., 2009. De l'autonomie alimentaire à la ferme à la souveraineté alimentaire des peuples. *Alter Agri*, **98**, 3.
- SPF Économie, 2011. *Résultats définitifs de l'enquête agricole de mai 2010*, http://statbel.fgov.be/fr/modules/pressrelease/statistiques/economie/recensement_agricole_de_mai_2010.jsp, (15/12/2012).
- Stilmant D., Lecomte Ph. & Fabry L., 1999. Un cheptel performant valorisant les fourrages de l'exploitation : le meilleur gage de rentabilité pour des exploitations laitières respectueuses de leur environnement. In : *6^e Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, 1-2 décembre 1999, Paris, France*, 51.
- Stilmant D., Decruyenaere V. & Winance E., 2006. Comment prendre en compte le long terme dans l'orientation donnée à nos systèmes d'élevage herbagers ? *Fourrages*, **185**, 123-128.
- Tamminga S. et al., 1994. The Dutch protein evaluation system: the DVE/OEB-system. *Livest. Prod. Sci.*, **40**, 139-155.
- Wattiaux M.A. & Karg K.L., 2004. Protein level for alfalfa and corn silage based diets. I. Lactational response and milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.*, **87**, 3480-3491.

(27 réf.)