

Intégrer les séquences et pratiques alimentaires de chaque élevage pour calculer les rejets azotés du troupeau laitier

DELABY L. (1), COMMEUREUC L. (2), FEBVRE E. (3), PEYRAUD J.L. (1)

(1) INRA, AgroCampus Ouest, UMR 1348, Physiologie, Environnement, Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Elevage, F-35590 Saint Gilles

(2) Conseil Elevage 25-90, 66, rue des Epiceas 25640 Roulans

(3) Jura Conseil Elevage, 455, rue du Colonel de Casteljau, BP 10059, 39002 Lons le Saunier Cedex

RESUME

Dans le cadre du projet européen RedNex, un outil de calcul des restitutions d'azote des vaches et génisses laitières (NexDairy) a été développé afin d'intégrer les séquences et pratiques alimentaires spécifiques de chaque élevage. Selon d'une part la composition de ces rations et la teneur en azote des ingrédients et d'autre part leurs niveaux d'ingestion estimés à partir des performances et de la capacité d'ingestion des animaux, les quantités d'azote ingérées, fixées chez l'animal en croissance ou exportées dans le lait, et les quantités excrétées dans les déjections sont calculées. Cette méthode d'évaluation des rejets azotés a été testée en élevage par les organismes de Conseil Elevage de Franche Comté qui disposent de l'ensemble des données nécessaires au modèle. Cette analyse à l'échelle du troupeau et de son alimentation permet de bien coller à la réalité de l'élevage concerné et d'évaluer les sources d'inefficacité et les marges de progrès possibles sur l'un des 3 postes essentiels (animal-troupeau / bâtiment-stockage / sol-plante) du cycle de l'azote en élevage.

Taking into account the sequences and practices of the livestock feeding system to predict annual dairy herd nitrogen excretion

DELABY L. (1), COMMEUREUC L.(2), FEBVRE E.(3), PEYRAUD J.L.(1)

(1) INRA, AgroCampus Ouest, UMR 1348, Physiologie, Environnement, Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Elevage, F-35590 Saint Gilles

SUMMARY

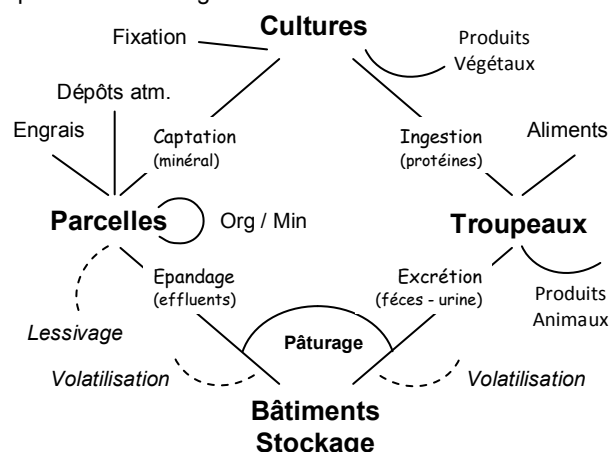
In the context of the European project RedNex, a calculation tool named NexDairy was developed to evaluate the dairy cow and heifer nitrogen excretion taking into account the specificity of the feeding sequences and practices at the dairy farm level. According to the diet composition and feed N content on the one hand and the animal performance and their intake capacities on the other hand, the quantities of N intake, N fixed by the growing animals or exported in milk by the dairy cows and excreted N were calculated. This methodology was tested in a commercial farm by the Franche Comté Conseil Elevage organisations that have access to the herd data needed. This herd feeding approach is well adapted to evaluate, at the farm level, the sources of inefficiency and the margins of progress on one of the three main nodes (animal-herd / building-storage / soil-plant) of the N cycle in livestock systems.

INTRODUCTION

Si l'azote (N) est un élément indispensable à la vie terrestre et donc à la production agricole, il peut dans certaines situations et sous certaines formes devenir un élément agressif pour l'environnement (Peyraud et Cellier, 2012). De fait, depuis quelques années, l'activité d'élevage a été reconnue comme un acteur potentiel important en matière de risques de pollution azotée. Ces pollutions sont généralement classées en deux grandes catégories selon la forme des composés azotés considérés et selon qu'elles concernent l'eau ou l'air. On peut ainsi distinguer comme éléments à risques pour l'environnement, les formes gazeuses (NH_3 , N_2O) et les formes minérale (NO_3) ou organique dissoutes de l'azote. L'analyse descriptive simplifiée du cycle de l'azote des exploitations d'élevage (Figure 1) nous indique clairement que l'élevage est directement concerné par ces divers composés azotés et ce à plusieurs étapes du cycle de l'azote.

Il importe également de comprendre que ces pertes d'azote constituent une source d'inefficacité économique dans la mesure où les éleveurs achètent à la fois de l'engrais minéral et des aliments riches en protéines qui, en excès ou mal utilisés, deviendront des sources de pollution potentielle. Pour des raisons économiques et environnementales, limiter les gaspillages, réduire les pertes vers l'air et l'eau et améliorer la valorisation de l'azote à toutes les étapes du cycle constituent un challenge majeur des systèmes d'élevage.

Figure 1 : Description simplifiée du cycle de l'azote en exploitation d'élevage



Les ruminants contribuent à différents flux du cycle de l'azote de part leur consommation de protéines issues des cultures de l'exploitation ou des aliments achetés à l'extérieur (notamment les concentrés tels les tourteaux), leur production de lait, de viande et de laine exportée et de part leurs déjections (féces et urine) émises en bâtiment et stockées avant épandage ou émises directement sur la prairie en période de pâturage. La transformation de l'azote par l'animal en produits destinés à l'alimentation humaine se caractérise par un rendement modeste (de 10 à 30% au

mieux selon le type d'animal et de produits). En conséquence, les ruminants sont également d'importants producteurs d'effluents organiques, valorisables par recyclage comme fertilisants, ce qui contribue aussi à la pérennité des systèmes de production (Delaby et al, 2013).

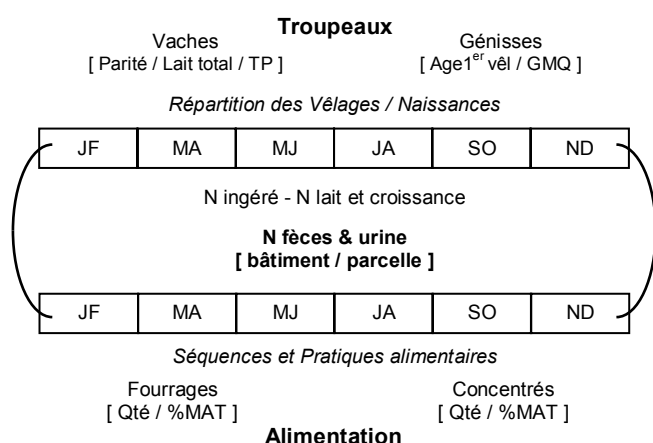
Si la nutrition azotée et son adéquation aux besoins des animaux constituent un élément essentiel de la performance des troupeaux laitiers, le niveau des apports azotés et les pratiques de rationnement influent également sur les rejets azotés du troupeau (Vérité et Delaby, 1998).

La quantification de ces rejets à l'échelle du troupeau et de l'année est un des piliers de l'application de la directive « Nitrates » pour évaluer la charge en azote organique épandable de l'exploitation. Au-delà des références appliquées dans le cadre réglementaire (Delaby et Lucbert, 1999 et JORF, 2011) qui ne tiennent pas compte des spécificités de chaque élevage, l'éleveur a intérêt à pouvoir quantifier les flux en jeu au sein de son exploitation afin d'évaluer les voies d'amélioration possibles de l'efficacité d'utilisation de l'azote que ce soit au travers les pratiques d'alimentation du troupeau ou de valorisation des effluents d'élevage. Dans le cadre du projet européen RedNex, un outil de calcul des restitutions d'azote par les vaches et les génisses laitières (NexDairy) a été développé sous tableur afin d'intégrer les séquences et pratiques alimentaires spécifiques de chaque élevage.

1. DESCRIPTION DES PRINCIPES DE CALCUL

Afin de limiter les informations nécessaires, d'en simplifier la saisie tout en conservant une description assez fine des séquences alimentaires d'une année, le modèle calcule les flux d'azote par période de 2 mois pour les vaches laitières et de 3 mois pour les génisses. A chaque période, les différentes catégories d'animaux sont mises en relation avec les rations pratiquées par l'éleveur afin de calculer les quantités d'N ingérées, valorisées et excrétées (Figure 2). Les calculs sont réalisés à l'échelle de la journée moyenne d'une période pour chaque lot d'animaux puis sommés à l'échelle de la période puis de l'année. Finalement, les quantités annuelles d'N sont exprimées par animal (vaches et génisses), par tonne de lait produite ou pour le troupeau pris dans son ensemble.

Figure 2 : Représentation schématique du modèle séquentiel et des paramètres d'entrée nécessaires



1.1 CARACTERISTIQUES DU TROUPEAU

Les caractéristiques du troupeau de vaches laitières concernent la répartition bimestrielle des vêlages par effectif, la production laitière totale moyenne, le taux protéique moyen de la lactation et le poids vif moyen au vêlage des vaches en distinguant les primipares et les multipares. Concernant les génisses, le modèle requiert la répartition des effectifs de naissance par trimestre, la croissance moyenne en g/jour des

génisses pendant la phase d'élevage par période de 3 mois et l'âge moyen au 1^{er} vêlage. Chaque type d'animal (primipares, multipares ou génisses) associé à sa période de vêlage ou de naissance constitue un lot d'animaux qui aura par la suite les mêmes performances et la même conduite alimentaire. Au plus, dans le cas de vêlages très étalés, le modèle aura à gérer 6 groupes de primipares, 6 de multipares, 1 de vaches tarées et 4 groupes de génisses. Néanmoins, dans la plupart des situations, cette apparente complexité est simplifiée par le fait que plusieurs lots d'animaux (vaches d'un part et génisses d'autre part) ont à un moment donné de l'année des conduites alimentaires identiques.

1.2 DESCRIPTION SEQUENTIELLE DES PRATIQUES D'ALIMENTATION

La description quantifiée des séquences alimentaires au cours de l'année diffère selon les vaches et les génisses. Lors d'enquêtes en élevage, les quantités ingérées de fourrages et de concentrés par les vaches laitières sont généralement bien évaluées, même si rarement pesées. A l'inverse, pour les génisses, du fait notamment de leur variation de poids vif continue, les fourrages ingérés sont très mal décrits tandis que les quantités de concentré distribuées sont mieux connues. Fort de ce constat, le modèle repose pour les lots de vaches laitières sur une description des quantités ingérées journalières de chaque fourrage (5 au maximum) et concentré (4 au maximum) présent dans la ration pour une période donnée et de leur teneur en MAT issue d'analyses réalisées sur l'élevage ou de référentiel, notamment pour l'herbe pâturée qui varie au cours de la saison de pâturage. Pour les lots de génisses, de la naissance au 1^{er} vêlage, la composition de la ration en fourrages (4 max), exprimée en pourcentage, est renseignée ainsi que les quantités de concentré (4 max) distribuées et la teneur en MAT respective de chaque aliment présent dans la ration. Afin de faciliter la saisie, les seules cellules à compléter qui dépendent de l'existence ou non des différents lots possibles apparaissent en couleur dans la feuille de saisie.

Afin d'évaluer les quantités d'N émises en bâtiments et au pâturage, le modèle requiert également, par période, la saisie du temps (en heures par jour) passé par les troupeaux (vaches et génisses) à l'extérieur.

1.3 CALCUL DE L'AZOTE VALORISE ET EXCRETE

1.3.1 Les vaches laitières

Les quantités d'azote ingérées (Ning - g/j) sont calculées à partir des différents ingrédients de la ration comme la somme des produits de la MS ingérée par la teneur en N (MAT/6,25) de chaque aliment.

La production laitière individuelle journalière (PL - kg/j) ainsi que le taux protéique du lait (TP - g/kg) sont calculés pour chaque lot de vaches selon leur pic de lactation et leur stade de lactation à partir des équations décrivant les profils de lactation publiés par Faverdin et al (2011), et corrigées de l'effet « mois de vêlage » selon les principes décrits par Huquet et al (2011). Pour chaque parité, le pic de lactation est calculé à partir de la production totale renseignée selon le rapport $PL_{pic} = PL_{tot} / 259$ ou 224 respectivement pour les primipares et les multipares (Faverdin et al, 2011).

La quantité d'N exportée dans le lait est calculée à partir de l'équation $N_{lait} (g/j) = PL \times (TP + 1,3) / 6,36$. Le coefficient de 1,3 ajouté au TP permet de tenir compte de l'N non protéique du lait. Les quantités d'azote excrétées dans les fèces (Nfécal - g/j) sont évaluées en admettant une excrétion stable de 8 g d'N par kg de MS ingéré, soit une valeur un peu plus élevée que celle retenue par le Corpen (7,2 g - Delaby et Lucbert, 1999) suite aux travaux récents de Cutullic et Peyraud (2013, non publiés). Enfin, l'N urinaire (Nurin - g/j) est calculé par différence entre l'Ning et la somme de Nlait et Nfécal, compte tenu du fait que les autres postes concernés

(Nveau, Ncroissance) sont négligeables chez les vaches laitières.

1.3.2 Les génisses d'élevage

Les quantités de fourrages ingérées par les génisses sont estimées à chaque période selon leur poids vif et l'équation de leur capacité d'ingestion proposée par Agabriel et Meschy (2011) en admettant par simplification un valeur d'encombrement moyenne (valeur UE) des fourrages de 1,10 UEB et un taux de substitution fourrages / concentrés de 0,50. Les quantités d'N ingérées sont ensuite calculées à partir de la teneur en N (MAT/6,25) des composants de la ration.

Les protéines corporelles fixées (Nfixé) qui dépendent du gain de poids ont été évaluées grâce au modèle proposé par Garcia et al (2011) qui intègre la différence de masse corporelle délipidée entre deux périodes. Finalement, chez la génisse laitière de 600 kg, cela correspond à environ 23 g d'N fixés par kg de poids vif.

Comme décrit pour les vaches laitières, les quantités d'N fécal excrétées sont calculées à partir des quantités de MS ingérées et d'un coefficient d'excrétion un peu plus faible et fixé à 7,5 g d'N / kg MS. L'N urinaire excrété correspond alors à la différence entre l'Ning d'une part et les quantités d'Nfixé et d'Nfécal émis.

Pour chaque catégorie d'animaux, et à chaque période, la partition des déjections et des quantités d'azote excrétées selon les sites d'émission est calculée au prorata du temps passé en bâtiment ou à l'extérieur.

2. DES PREMIERS RESULTATS OBTENUS EN FRANCHE-COMTE

Cet outil a été utilisé en Franche Comté par les Organismes de Conseil Elevage (OCL) du Doubs et du Jura en 2012 dans le cadre des actions de développement en faveur d'une meilleure utilisation de l'azote en élevage, visant à renforcer l'autonomie des élevages tant en matière de complémentation en protéines que de valorisation des effluents d'élevage. Cette action a également permis de tester en vraie grandeur la pertinence et la « praticabilité » (recensement et saisie des données) de l'outil NexDairy.

2.1 DES SYSTEMES A BASE DE FOIN ET DE PATURAGE EN ZONE AOP COMTE

Les exploitations enquêtées (n=12 et 13, respectivement dans le Doubs et le Jura) sont toutes situées en zone AOP Comté. En moyenne, pour les deux départements, les troupeaux sont composés de 53 vaches laitières (dont 16 primipares – 30 %) de race Montbéliarde mais un nombre de génisses élevées différent avec respectivement 29 et 15 femelles pour le Doubs et le Jura. Avec un âge au 1^{er} vêlage moyen tardif de 32-33 mois (de 26 à 37 mois), le nombre total d'UGB présent dans ces élevages atteint en moyenne 97 UGB dans le Doubs et 77 UGB dans le Jura.

Le système d'alimentation est basé en hiver (5 à 6 mois) sur une ration foin-regain et d'avril à octobre sur l'herbe pâturée, plus ou moins associée à un apport de foin ou parfois de l'affouragement en vert. Pour les vaches laitières, le temps cumulé annuel passé à l'extérieur des bâtiments correspond en moyenne à 145 jours (calculés en équivalent 24 heures) avec une faible variabilité (± 7 j) et une étendue de 30 jours caractérisant l'homogénéité des systèmes étudiés. Sur ces 25 exploitations, la production laitière moyenne observée est de 7400 kg (± 600 kg) par vache pour un apport de concentré (Cc) qui atteint en moyenne 1520 kg (± 330 kg) par lactation. La quantité de concentré consommée par génisse élevée jusqu'au vêlage est de 840 kg (± 270 kg), soit un peu plus de 10% de la ration totale consommée évaluée en moyenne à 8200 kg MS. Dans cette zone d'élevage, le niveau de

chargement global est plutôt faible et souvent inférieur à 1,0 UGB par hectare de SAU, surface souvent égale à la SFP et composée exclusivement de prairies pâturées et fauchées.

2.2 DES FLUX D'AZOTE VARIABLES MAIS CONFORMES AUX VALEURS ATTENDUES

Compte tenu des types de rations utilisés, du temps passé au pâturage, du niveau de production des vaches laitières et de la durée d'élevage des génisses, les résultats moyens obtenus lors de ces enquêtes (Tableau 1) sont conformes aux valeurs décrites par Vérité et Delaby (1998) pour les vaches laitières et Dulphy et Grenet (2001) pour les génisses d'élevage. Avec une ingestion annuelle de 177 kg d'N par vache, la quantité d'N excrété par tonne de lait produite est en moyenne de 18,7 kg, soit un rendement moyen de 22,5 %. Les rejets azotés exprimés par g d'N de lait produit (en moyenne 3,5 et 2,1 g N total excrété et urinaire respectivement) sont supérieurs aux résultats rapportés par Vérité et Delaby (1998) et obtenus à partir de rations équilibrées (100 g PDIE/UFL et apports PDIN=PDIE) à base d'ensilage de maïs (respectivement 2,3 et 1,3 g). Ces résultats reflètent à la fois la teneur en MAT et le déséquilibre PDIN/PDIE des régimes à base d'herbe pâturée et des régimes hivernaux à base de foin enrichis par des apports de concentrés protéiques importants (OCL Franche Comté, comm pers). Les mêmes tendances sont à noter pour les génisses d'élevage dont la teneur en MAT moyenne des rations atteint 145 g par kg MS ingéré ce qui conduit à un rendement N fixé/ N ingéré de 8,2%.

Tableau 1 : Les principaux flux d'azote associés aux pratiques d'alimentation en élevage laitier (moyenne, minimum et maximum)

Vaches laitières	
N ingéré (kg/vache/an)	177 [146 - 201]
MAT ration annuelle (g/kg MS)	156 [139 - 173]
N lait (kg/vache/an)	40 [30 - 46]
N fécal (kg/vache/an)	57 [49 - 66]
N urinaire (kg/vache/an)	80 [60 - 97]
N excrété (kg/tonne de lait)	18,7 [15,5 - 24,6]
N lait / N ingéré (%)	22,5 [17,3 - 25,6]
N urinaire / N lait (g/g)	2,1 [1,6 - 2,9]
N épandable ⁽¹⁾ (kg/vache/an)	115 [93 - 136]
Génisses (durant toute la durée d'élevage)	
N ingéré (kg/génisse)	188 [142 - 226]
MAT moyenne (g/kg MS)	145 [138 - 168]
N fixé (kg/génisse)	15 [13 - 16]
N fécal (kg/génisse)	106 [80 - 127]
N urinaire (kg/génisse)	61 [45 - 76]
N excrété (g/kg gain de poids)	243 [201 - 273]
N fixé / N ingéré (%)	8,2 [7,0 - 9,8]
N urinaire / N fixé (g/g)	6,9 [5,7 - 8,0]
N épandable ⁽¹⁾ (kg/génisse)	149 [115 - 176]

(1) au sens défini par le JORF (2011), à savoir (75% N émis en bâtiment) + N émis à l'extérieur

Le calcul de la quantité d'N épandable tel que défini par l'arrêté du JORF (2001) en admettant une volatilisation de 25% de l'N excrété émis en bâtiment aboutit en moyenne à des valeurs de 115 et 149 kg respectivement pour les vaches et les génisses. Ces résultats sont un peu supérieurs à ceux proposés au JORF (2011) mais sans conséquence en regard de la directive « Nitrates » compte tenu des niveaux de chargement rencontrés dans ces élevages.

Ces valeurs moyennes sont néanmoins empreintes d'une variabilité non négligeable que permet de mettre en évidence les enquêtes et l'outil NexDairy. Sur l'échantillon des 25 élevages enquêtés, l'étendue des données d'N ingéré varie de 55 et 83 kg respectivement chez les vaches et les

génisses tandis que celle de l'N total excrété varie de 49 et 68 kg (Tableau 1).

A l'échelle de l'exploitation, le 1^{er} facteur de variation des quantités totales d'N excrétées reste le nombre d'UGB total présents avec une pente moyenne de 112 kg d'N par UGB ($R^2=0,96$ – $S_{yx} = 975$). Parmi les facteurs d'influence à l'échelle du troupeau, le nombre d'UGB « génisse » présent par UGB « vache », qui varie dans l'échantillon de 0,26 à 1,18 et qui est très dépendant de l'âge au 1^{er} vêlage, est à considérer et est un levier d'action possible et efficace pour réduire les volumes d'effluents à gérer sur l'exploitation.

A l'échelle individuelle, chez les vaches comme chez les génisses, l'N total et urinaire excrété dépend d'abord de l'N ingéré. En moyenne, selon la régression calculée en inter exploitations, un accroissement d'ingestion d'N de 100 g se traduit par une augmentation de l'excrétion totale de + 89 g d'N (+ 65 g d'N urinaire) chez les vaches et de + 75 g d'N (+ 40 g d'N urinaire) chez les génisses. Ce lien étroit et positif souligne à la fois toute l'importance et la difficulté d'évaluer avec précision à la fois les quantités ingérées et les teneurs en N des aliments consommés. Ainsi, compte tenu de la teneur moyenne en MAT de la ration annuelle des vaches laitières observée (156 g / kg MS), une sur ou sous-estimation quotidienne de l'ingéré de 1 kg de MS sur l'année induit une variation de l'N excrété d'environ ± 9 kg. Cela constitue sans doute une des limites de la précision associée aux estimations de l'outil NexDairy.

A l'inverse, selon nos données, la quantité d'N total ou urinaire excrétée par vache n'est que peu reliée à la production totale de lait. Pour un même niveau de production laitière moyenne, les quantités d'azote excrétées varient de 120 à 150-160 kg d'N. Ainsi, exprimé par tonnes de lait, les rejets azotés totaux (dont urinaire) varient entre 15,5 (8,4) à 24,6 (15,0) kg d'N (Tableau 1). Chez les génisses, l'excrétion d'N par kg de gain de poids vif durant toute la phase d'élevage varie également, de 201 à 273 g. Même s'il faut rester prudent quant à la précision des données recueillies. Ces résultats confirment la diversité des pratiques alimentaires et l'existence de voies d'améliorations possibles en matière d'efficacité dans l'utilisation de l'azote ingéré au sein de systèmes d'élevage pourtant homogènes.

L'analyse par régression multiple des variations de l'efficacité de l'N ingéré, évaluée grâce aux ratios Nlait/Ning ou Nfixé/Ning, a permis de mettre en évidence l'influence significative de quelques facteurs d'élevage. Chez les vaches laitières, la production laitière par lactation a un effet positif sur l'efficacité (+0,33% pour 1000 kg de lait) tandis que la teneur en N du régime annuel (-0,86% pour 10 g de MAT/kg MS) et les quantités annuelles de concentré consommées (-0,40% pour 100 kg de Cc) ont des effets défavorables à l'efficacité. Chez les génisses d'élevage, trois composantes ont des effets négatifs, à savoir l'âge au 1^{er} vêlage (-0,23% par mois), et comme pour les vaches, la teneur en N du régime (-0,59% pour 10 g de MAT/kg MS) et les quantités totales de concentré consommées (-0,06% pour 100 kg de Cc). L'effet de l'âge au 1^{er} vêlage reflète la moindre fixation de protéines à l'approche de l'âge adulte (Garcia et al, 2011). Les deux derniers facteurs (MAT et Cc), qui influencent fortement l'N ingéré, discriminent bien les pratiques alimentaires des élevages enquêtés. Ces différents facteurs d'élevage influencent significativement et en sens opposé les variations des ratios d'excrétion d'N total sur l'N du lait produit ou fixé durant la croissance des génisses. Ainsi, la quantité d'N totale excrétée exprimée par g d'N du lait diminue de 0,72 g pour 1000 kg de lait en plus et augmente de 0,17 g pour 10 g de MAT/kg MS et de 0,086 g pour 100 kg de Cc ingéré.

L'analyse séquentielle non détaillée ici confirme ces effets globaux et réaffirme, notamment au pâturage (Delaby et al, 1996), l'effet négatif sur l'efficacité de l'azote d'un apport de concentré riche en protéines.

CONCLUSION - PERSPECTIVES

A partir d'une analyse séquentielle des pratiques alimentaires en élevage, l'outil NexDairy a permis de mettre en évidence la variabilité des flux d'azote associés à l'alimentation du troupeau laitier. Dans les régions où la réduction de la charge azotée associée à l'élevage est un enjeu majeur de sa pérennité, NexDairy pourrait être un outil d'aide à la recherche de solutions liées à l'alimentation et un stimulateur de bonnes pratiques. Il pourrait aussi devenir un outil de calcul reconnu pour évaluer les rejets épandables dans le cadre de la directive « Nitrates » en intégrant les spécificités de chaque élevage comme cela avait été proposé par le Corpen en élevage porcin.

Utilisé en Franche Comté, NexDairy a révélé sa pertinence dans l'animation de groupes d'éleveurs et la comparaison de pratiques, tout comme avant lui la méthode du bilan apparent proposée par Simon et Le Corre (1992). D'autres organismes de conseil en élevage ou d'autres régions devraient pouvoir en bénéficier. Compte tenu des données nécessaires aux calculs des flux d'azote, cet outil pourrait être étendu à l'analyse des émissions de CH₄ à partir de l'équation proposée par Sauvant et (2011), même si l'intérêt semble moins pertinent que pour les flux d'azote.

Avec une démarche similaire à NexDairy mais intégrant davantage les systèmes d'alimentation proposés par l'INRA, une application web dénommée CowNex a également été développée par Faverdin et al (<http://www.cownex-record.inra.fr/>). A terme, comme souligné dans l'introduction, NexDairy (ou CowNex) devraient constituer l'un des maillons d'un modèle plus global permettant d'évaluer les flux d'azote, les sources d'inefficacité et de pertes afin de favoriser le recyclage et la meilleure valorisation de cet élément indispensable aux productions animales.

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des éleveurs de Franche Comté ayant participé aux enquêtes.

L'outil NexDairy est disponible gratuitement sur simple demande au 1^{er} auteur : luc.delaby@rennes.inra.fr.

Agabriel J., Meschy F., 2011. In INRA Quae Ed, Alimentation des bovins, ovins et caprins, Paris, France, 77-90

Delaby L., Peyraud J.L., Vérité R., Marqui B., 1996. Ann. Zootech., 45, 327-341

Delaby L., Lucbert J., 2009. Brochure CORPEN sur l'évaluation des rejets des vaches laitières, 18 pages

Delaby L., Pochon A., Journet M., 2013. Fourrages, 213, 77-86

Dulphy J.P., Grenet N., 2001. Brochure CORPEN sur l'évaluation des rejets des bovins en croissance et à l'engrais, 31 pages

Faverdin P., Delagarde R., Delaby L., Meschy F., 2011. In INRA Quae Ed, Alimentation des bovins, ovins et caprins, Paris, France, 23-58

Garcia F., Agabriel J., Meschy F., 2011. In INRA Quae Ed, Alimentation des bovins, ovins et caprins, Paris, France, 91-122

Huquet B., Leclerc H., Ducrocq V., 2011. Renc. Rech. Ruminants, 18, 23-26

Journal Officiel République Française, 2011. Arrêté du 19 Déc 2011, Texte 12, N° 295, 15 p

Peyraud J.L., Cellier P et coll, 2012. Les flux d'azote liés aux élevages, 527 pages

Sauvant D., Giger-Reverdin S., Serment A., Broudiscou L., 2011. INRA, Prod Anim, 24(5), 433-446

Simon J.C., Le Corre L., 1992. Fourrages, 129,79-94

Vérité R., Delaby L., 1998. Renc. Rech. Ruminants, 5, 185-192