



Symposium sur les bovins laitiers

Le jeudi 29 octobre 2015

Centre expo COGECO, Drummondville

L'urée du lait comme outil d'évaluation de l'efficacité d'utilisation de la protéine alimentaire

Michel Wattiaux, Ph.D., professeur, département des sciences laitières,
Université de Wisconsin-Madison, USA



CRAAQ
CULTIVER L'EXPERTISE
DIFFUSER LE SAVOIR

Comité bovins laitiers

L'urée du lait comme outil d'évaluation de l'efficacité d'utilisation de la protéine alimentaire

Résumé

Un apport insuffisant en azote (N) chez les vaches en lactation pénalise la production de lait ainsi que la synthèse de protéines du lait. Par contre, l'utilisation excessive de suppléments protéiques, particulièrement les sources commerciales de protéines ingérées non dégradables dans le rumen (PIND), peut se traduire en une perte économique importante, engendrée par une suralimentation protéique, et en une perte d'azote dans l'environnement sous la forme d'azote-uréique urinaire. Alors, la question est : «*De quelle façon peut-on formuler une ration faible en protéines brutes qui permette de maintenir les performances de la vache sans entraîner de coûts supplémentaires ni de pertes d'azote dans l'environnement?*» Cet article présente la mesure de l'urée du lait comme un outil indispensable pour évaluer l'efficacité d'utilisation de l'azote. L'efficacité d'utilisation de l'azote se définit comme la capacité de la vache à convertir l'azote alimentaire en azote du lait ou, de façon plus générale, la capacité de la ration à libérer les nutriments (en quantité et proportion adéquates) afin de maximiser la synthèse de protéines dans le lait. D'autres expériences menées en Amérique du Nord ont démontré que, sur une base quotidienne, la vache laitière moderne convertit 26 % de l'azote ingéré en azote du lait et rejette autant d'azote sous la forme d'urée urinaire (168 g/jour) qu'elle n'en sécrète pour la synthèse de protéines du lait (166 g/jour). De façon générale, l'augmentation de la quantité de protéines brutes dans la ration fait augmenter la proportion d'azote ingérée et celle excrétée sous forme d'urée urinaire, et fait diminuer l'efficacité d'utilisation de l'azote. Malheureusement, la quantité de protéines brutes de la ration ne permet pas d'estimer le rendement protéique du lait. Pour sa part, l'urée du lait reflète assez précisément le teneur en protéine brute de la ration, il est un bon indicateur de l'excrétion d'urée urinaire ainsi que de l'efficacité d'utilisation de l'azote, mais, malheureusement, comme la protéine brute de la ration, il ne permet pas de prédire le rendement protéique du lait. Par exemple, l'analyse des données collectées sur des fermes du Midwest américain, par le contrôle laitier (dairy herd improvement (DHI) association), a démontré que la production de protéines du lait est maximale pour n'importe quelle concentration d'urée du lait comprise entre 10 à 16 mg/dL. Ainsi, contrairement à la croyance populaire, la concentration d'urée dans le lait ne reflète pas seulement un excès de protéines ingérées dégradables dans le rumen (PID). L'urée du lait devrait plutôt être interprétée comme un indicateur de la capacité générale de la ration à fournir les acides aminés et l'énergie (particulièrement le glucose) nécessaires afin de promouvoir l'utilisation la plus efficace de l'azote alimentaire chez une vache avec des caractéristiques données. Les données provenant du contrôle laitier ont aussi montré que le dosage quotidien de l'urée du lait est considérablement influencé par plusieurs facteurs zootechniques, telle la race, l'état de chair, la parité et la génétique, et par différentes interactions complexes existant entre les facteurs nutritionnels, zootechniques et de régie. Ainsi, la fixation d'un seuil à viser individualisé pour l'urée du lait pourrait être plus appropriée qu'un seuil standard pour tous les troupeaux. Néanmoins, notre analyse des études dans lesquelles des vaches de race Holstein étaient alimentées avec une ration typique du Midwest des États-Unis (ensilage de maïs, ensilage de luzerne, maïs grain et supplément protéique) a révélé que la production maximale de protéines (1,20 kg/jour) survient à une concentration d'urée du lait de 11,3 mg/dL, avec une ration à 16 % de protéine brute (sur une base de matière sèche). Sous ces conditions, l'excrétion d'azote uréique urinaire prévue est d'environ 134 g/jour, ce qui représente une diminution de 25 % comparé à une ration à 18 % de protéines brutes où l'excrétion d'azote uréique urinaire prévue est de 178g/jour, et ce, sans aucune répercussion sur le rendement protéique du lait de la vache. En conclusion, les producteurs et les intervenants en production laitière sont encouragés à déterminer une concentration d'urée du lait de référence pour un troupeau dont la ration est balancée selon les recommandations du NRC et de tenter de diminuer le teneur en PIND et/ou en PID afin de déterminer la concentration d'urée du lait la plus appropriée pour le troupeau en question.

Introduction

L'apport quotidien en azote (N) ou en protéines brutes, en protéines dégradables (PID) et en protéines non dégradables (PIND) dans le rumen est déterminé en fonction du choix des ingrédients, leur proportion

dans la ration et la quantité totale d'aliments ingérés par la vache. Un apport insuffisant en N pénalise la production de lait ainsi que la synthèse de protéines dans le lait, mais un excès d'azote alimentaire occasionne des coûts supplémentaires ainsi qu'une perte d'azote dans l'environnement sous forme d'urée urinaire. L'urée urinaire représente une préoccupation environnementale réelle. En effet, pendant l'entreposage et l'application du fumier, l'azote ou l'urée est converti en polluants atmosphériques tels que l'ammoniac, qui est à l'origine des pluies acides, ou en protoxyde d'azote (oxyde nitreux), un gaz à effet de serre important qui contribue aux changements climatiques. De plus, les concentrations élevées d'urée dans les déjections animales sont aussi à l'origine du phénomène d'eutrophisation des eaux de surfaces (rivières et lacs) et de la présence de nitrate dans l'eau de consommation (un problème de santé publique). Du point de vue de la rentabilité de la ferme, la supplémentation protéique, souvent nécessaire dans de nombreuses entreprises laitières, peut occasionner des frais d'alimentation plus élevés. Ainsi, une suralimentation protéique, particulièrement sous la forme de PIND, a un impact négatif direct sur la rentabilité de l'entreprise et sur l'environnement. Dans ce sens, la question qu'un nombre grandissant de chercheurs, d'intervenants et de producteurs se posent est : «*Comment est-il possible de formuler une ration faible en protéines brutes qui permette de maintenir la production laitière et la synthèse de protéines du lait tout en réduisant les pertes d'urée urinaire dans l'environnement?*».

La réponse à cette question est, en fait, très complexe, puisque cela dépend d'une multitude de facteurs d'ordre économique et nutritionnel dont la couverture est impossible dans un seul article. Mesurer l'ingestion d'azote directement à la ferme représente, habituellement, une procédure complexe et dispendieuse. Néanmoins, les nutritionnistes (conseillers en alimentation animale) possèdent de nombreux outils afin de vérifier que l'apport en azote est adéquat par rapport à l'efficacité de son utilisation, cette dernière définie comme la proportion de l'azote alimentaire convertie en azote du lait. Cet article met l'accent sur la mesure de l'urée du lait comme l'un des outils indispensables et complémentaires à considérer pour l'optimisation de l'alimentation du troupeau laitier. En effet, cette méthode est simple, car elle évite d'avoir à mesurer l'azote ingéré, et est aussi peu dispendieuse. La mesure de l'urée du lait peut être réalisée mensuellement pour chacune des vaches, lors du contrôle laitier, ou pour l'ensemble du troupeau en prenant un échantillon dans le réservoir à lait, lors de la collecte à la ferme. Surveiller la concentration et les variations d'urée du lait des vaches permet aux producteurs de déceler les problèmes d'ordre nutritionnel et, ainsi, prendre des décisions éclairées afin d'améliorer leur régime d'alimentation. Dans cet ordre d'idées, les principaux objectifs de cet article sont de discuter de l'origine de l'urée du lait, d'examiner le lien entre l'azote ingéré, la protéine du lait et l'excrétion d'azote uréique urinaire (tel que démontré par la recherche en nutrition chez les bovins laitiers), de revoir les principales sources de variations observées lors des contrôles laitiers (tel que démontré par l'analyse des données collectées par les contrôles laitiers) et finalement, de formuler des recommandations générales pour cibler la concentration d'urée du lait propre à un troupeau dont la ration est équilibrée en protéine brute, c'est-à-dire dont l'apport est minimal, mais adéquat.

La transformation de l'azote chez la vache : La relation entre ingéré et excrété

Le tableau 1 est un résumé des dernières recherches scientifiques présentant la proportion de l'azote ingéré qui se retrouve dans le lait, dans les fèces et dans l'urine sous la forme d'azote et d'urée. L'azote retrouvé dans le lait reflète principalement la synthèse protéique au niveau du pis (protéine du lait, g/jour = azote du lait x 6,38). Seule une faible proportion d'azote dans le lait se retrouve sous forme d'urée. Afin de bien visualiser la proportion de chaque élément, une vache typique excrète quotidiennement plus de 1 kg de protéines dans son lait (1 million mg/jour) et seulement 3 à 9 mg d'urée par jour. L'azote retrouvé dans les fèces provient de trois principales sources soit l'azote non digestible retrouvé dans les aliments, l'azote microbien non digestible produit dans le rumen et l'azote microbien produit dans le gros intestin. L'azote retrouvé dans l'urine, quant à lui, provient de différents produits finaux synthétisés suite à l'absorption de l'azote alimentaire. Les données du tableau 1 indiquent que 82 % et 79 % de l'azote totale excrétée dans l'urine est sous forme d'urée, et ce, pour le Nord de l'Europe et l'Amérique du Nord respectivement. Ce qu'il faut retenir de ces données est que la vache laitière moderne rejette davantage d'azote sous forme d'urée dans l'urine (152 g/jour et 168 g/jour pour le Nord de l'Europe et l'Amérique du Nord respectivement) qu'elle n'en sécrète dans le lait sous forme de protéines (133 g/jour et 166 g/jour pour le Nord de l'Europe et l'Amérique du Nord respectivement). Chez la vache laitière d'Amérique du Nord, l'efficacité d'utilisation moyenne de l'azote est de 26,1 % ($166 \times 100 / 637$; Tableau 1), alors que la proportion

moyenne d'azote rejetée dans l'urine sous forme d'urée est de 26,4 % de l'azote ingéré. Pour les vaches du Nord de l'Europe les proportions correspondantes sont de 27,4 % et de 38,1 % respectivement. Ces variations peuvent être expliquées en partie par la différence au niveau de la quantité d'azote ingérée entre les deux régions (Tableau1).

Table 1: Fractionnement de l'azote (N) chez la vache laitière (Spek et al., 2013a).

	Nord de l'Europe		Amérique du Nord	
	g/jour	%	g/jour	%
N ingéré, g/jour	485	100,0	637	100,0
N du lait, g/jour	133	27,4	166	26,1
N fécal, g/jour	159	32,8	223	35,0
N urinaire, g/jour	185	38,1	212	33,3
N-Urée urinaire, g/jour	152	31,3	168	26,4

En se basant sur les principaux ingrédients utilisés dans le Midwest des États-Unis, soit l'ensilage de maïs, l'ensilage de luzerne, le maïs grain et les suppléments protéiques (habituellement du tourteau de soya ou du tourteau de soya protégé), nous avons étudié la relation entre des variables clés de l'économie de l'entreprise et de la protection de l'environnement, à savoir, l'ingestion d'azote, l'azote du lait, l'azote sous forme d'urée urinaire et l'efficacité d'utilisation de l'azote, et ce, tout d'abord sur une base de protéine brute (figure 1) et, ensuite, sur une base d'urée dans le lait (figure 2).

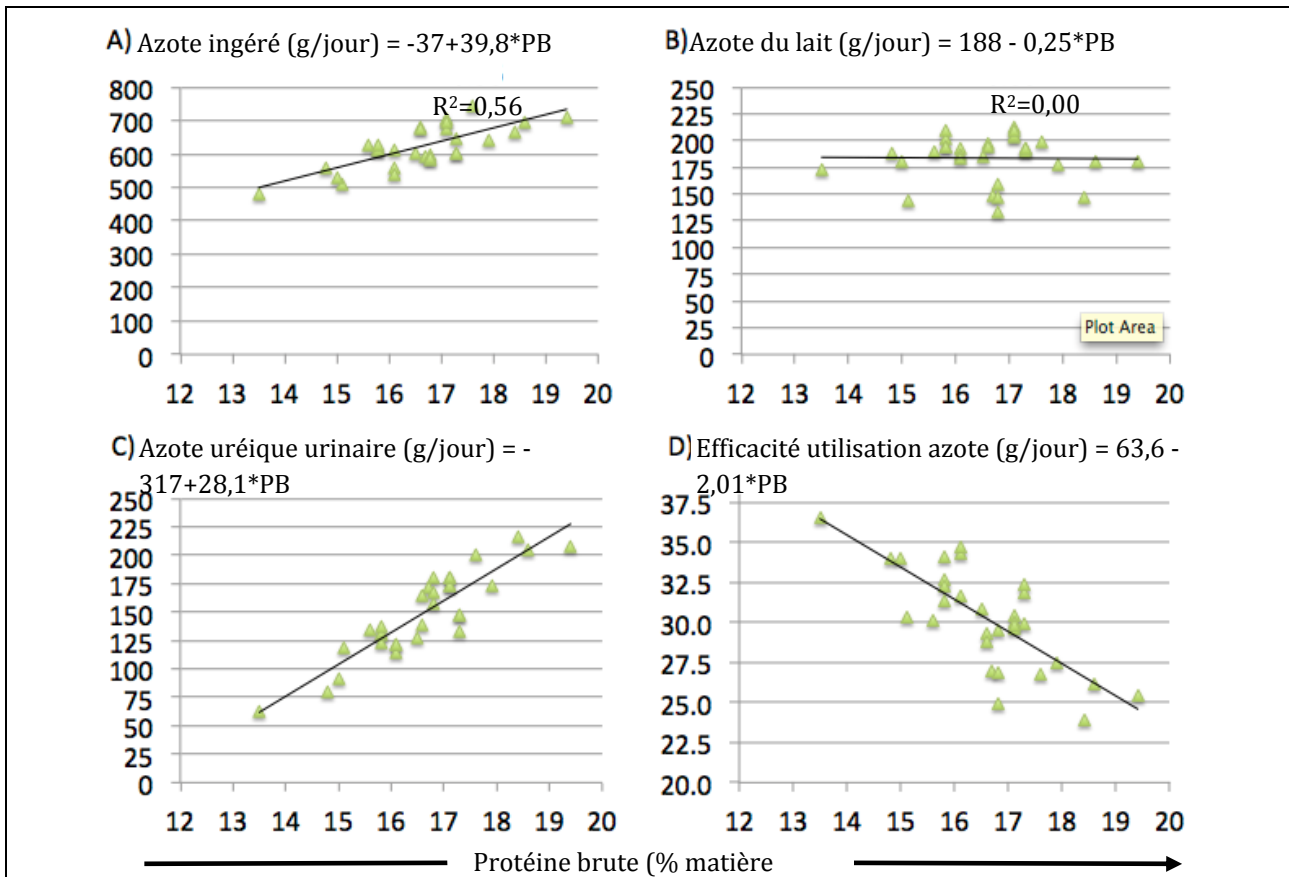


Figure 1: La protéine brute de la ration est un bon indicateur de: A) l'azote ingéré, B) l'azote du lait, C) l'azote sous forme d'urée dans l'urine et D) l'efficacité d'utilisation de l'azote. PB = protéine brute.

Dans ces régressions, un point représente la moyenne des résultats (n=31) obtenus pour un traitement donné à un groupe expérimental de vaches dans cinq expériences réalisées à l'Université de Wisconsin-Madison (Broderick, 2003; Olmos-Colmenero et Broderick, 2006a, 2006b; Broderick et al., 2008; et Broderick et al., 2009). Les coefficients de détermination (R^2) pour les quatre graphiques de la Figure 1 indiquent que la teneur en protéine brute de la ration, comme indicateur unique, explique 56 %, 0 %, 81 % et 85 % de la variation observée entre les données pour l'azote ingéré, l'azote du lait, l'azote sous forme d'urée dans l'urine et l'efficacité d'utilisation de l'azote, respectivement. Ce qu'il faut retenir de la Figure 1 c'est que:

- En plus de la teneur en protéine brute retrouvée dans la ration, l'ingestion de la matière sèche est un important indicateur de l'azote ingéré et explique 44 % (100-56) de la variation observée.
- La synthèse protéique du lait varie de 0,8 à 1,3 kg/jour approximativement (c'est-à-dire que l'azote dans le lait varie de 125 à 205 g/jour), mais est complètement indépendante de la teneur en protéine brute de la ration (pour les valeurs de protéine brute utilisées dans les cinq expériences). Ceci peut être expliqué, en partie, par le fait que les rations utilisées dans ces expériences étaient minutieusement équilibrées selon le NRC (2001). Par contre, cela peut aussi être dû à la capacité de la vache à synthétiser des protéines indépendamment de la quantité et de la source de protéine brute de la ration.
- La teneur en protéine brute de la ration peut être utilisée pour prédire, de façon assez précise, la quantité d'urée qui sera excrétée quotidiennement dans l'urine. Chaque réduction d'une unité de pourcentage de la protéine brute dans la ration, entre 19 et 13 % (sur une base de matière sèche), entraîne une baisse d'azote uréique de 28,1 g/jour dans l'urine.
- La teneur en protéine brute de la ration est négativement corrélée avec l'efficacité d'utilisation de l'azote. Donc, une diminution de la teneur en protéine brute de la ration permet d'augmenter l'efficacité d'utilisation de l'azote. Pour chaque réduction d'une unité de pourcentage de protéine brute dans la ration, entre 19 et 13 % (sur une base matière sèche), on observe une augmentation de la conversion de l'azote alimentaire en azote du lait de 2,01 %.

En utilisant les mêmes données expérimentales, nous avons étudié l'urée du lait comme indicateur de l'azote ingéré, de l'urée excrétée dans l'urine et de l'efficacité d'utilisation de l'azote (Figure 2). Les coefficients de détermination (R^2) retrouvés dans les quatre graphiques de la figure 2 démontrent que l'urée du lait, utilisée comme indicateur unique, explique 30 %, 9 %, 78 % et 65 % de la variation observée entre les données pour l'azote ingéré, l'azote du lait, l'azote uréique urinaire et pour l'efficacité d'utilisation de l'azote, respectivement. Les points importants à retenir de la Figure 2 sont :

- L'urée du lait n'est pas un bon indicateur de l'azote ingéré, tel que démontré par le faible coefficient de détermination ($R^2 = 0,30$), ce qui signifie que seulement 30 % de la variation totale observée pour l'azote ingéré peut être expliqué par la variation de l'urée du lait. Par contre, l'urée du lait est un bon indicateur de la teneur en protéine brute de la ration (données non présentées). L'équation utilisée afin de prédire la teneur en protéine brute dans la ration est protéine brute (% base de matière sèche) = $10,6 + 0,54 \times \text{urée du lait (mg/jour)}$ ($R^2 = 0,85$). Donc, 85 % de la variation dans la concentration en protéine brute dans la ration capter dans la variation correspondante de l'urée du lait. Ainsi, la concentration d'urée dans le lait peut être utilisée pour prédire tout changement attendu ou non au niveau de la teneur en protéine brute de la ration, et ce, même en conditions d'élevage (Jonker et al., 2002).
- Tout comme la protéine brute, l'urée du lait ne permet pas d'expliquer les variations existantes au niveau de la synthèse de protéines du lait. En d'autres mots, le mécanisme de la glande mammaire responsable de la synthèse des protéines dans le lait ne contribue pas significativement à la variation observée au niveau de l'urée du lait.
- Aussi, comme pour la teneur en protéine brute de la ration, l'urée du lait peut être utilisée pour prédire précisément l'excrétion d'azote uréique urinaire dans une journée. Pour chaque réduction de l'urée du lait d'une unité, entre 16 et 8 mg/dL, on observe une diminution de l'azote sous forme d'urée dans l'urine de 16,1g/jour.

- L'urée du lait est négativement corrélée avec l'efficacité d'utilisation de l'azote et est légèrement meilleure comme indicateur que la teneur en protéine brute de la ration. L'urée dans le lait capte 65 % de la variation de l'efficacité d'utilisation de l'azote (Figure 2), tandis que la protéine brute n'en capte que 58 % (Figure 1). Selon ces données, chaque réduction de l'urée du lait de 1 mg/dL, entre 16 et 8 mg/dL, est accompagnée d'une augmentation de la conversion de l'azote ingéré en azote du lait de l'ordre de 1,24 unités de pourcentage (Figure 2).

Il est important de noter que certains des résultats présentés ici ne peuvent être généralisés pour toutes les régions du monde. Les valeurs utilisées pour construire les graphiques de régression, présentés aux Figures 1 et 2, proviennent d'expériences réalisées avec des rations de composition similaire, et ce, au sein d'une seule université, soit l'Université du Wisconsin-Madison. Ainsi, on observe très peu de variations entre les données, ce qui aurait été différent avec : a) différents types de ration (teneur en fibres, amidon, PID et PIND qui peuvent varier avec le type de fourrage et le type de concentré utilisé pour balancer la ration), b) des différences au niveau de la population (ex. : race et génétique des vaches), c) différentes pratiques d'élevage (ex. : au pâturage vs aliments distribués à l'intérieur) ou méthodes d'échantillonnage du lait (ex. : nombre d'échantillons collectés par jour) et d) différentes méthodes d'analyse en laboratoire avec différents niveaux d'exactitude.

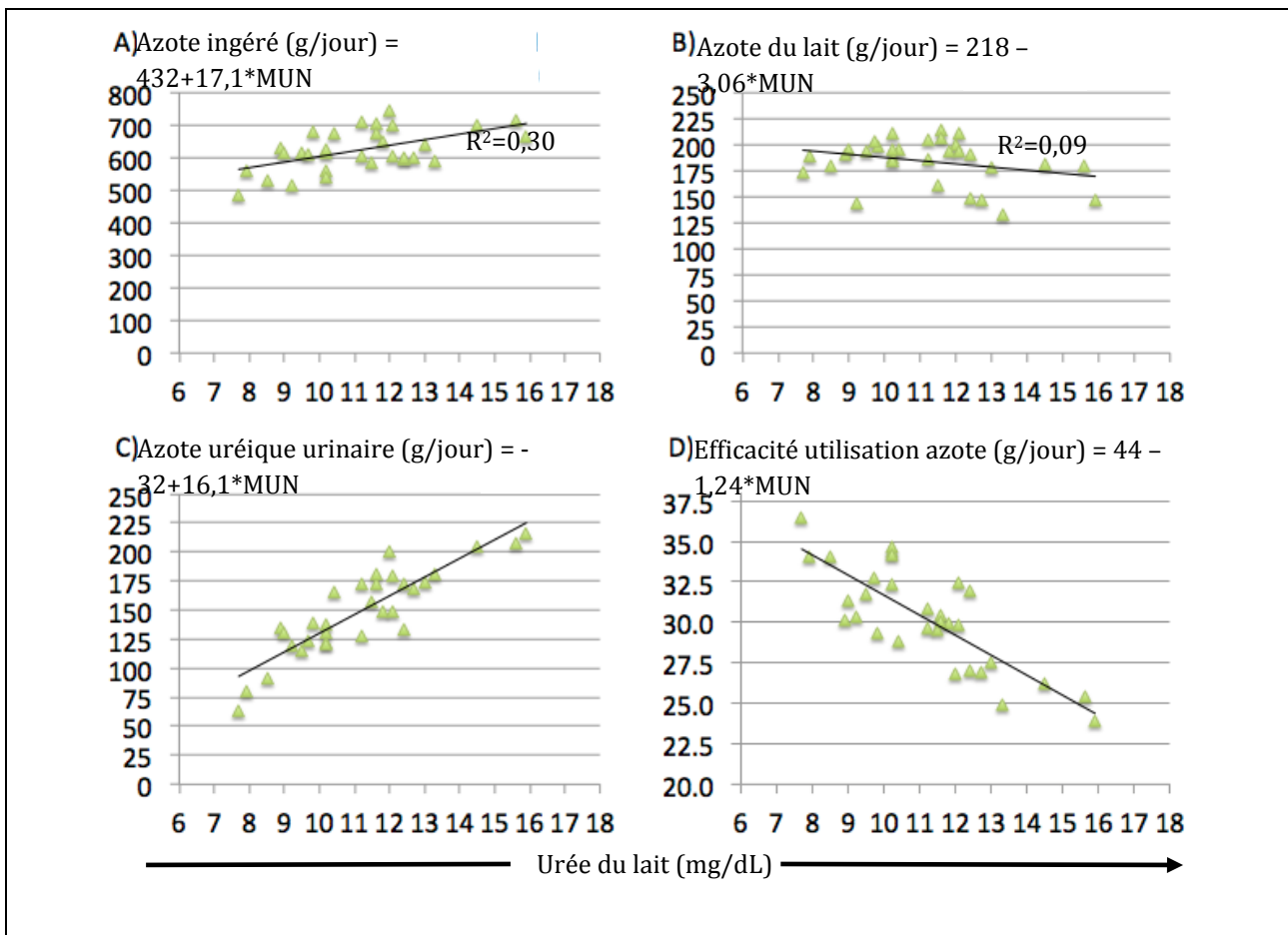


Figure 2: Concentration d'urée du lait comme indicateur de: A) l'azote ingéré, B) l'azote du lait, C) l'azote sous forme d'urée dans l'urine et D) l'efficacité d'utilisation de l'azote. MUN = urée du lait.

Transformation de l'azote chez la vache : les sources d'urée du lait

La nutrition protéique chez la vache laitière représente un réel défi dû aux transformations complexes de l'azote, qui ont lieu tout au long de la digestion, et aussi, dû aux grandes interactions existant entre les protéines et l'énergie. Les organes clés dans le métabolisme des protéines, des acides aminés et de l'urée sont le réticulo-rumen, le foie, la glande mammaire et les reins. Quel que soit le type de composé azoté administré à la vache, l'ammoniac, absorbé par les parois ruminales, et les acides aminés, absorbés via les parois du petit intestin, sont les deux principales formes d'azote retrouvées dans le sang. Le foie retire l'ammoniac du sang, produit des protéines, peut convertir un acide aminé en un autre (transamination) et peut dégrader les acides aminés (désamination). Le foie est le principal site de synthèse de l'urée, cette dernière est produite à partir : a) de l'ammoniac provenant du tractus gastro-intestinal ou b) de la désamination des acides aminés non utilisés pour la production du lait ou pour d'autres fonctions biologiques, tel que pour la croissance ou la régénérescence des muscles, ou pour la croissance du fœtus durant la gestation. L'urée plasmatique peut être recyclée et retournée au rumen aussi bien par la salive, lors de la mastication et de la rumination, que par diffusion à travers l'épithélium du rumen. Ainsi, contrairement aux croyances populaires, l'urée du lait ne reflète pas seulement un excès de protéines dégradables dans le rumen (PID) dans la ration, mais reflète plutôt la capacité générale de la ration à fournir des acides aminés et des nutriments énergétiques (en particulier le glucose) permettant une efficacité d'utilisation maximale de l'azote consommé par la vache. [Broderick et Clayton \(1997\)](#) affirment que le coefficient de détermination (R^2) entre la concentration d'urée du lait et la concentration ammoniacale dans le rumen est de 0,57, ce qui est vraiment inférieur à la valeur de R^2 de 0,84 observée entre l'urée du lait et la protéine brute de la ration. Dans le même sens, [Spek et ses collaborateurs \(2013a\)](#) prétendent que la teneur en PID et en PIND est un faible indicateur de la concentration d'azote sous forme d'urée dans l'urine ($R^2 = 0,36$ et $0,38$, respectivement). Par conséquent, il faut demeurer prudent lorsqu'on associe une concentration élevée en urée dans l'urine avec une teneur élevée en PID de la ration. En revanche, les mêmes auteurs affirment que le coefficient de détermination (R^2) entre l'azote uréique urinaire et la protéine brute de la ration est de 0,79 et que celui entre l'azote uréique urinaire et la concentration d'urée du lait est de 0,72. Ceci signifie que 79 % et 72 % de la variation de l'azote uréique urinaire peut être expliqué par la variation de la protéine brute dans la ration et par l'urée du lait respectivement.

Sources de variation de l'urée du lait

L'un des avantages des études nutritionnelles contrôlées est le fait que l'on peut mieux comprendre la biologie de la vache laitière. Ces études contribuent aussi à l'amélioration des outils (ex. : logiciel de formulation de ration) disponibles pour l'alimentation des vaches permettant aux producteurs les meilleurs profits tout en réduisant les impacts négatifs de l'alimentation sur l'environnement. Comme mentionné plus haut, les expériences nutritionnelles ont démontré que l'urée du lait est grandement influencée par la teneur en protéine brute de la ration et que tous deux permettent de prédire assez précisément l'urée qui sera excrétée dans l'urine. Cependant, l'une des limitations de ces études est qu'elles ne considèrent pas les facteurs autres que nutritionnels qui affectent la concentration d'urée dans le lait lors des collectes sur les fermes. Les études sur les fermes ([Eicher et al., 1999](#)) ainsi que l'analyse des données récoltées par les contrôles laitiers ([Johnson et Young, 2003](#); [Wattiaux et al., 2005](#)) ont démontré que les tests quotidiens faits à la ferme (concentration d'urée du lait pour chaque vache) sont très variables et grandement influencés par de nombreux facteurs. Quelques-uns de ces facteurs, pouvant mener à des contradictions au niveau des résultats, sont décrits ici-bas :

- La race : La concentration moyenne d'urée dans le lait varie en fonction de la race : Holstein (12,0 mg/dL), Jersey (14,0 mg/dL) et Suisse Brune (14,8 mg/dL) selon [Wattiaux et al. \(2005\)](#). Selon [Johnson and Young \(2003\)](#), l'urée du lait de la Holstein est plutôt de 15,5 mg/dL comparé à 14,1 mg/dL pour la Jersey
- Le poids vif : Peu importe la race (Holstein ou Jersey), l'urée du lait augmente avec une augmentation du poids corporel de la vache ([Kauffman and St Pierre, 2001](#)).
- La parité : Des différences significatives, bien que très petites, ont été trouvées au niveau des concentrations d'urée dans le lait en fonction de la parité des vaches ([Johnson et Young, 2003](#)). Par

contre, [Wattiaux et al. \(2005\)](#), ont trouvé de grandes différences au niveau des patrons de variation de l'urée du lait selon les jours en lait chez les vaches Holstein primipares et multipares (Figure 3).

- Le moment de l'échantillonnage : Les échantillons récoltés le matin présentent une plus faible concentration d'urée dans le lait comparés à ceux pris en après-midi, pour une fréquence de traites de deux par jour. Ceci peut être dû à l'interaction existant entre le moment des repas et de la traite ([Spek et al., 2013b](#)).
- Le stade de lactation et la productivité : La concentration d'urée dans le lait varie en fonction du nombre de jours en lait et de façon directement proportionnelle à la production laitière tout au long de la lactation.
- La santé du pis : [Johnson et Young \(2003\)](#) ont rapporté une corrélation négative entre l'urée du lait et le comptage des cellules somatiques (CCS). [Stoop et al. \(2007\)](#), quant à eux, ont observé une forte corrélation génétique entre l'urée du lait et le comptage de cellules somatiques (CCS) ($r=0,85$).
- Les saisons : De grandes variations dans l'urée du lait ont été observées en fonction des saisons. Par contre, il semblerait que ce soit davantage attribuable aux changements dans l'alimentation et dans la régie d'élevage (ex. : par rapport à la santé de la vache) qu'aux conditions climatiques directement (température, humidité ou longueur des jours).

Il est important de noter que ces facteurs ne devraient pas être considérés comme les causes de variation de l'urée du lait, mais plutôt comme des degrés d'association. Malgré la variation entraînée par le matériel de laboratoire ([Peterson et al., 2004](#); [Kohn et al., 2004](#)) et les méthodes analytiques ([Broderick 2003](#)), il semblerait que la variation de l'urée du lait soit causée par plusieurs facteurs interagissant ensemble plutôt que par un facteur unique ([Wattiaux et al., 2005](#)).

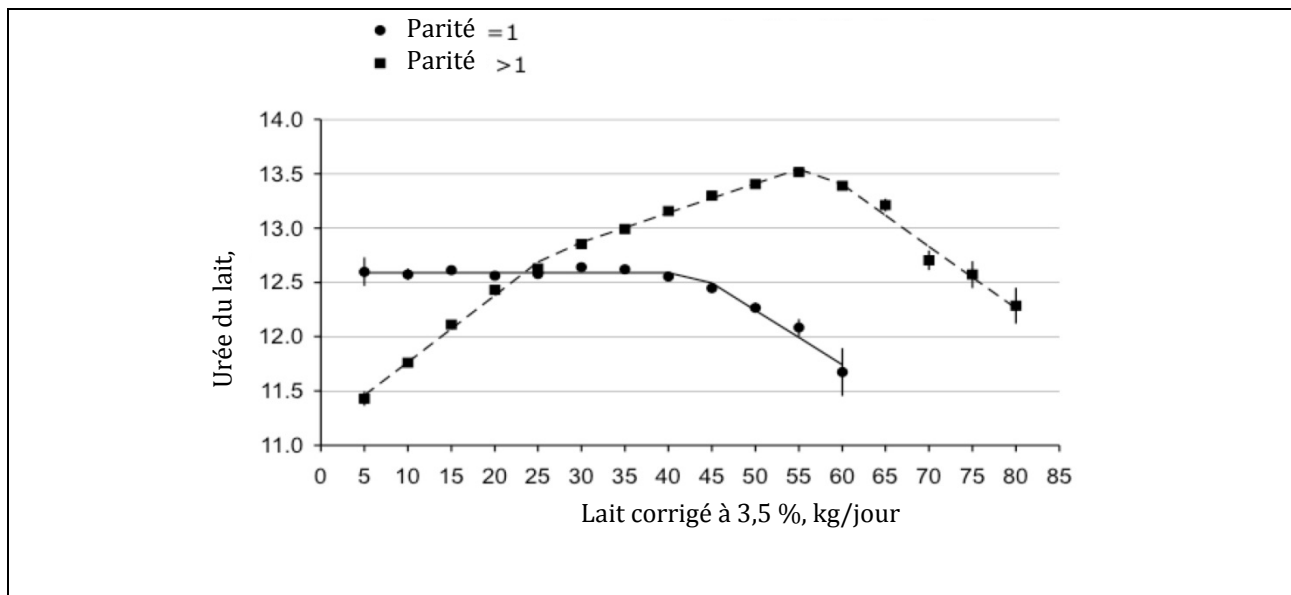


Figure 3: L'interaction entre la parité de la vache (nombre de vêlage) et le niveau de production de lait corrigé à 3,5 % de matières grasses chez la vache Holstein ([Wattiaux et al., 2005](#)).

Plus récemment, des chercheurs ont tenté de mieux comprendre la variation de l'urée du lait observée à la ferme en se concentrant sur les effets du troupeau et sur les effets des vaches dans le troupeau (effet individuel) ([Aguilar et al., 2012](#)). Ces auteurs ont trouvé de grandes variations entre les valeurs d'urée du

lait observées et celles attendues (prédite à partir de données nutritionnelles), entre des vaches nourries avec la même ration, ainsi qu'entre les troupeaux. Les auteurs prétendent qu'une partie de cette variation pourrait être causée par des différences de nature génétique, puisqu'une grande héritabilité de l'urée du lait a été rapportée (0,5-0,6 selon [Wood et al. \(2003\)](#), et 0,4 selon [Miglior et al. \(2007\)](#)). Toutefois, d'autres auteurs ont plutôt rapporté que l'héritabilité de l'urée du lait était faible, soit 0,14 selon [Stoop et al., \(2007\)](#) et 0,15 selon [Mitchell et al. \(2005\)](#). Ainsi, on peut affirmer que la concentration d'urée du lait « optimale », soit 10-12 mg/dL, qui représente une très bonne efficacité d'utilisation de l'azote, devrait être ajustée en fonction de la variation génétique qui peut exister au sein du troupeau. Par contre, une analyse récente de la variation phénotypique de l'urée du lait indique que la variation en urée du lait entre les vaches a un effet moindre sur l'efficacité d'utilisation de l'azote que la réponse connue de l'urée du lait à la concentration en protéine brute de la ration ([Huhtanen et al., 2015](#)). Ceci voudrait donc dire que la régie de l'alimentation a un plus grand potentiel d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote et de réduire la concentration d'urée du lait que la sélection génétique. Peu importe les raisons causant des variations entre les troupeaux, les chercheurs soutiennent qu'il est préférable un objectif pour l'urée du lait propre à chaque troupeau plutôt qu'un standard pour toute l'industrie ([Wattiaux et al., 2005](#); [Aguilar et al., 2012](#)).

Malgré les conclusions précédentes, notre analyse de la concentration moyenne de l'urée du lait réalisée avec 539 troupeaux du Midwest des États-Unis, a révélé que les 200 meilleurs troupeaux avaient un rendement moyen en protéine de 1,14 kg/jour avec une concentration moyenne d'urée du lait de 12,6 mg/dL. Les 339 troupeaux restant, quant à eux, avaient un rendement en protéine moyen de 0,94 kg/jour et une concentration moyenne d'urée dans le lait de 13,2 mg/dL. En d'autres mots, les meilleurs troupeaux étaient capables de produire 200 g/jour de protéines en plus avec 0,5 mg/dL moins d'urée dans leur lait (Figure 4). L'absence d'une valeur d'urée du lait supérieure à 17 mg/dL, chez les troupeaux ayant obtenu le meilleur rendement en protéines, signifie que ces derniers n'étaient pas suralimentés en protéine brute. Notez toutefois que la variation au niveau de la concentration de l'urée dans le lait chez les meilleurs troupeaux demeurent faible et entre des valeurs de 10 et 16 mg/dL.

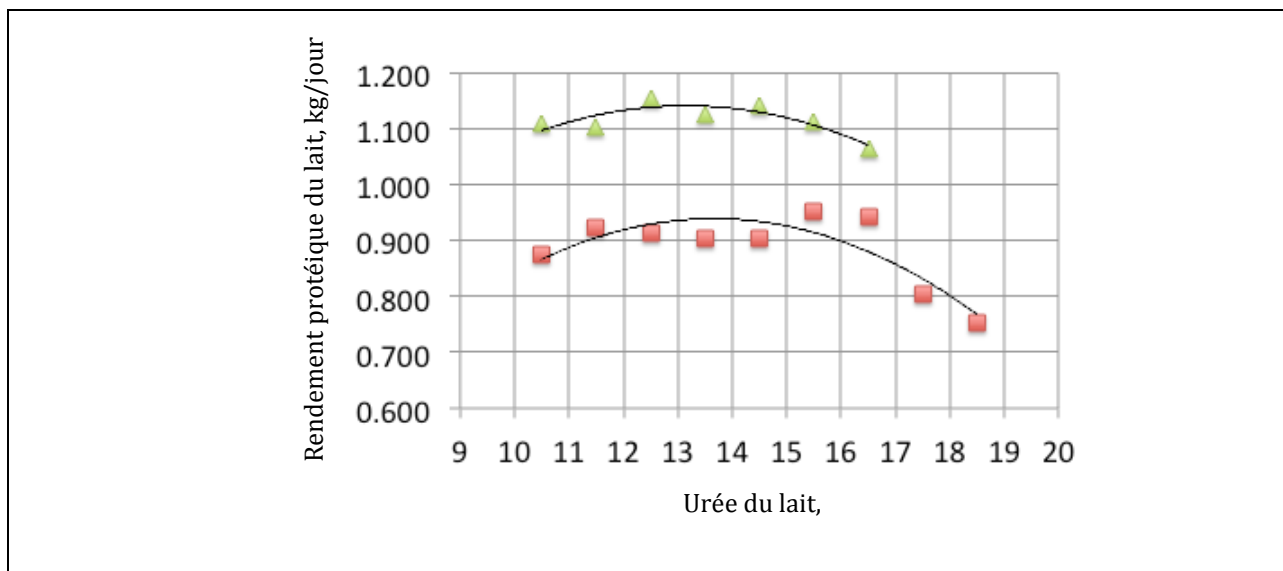


Figure 4: La relation entre l'urée du lait et le rendement protéique selon l'analyse de la base de données du contrôle laitier pour les troupeaux les plus productifs (□) vs les troupeaux moyens (△ voir le texte pour les détails; [Wattiaux](#), non publié).

Valeur d'urée du lait optimale : maximiser le rendement en protéine et minimiser le rejet d'azote sous forme d'urée dans l'urine

Bien qu'un rendement élevé en protéine n'est pas synonyme d'efficacité d'utilisation de l'azote, les nutritionnistes en production laitière concentrent leur effort pour obtenir un rendement en protéine maximal à un coût minimal. Tel qu'illustré à la Figure 4, le rendement en protéine dans le lait peut être près ou maximal pour n'importe quelle valeur d'urée du lait entre 10 et 16 mg/dL. En d'autres mots, l'urée du lait est un faible indicateur du rendement protéique.

Par contre, tel que discuté précédemment, l'urée du lait est un bon indicateur de la teneur en PB de la ration et de la quantité d'urée excrétée dans l'urine. Ainsi, pour répondre à la question posée plus tôt : «*De quelle façon peut-on formuler une ration faible en protéine brute tout en évitant une baisse de la production laitière, une baisse du rendement en protéine et une perte inutile d'urée dans l'urine?*», nous avons décidé de reprendre les études nutritionnelles (plutôt que les bases de données des contrôles laitiers) dans lesquelles les chercheurs ont utilisé différents niveaux de protéine brute et ont rapporté l'urée du lait, l'azote uréique dans l'urine et le rendement protéique (Figure 5).

La base de données utilisée pour cette analyse est axée sur le type de ration donné dans le Midwest des États-Unis où une combinaison d'ensilage de luzerne et d'ensilage de maïs représente 55% de la ration (sur une base de matière sèche), où le maïs grain représente la source principale d'énergie (amidon) et où les différents suppléments protéiques servent à balancer la ration en PID et en PIND. Pour se faire, vingt-et-une études ont été identifiées. Par contre, dans l'optique d'inclure tous les résultats obtenus avec des diètes faibles en protéine brute (moins de 13%), deux de nos récentes expériences (pas encore publiées) ont été ajoutées à la base de données. Alors, un total de 23 études comprenant 80 traitements alimentaires a été analysé. Les traitements qui ont été résumés en 9 catégories de ration soit : <12,0 % de protéine brute (n=3), 12,1-14,4 % de protéine brute (n=3), 14,5-15,4 % de protéine brute (n=12), 15,5-15,9 % de protéine brute (n=10), 16,0-16,4 % de protéine brute (n=9), 16,5-16,9 % de protéine brute (n=17), 17,0-17,4 de protéine brute (n=14), 17,5-17,9 de protéine brute (n=5) et >18,0 % de protéine brute (n=7).

La figure 5A montre que pour une teneur en protéine brute de la ration entre, approximativement, 12 % et 18 % de la ration, l'urée du lait est un indicateur fiable de la quantité de protéine brute dans la ration. L'équation linéaire, ayant un R^2 de 0,92, était : Protéine brute de la ration (% matière sèche) = $8,47 + 0,68 \times$ urée du lait (mg/dL) qui signifie que pour chaque augmentation ou diminution d'un unité d'urée du lait entre 5 et 16 mg/dL, on s'attend à ce que la protéine brute de la ration change de la même façon à raison de 0,68 unité (% de la protéine brute de la ration).

De façon similaire, la relation entre l'urée du lait et l'azote uréique urinaire était linéaire (Figure 5B) avec un R^2 de 0,95. L'équation était : azote uréique urinaire (g/d) = $-48,6 + 16,2 \times$ urée du lait (mg/dL) ce qui indique que pour chaque augmentation ou diminution d'un unité d'urée du lait entre 5 et 16 mg/dL, l'azote uréique urinaire devrait varier de la même façon à raison de 16,2 unités (g/jour). Finalement, la figure 5C montre que la relation entre l'urée du lait et son rendement protéique était quadratique (similaire à ce qui a été observé avec la base de données des contrôles laitiers, Figure 4). Le R^2 de la fonction quadratique était de 0,93 et l'équation était : rendement protéique du lait (kg/jour) = $0,18 + 0,24 \times$ urée du lait $- 0,011 \times$ urée du lait² (où l'urée du lait est exprimée en mg/dL). La relation a toutefois été influencée par les faibles rendements protéiques observés avec les quelques traitements ayant des teneurs en protéine brute inférieure à 14,4 % (les deux plus faibles catégories).

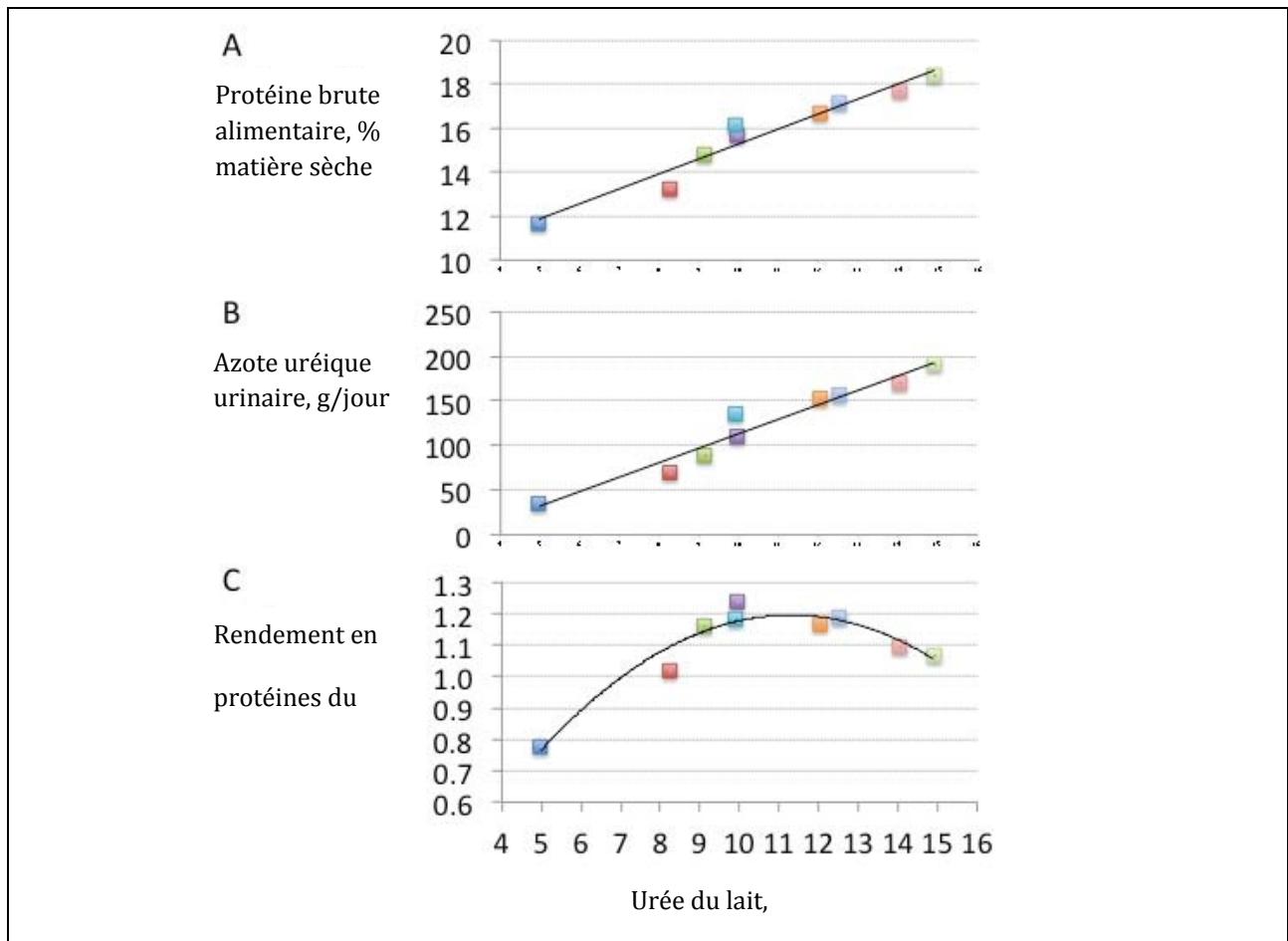


Figure 5: L'urée du lait comme indicateur de la teneur en protéine brute de la ration, de l'azote sous forme d'urée dans l'urine et du rendement en protéines du lait; Données provenant de 23 études et 80 traitements alimentaires classés en 9 catégories de teneur en protéine brute allant de 12 % à plus de 18 % de la ration sur une base de matière sèche (voir le texte pour les détails).

Il y a clairement un intérêt à obtenir davantage de données de recherche qui incluent des rations faibles en protéine brute. Cependant, en utilisant les données disponibles, il a été possible d'observer que le rendement protéique maximal (1,20 kg/jour) est survenu à une concentration d'urée dans le lait de 11,3 mg/dL et avec une ration contenant 16 % de protéine brute. Sous ces conditions, la quantité d'azote uréique urinaire prévue est de 134 g/jour (Figure 5) ce qui représente une diminution de 25 % comparativement à la quantité prévue pour une ration à 18 % de protéine brute, soit 178 g/jour correspondant à une concentration d'urée du lait de 14 mg/dL.

Toutefois, ces relations ne peuvent être généralisées pour tous les types de rations. En effet, ces relations peuvent varier considérablement selon le niveau et le type d'énergie présente dans la ration. Plus encore, si on veut utiliser une concentration d'urée du lait de référence pour un troupeau (vois plus haut) et que la teneur en protéine brute dans la ration doit être ajustée, alors on doit décider d'ajuster soit la teneur en PID ou celle de la PIND dans la ration. Par exemple, une valeur d'urée du lait élevée ne fournit aucun indice de la provenance du problème entre la proportion de PID et de PIND de la protéine brute. Cela reflète simplement que l'apport en azote dépasse les besoins de la vache. Supposons qu'un ajustement de la protéine brute de la ration est fait dans le but d'abaisser l'urée du lait, l'ajustement de la PNID devrait être la première étape, car ce type de protéines coûte considérablement plus cher que le PID. Afin de trouver une concentration d'urée du lait de référence pour ensuite déterminer la concentration recherchée pour le troupeau, permettant d'avoir une ration plus faible en protéine brute sans pénaliser la production

laitière et protéique, [Hannigan \(2013\)](#) encourage les producteurs et les intervenants en production laitière à suivre les étapes décrites ici-bas :

1. Assurez-vous que la ration est équilibrée selon le NRC (2001) afin d'éviter un excès en protéine brute et afin d'avoir suffisamment d'énergie. Si nécessaire, donnez ce genre de ration pour trois semaines afin d'obtenir une concentration d'urée du lait de référence pour le troupeau.
2. Abaissez la teneur en PNID de la ration de 0,25 ou 0,50 % et gardez l'énergie et la teneur en PID constants dans la ration. Donnez cette ration pendant deux semaines avant de déterminer si la consommation de matière sèche et la production laitière ont été réduites avec la réduction (prévue) au niveau de l'urée du lait.
3. Si aucune baisse n'est survenue au niveau de la production laitière, continuez le processus de réduction de la PIND.
4. Aussitôt qu'une baisse de la production survient, remettez la quantité de PIND enlevée précédemment et fixez le teneur en PNID idéale et notez la concentration d'urée du lait qui deviendra la concentration souhaitée pour le troupeau.
5. Ensuite, si désiré, abaissez la PID de la ration de 0,25 ou 0,50 % tout en maintenant la PIND constante.
6. Si aucune baisse de la production ne survient, continuez le processus de réduction de la PID.
7. Aussitôt qu'une baisse de la production se produit, remettez la quantité de PID enlevée précédemment, enregistrez la teneur en PID cible et fixez la concentration d'urée du lait comme l'objectif souhaité pour le troupeau.

Conclusion

Notre revue littéraire a démontré que la concentration d'urée dans le lait (mg/dL) est très corrélée avec la teneur en protéine brute de la ration (% de la ration sur une base de matière sèche) et que les deux variables sont des indicateurs fiables de l'excrétion d'azote sous forme d'urée dans l'urine (g/jour) pour des vaches nourries avec une diète typique du Midwest des États-Unis. Cependant, l'urée du lait et la teneur en protéine brute de la ration ne sont pas de bons indicateurs du rendement protéique du lait. Comparativement aux analyses de la teneur en protéine brute des ingrédients ou des rations totales mélangées, les analyses de l'urée du lait sont plus pratiques et plus économiques. Si cela est possible, les producteurs et les intervenants sont encouragés à suivre un protocole de surveillance de l'urée du lait et de la régie d'alimentation afin de déterminer une teneur en protéine brute spécifique pour le troupeau ainsi que la concentration d'urée du lait cible qui ne pénalise pas la production laitière (rendement protéique) et qui, simultanément, réduit l'excrétion d'urée urinaire. Dans l'impossibilité d'avoir un tel protocole, la réponse la plus courante à la question : «*Comment formuler une ration faible en protéine brute?*» est que, selon les données disponibles, une ration contenant 16 % de protéine brute permet un rendement protéique maximal (1,20 kg/jour) et correspond à une concentration d'urée du lait d'en moyenne 11,3 mg/dL. Sous ces conditions nutritionnelles, l'excrétion d'urée dans l'urine devrait être 25 % inférieure à une ration avec 18 % de protéine brute qui correspond généralement à une concentration d'urée dans le lait de 14 mg/dL.

Beaucoup reste à découvrir sur la façon d'utiliser la mesure d'urée du lait afin qu'elle bénéficie de manière plus importante à l'industrie laitière. Par exemple, on a besoin d'informations sur les facteurs affectant l'urée du lait de façon individuelle (pour chaque vache) et de façon collective (pour le troupeau en général). Des recherches supplémentaires sont aussi nécessaires afin de déterminer si la sécrétion d'urée dans le lait (i.e. urée exprimée en g/jour) pourrait être un indicateur complémentaire à la concentration d'urée dans le lait (i.e. urée exprimée en mg/dL). Finalement, des études sur le terrain sont nécessaires afin de déterminer la relation entre l'urée du lait et certains indicateurs économiques tels les revenus de l'entreprise par rapport aux frais d'alimentation.

Références

- Aguilar, M., M.D. Hanigan, H.A. Tucker, B.L. Jones, S.K. Garbade, M.L. McGilliard, et al. 2012. Cow and herd variation in milk urea nitrogen concentrations in lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 95: 7261-7268. doi:10.3168/jds.2012-5582.
- Broderick, G.A. et M.K. Clayton. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 80: 2964-2971.
- Broderick, G.A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 1370-1381.
- Broderick, G.A., M.J. Stevenson, R.A. Patton, N.E. Lobos et J.J.O. Colmenero. 2008. Effect of supplementing rumen-protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91: 1092-1102. doi:10.3168/jds.2007-0769.
- Broderick, G.A., M.J. Stevenson et R.A. Patton. 2009. Effect of dietary protein concentration and degradability on response to rumen-protected methionine in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92: 2719-2728. doi:10.3168/jds.2008-1277.
- Eicher, R., E. Bouchard et M. Bigras-Poulin. 1999. Factors affecting milk urea nitrogen and protein concentrations in Quebec dairy cows. *Prev. Vet. Med.* 39: 53-63.
- Hanigan, M. D., S.I. Arriola, et M. Aguilar. 2013. Feeding low crude protein diets to improve efficiency of nitrogen use. Pp 224-237 in *Proceeding Western Dairy Management Conf.* March 6-8, Reno NV (retrieved August 25, 2015 from <http://www.wdmc.org/proceed.htm>).
- Huhtanen, P., E.H. Cabezas-Garcia, S.J. Krizsan et K.J. Shingfield. 2015. Evaluation of between-cow variation in milk urea and rumen ammonia nitrogen concentrations and the association with nitrogen utilization and diet digestibility in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 98: 3182-3196. doi:<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8215>.
- Johnson, R.G. et A.J. Young. 2003. The association between milk urea nitrogen and DHI production variables in western commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.* 86: 3008-3015.
- Jonker, J.S., R.A. Kohn et J. High. 2002. Dairy herd management practices that impact nitrogen utilization efficiency. *J. Dairy Sci.* 85: 1218-1226.
- Kauffman, A.J. et N.R. St-Pierre. 2001. The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 84: 2284-2294.
- Kohn, R.A., K.R. French et E. Russek-Cohen. 2004. A comparison of instruments and laboratories used to measure milk urea nitrogen in bulk-tank milk samples. *J. Dairy Sci.* 87:1848-1853.
- Miglior, F., A. Sewalem, J. Jamrozik, J. Bohmanova, D.M. Lefebvre et R.K. Moore. 2007. Genetic analysis of milk urea nitrogen and lactose and their relationships with other production traits in canadian Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 90: 2468-2479. doi:<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2006-487>.
- Mitchell, R.G., G.W. Rogers, C.D. Dechow, J.E. Vallimont, J.B. Cooper, U. Sander-Nielsen, et al. 2005. Milk urea nitrogen concentration: Heritability and genetic correlations with reproductive performance and disease. *J. Dairy Sci.* 88: 4434-4440. doi:[http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73130-1](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73130-1).
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle.* 7th Revised Edition ed. National Academy Press, Washington D.C.
- Olmos Colmenero, J.J. et G.A. Broderick. 2006a. Effect of amount and ruminal degradability of soybean meal protein on performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89: 1635-1643.

- Olmos Colmenero, J.J. et G.A. Broderick. 2006b. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89: 1704-1712.
- Peterson, A.B., K.R. French, E. Russek-Cohen et R.A. Kohn. 2004. Comparison of analytical methods and the influence of milk components on milk urea nitrogen recovery. *J. Dairy Sci.* 87: 1747-1750.
- Spek, J.W., J. Dijkstra, G. Duinkerken, W.H. Hendriks et A. Bannink. 2013a. Prediction of urinary nitrogen and urinary urea nitrogen excretion by lactating dairy cattle in Northwestern Europe and North America: a meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 96: 4310-4322.
- Spek, J.W., J. Dijkstra, G. Duinkerken et A. Bannink. 2013b. A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. *Journal of Agricultural Science* 151: 407-423.
- Stoop, W.M., H. Bovenhuis et J.A.M. van Arendonk. 2007. Genetic parameters for milk urea nitrogen in relation to milk production traits. *J. Dairy Sci.* 90: 1981-1986. doi:<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2006-434>.
- Wattiaux, M.A., E.V. Nordheim et P. Crump. 2005. Statistical evaluation of factors and interactions affecting dairy herd improvement milk urea nitrogen in commercial Midwest dairy herds. *J. Dairy Sci.* 88: 3020-3035.
- Wood, G.M., P.J. Boettcher, J. Jamrozik, G.B. Jansen et D.F. Kelton. 2003. Estimation of genetic parameters for concentrations of milk urea nNitrogen. *J. Dairy Sci.* 86: 2462-2469.

