

Utilisation de la teneur en urée du lait comme indicateur de la nutrition protéique et des rejets azotés chez la vache laitière

P. FAVERDIN, R. VERITE
INRA SRVL 35590 St-Gilles

RÉSUMÉ – L'urée constitue le principal métabolite issu du catabolisme protéique d'un ruminant. Sa concentration dépend principalement de la quantité formée mais aussi de sa vitesse d'excrétion urinaire. Elle peut être un index intéressant de la nutrition protéique et des rejets azotés. Pour mieux interpréter les teneurs en urée du lait du matin, un récapitulatif de 11 essais d'alimentation sur vaches laitières recevant des rations à base d'ensilage de maïs a été réalisé. La teneur en urée est bien expliquée par le bilan protéique de la vache (ANIM = apports - besoins PDI), l'équilibre en azote dégradable dans le rumen (RUMEN = apports PDIN-PDIE) et la production laitière (PL) : $UREE = 10,9 + 0,028 \text{ ANIM} + 0,039 \text{ RUMEN} + 0,37 \text{ PL}$ ($R^2 = 0,73$, $Etr = 3,2$, $n = 127$). De même, l'urée associée à la production laitière permet une bonne estimation des rejets azotés urinaires (NtU) : $NtU = 4,4 \text{ UREE} + 1,9 \text{ PL}$ ($R^2 = 0,77$, $Etr = 17$, $n = 127$). Cependant, divers facteurs de variations, comme l'individu, le stade de lactation, le régime et l'heure de prélèvement peuvent faire varier de façon importante l'urémie. Ces perturbations doivent inciter à beaucoup de prudence dans l'interprétation de l'urée dans d'autres contextes (pâturage, échelle individuelle...).

Use of milk urea concentration as an indicator of protein nutrition and nitrogen losses in dairy cows

P. FAVERDIN, R. VERITE
INRA SRVL 35590 St-Gilles

SUMMARY – The urea constitutes the main metabolite of the protein catabolism of a ruminant. Its concentration can therefore represent an indicator of protein nutrition and urine nitrogen losses. To better interpret variations of milk urea content of the morning milking, a database of 11 feeding trials on dairy cows fed corn silage based diets has been built. The urea content is well explained by the protein status of cows (ANIM = PDI supplies - PDI requirements), the rumen degradable nitrogen balance (RUMEN = PDIN-PDIE supplies) and the milk production (PL) : $UREA = 10.9 + 0.028 \text{ ANIM} + 0.039 \text{ RUMEN} + 0.37 \text{ PL}$ ($R^2 = 0.73$, $Rsd = 3.2$, $n = 127$). Similarly, the urea content, associated with the milk production, allows a good estimation of urinary nitrogen losses (NtU) : $NtU = 4.4 \text{ UREA} + 1.9 \text{ PL}$ ($R^2 = 0.77$, $Rsd = 17$, $n = 127$). However, urea concentration varies largely according to the cow, the stage of lactation, the forage and the time of sampling. Therefore, the conclusions of these equations extrapolated to others situations could be wrong.

INTRODUCTION

L'équilibre azoté d'une ration constitue un des éléments clé du rationnement d'un ruminant. Les systèmes de rationnement mis au point par l'INRA, permettent a priori de composer la ration pour atteindre cet équilibre. Mais existe-t-il des méthodes permettant de juger d'une ration en cours d'utilisation ? L'urée, principal déchet du métabolisme azoté, est un candidat possible pour permettre de juger de l'équilibre de l'alimentation azotée. Facile à doser et à collecter, en particulier dans le lait, il constitue un indicateur très pratique. Après avoir rappelé son origine et sa place dans le métabolisme protéique chez les ruminants, cet article essaiera, à partir d'essais réalisés à l'INRA, de montrer les possibilités d'utiliser la teneur en urée du lait pour juger de la qualité du rationnement azoté et pour estimer les rejets azotés.

1. RAPPEL SUR LE MÉTABOLISME AZOTÉ ET L'URÉE

1.1. GÉNÉRALITÉS SUR L'URÉE

Les protéines sont constituées par une ou plusieurs chaînes d'acides aminés pourvus d'une fonction amine (NH₂). Lors des différentes étapes du métabolisme, les acides aminés sont dégradés et la fonction amine est libérée pouvant donner de l'ammoniaque (NH₄⁺). L'ammoniaque dans le sang est particulièrement toxique. Mais le foie transforme rapidement l'ammoniaque en urée (H₂N-CO-NH₂) qui est non toxique. L'urée, très soluble, diffuse librement dans tout l'espace aqueux de l'organisme, y compris dans le lait, et s'équilibre très rapidement. Une partie de l'urée pourra être recyclée dans le rumen pour fabriquer des protéines microbiennes mais l'essentiel sera éliminé. L'urée est épurée du sang par le rein avant d'être excrétée dans l'urine.

La concentration moyenne journalière en urée varie donc essentiellement en fonction de trois grands facteurs :

- La quantité d'urée synthétisée, principal facteur d'augmentation de l'urémie. Chez les ruminants, l'urée provient de l'ammoniaque du rumen et du catabolisme des acides aminés.
- L'espace de diffusion de l'urée, qui s'accroît avec le poids vif de l'animal mais diminue lorsque la proportion de lipides augmente. A même quantité d'urée synthétisée, plus l'espace de dilution est grand, plus l'urémie est faible.
- La vitesse à laquelle l'urée est éliminée par le rein. Celle-ci est souvent calculée par la clairance urinaire (L/h) qui représente le volume de sang qui a été totalement épuré par heure. Pour une même quantité d'urée produite, plus la clairance de l'urée est élevée, plus la teneur en urée est faible. Cette clairance s'accroît principalement avec la quantité d'urée à excréter chaque jour (Scott et Mason, 1970).

1.2. LES ORIGINES DE L'URÉE CHEZ LES VACHES LAITIÈRES

Chez les ruminants, l'urée a deux grandes origines possibles : l'ammoniaque du rumen et le catabolisme des acides aminés dans l'organisme. Les aliments ingérés subissent d'abord la digestion par les microbes dans le rumen. Pendant cette étape, les protéines sont largement dégradées. La fraction des protéines dégradées qui n'est pas réutilisée par les microbes pour synthétiser leurs protéines se trouve rapidement sous forme d'ammoniaque. L'absorption d'ammoniaque est rapide et ce d'autant plus que la concentration en ammoniaque est grande (Rémond et al., 1993). L'urée d'origine ruminale sera donc fonction de l'excès d'azote dégradé dans le rumen.

Les acides aminés absorbés au niveau de l'intestin sont utilisés par les différents tissus pour assurer leur activité. Ce métabolisme conduira à un catabolisme important des acides aminés et à la formation d'urée. Ce catabolisme correspond tout d'abord au renouvellement des protéines liées au besoin d'entretien. Ensuite, le rendement de la synthèse des protéines du lait n'est que de 64 % en moyenne (Vérité et al., 1987). On peut donc estimer que 36 % des protéines nécessaires à la synthèse des protéines du lait seront catabolisés et conduiront à la formation d'urée. Enfin, les possibilités de stocker durablement les protéines étant limitées, les excédents d'acides aminés sont généralement dégradés et conduisent également à la

formation d'urée. Néanmoins, les variations de poids corporel s'accompagnent de légères variations des stocks de protéines. L'urée est donc la plaque tournante du catabolisme des matières azotées et constitue donc, a priori, un indicateur privilégié de la nutrition protéique.

2. L'URÉE : INDICATEUR DE LA NUTRITION PROTÉIQUE DE L'ANIMAL ET DES REJETS AZOTÉS

L'urée diffusant librement dans la phase aqueuse, les concentrations sont identiques dans le lait et le sang sous réserve que les deux mesures soient faites à peu de temps d'intervalle (Gustafsson et Palmquist, 1993). Pour des facilités de collecte, il est plus facile de mesurer l'urée du lait que l'urée du sang. Dans le travail qui suit, une synthèse de plusieurs essais avec des régimes à base d'ensilage de maïs a été réalisée pour essayer de mieux interpréter l'urée comme indicateur de la nutrition et des rejets azotés. Cette synthèse fait suite à celle déjà présentée auparavant (Vérité et al, 1995), mais elle essaye de prendre en compte d'autres facteurs importants d'hétérogénéité pour améliorer la qualité de la prévision.

2.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Onze essais d'alimentation ont été utilisés pour analyser les variations de teneur en urée (mesurée en individuel dans le sang et/ou dans le lait). Ces essais ont tous été conduits avec des rations à base d'ensilage de maïs et d'aliments concentrés distribués deux fois par jour après la traite à des vaches en lactation. Les analyses statistiques ont été réalisées sur des moyennes de lots soumis à différents régimes alimentaires (variations d'apports énergétiques et azotés) à différents stades de lactation. L'analyse de la moyenne d'un lot permet d'être cohérent avec une notion de lait de mélange comme c'est le cas en pratique au niveau du tank à lait. Les caractéristiques des 127 lots-périodes présents dans cette base de données sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1
Caractéristiques moyennes des lots utilisés

	Mini	Moyenne	Maxi
Matières azotées ration (%)	11,4	14,0	16,3
Matière sèche ingérée (kg/j)	12,5	19,7	22,7
Lait (kg/j)	13,0	28,5	38,5
Poids vif (kg)	487	599	650
Taux protéique (g/kg)	26,9	30,0	34,5
Bilan énergétique (UFL/j)	- 4,5	0,5	2,3
Bilan PDIE (g/j)	- 281	76	477
PDIN-PDIE (g/j)	- 237	- 22	180
Urée du matin (mg/dl)	7,1	22,6	37,3
Azote total urinaire (g N/j)	74	153	219

Comme l'urine n'était pas collectée dans ces essais, l'azote urinaire (NtU) a été estimé par calcul selon la méthode suivante :

$NtU = NI - NL - NF - NA$, avec

• NI = azote total ingéré (g/j)

• NL = azote du lait = $PL \times (TP + 1,6) / 6,38$

PL étant la production de lait et TP le taux protéique.

• NF = azote fécal = $- 37 + 8 MSI + 6 MAT$,

MSI et MAT représentant respectivement les quantités ingérées de matière sèche et de matières azotées (kg/j).

• NA = bilan azoté animal = $15 + 6 BilUFL$,

BilUFL représentant le bilan énergétique de l'animal.

Ces deux dernières équations (NF et NA) ont été obtenues à partir de régressions sur une base de données indépendante de 94 mesures individuelles de bilans digestifs. Les paramètres des équations de prévision de l'urée et de l'estimation des rejets azotés urinaires ont été estimés à l'aide de régressions linéaires multiples.

2.2. INTERPRÉTATION DE L'URÉE DU LAIT COMME INDICATEUR DE LA NUTRITION PROTÉIQUE

Un modèle de prévision de la teneur en urée a été établi en fonction des principales variables qui peuvent expliquer la formation d'urée. D'après ce qui précède, le modèle a pris en compte le bilan animal (ANIM = Apports PDI - besoins PDI),

le bilan de l'azote dégradable du rumen (RUMEN = Apports PDIN - Apports PDIE), la production de lait (PL), le poids vif (PV) et le bilan énergétique (BilUFL). En fait, les variables PV et BilUFL ne sont pas significatives dans le modèle global et n'ont donc pas été retenues.

$$\text{UREE} = 10,9 + 0,028 \text{ ANIM} + 0,039 \text{ RUMEN} + 0,37 \text{ PL}$$

$$R^2 = 0,73, \text{ Etr} = 3,2 \text{ n} = 127$$

Les coefficients de cette régression sont cohérents entre eux mais également avec les valeurs théoriques. Ainsi le catabolisme de 100 g d'acides aminés va conduire à une élévation de l'urémie de 2,8 mg/dl. Cette élévation de teneur est en bon accord avec le calcul théorique basé sur une clairance de l'urée de 40 L/h que l'on observe dans des conditions semblables. Avec ce même ratio entre protéines catabolisées et teneur en urée, le catabolisme de 400 g de PDI apportés pour l'entretien correspondrait à une teneur en urée de 11,2 qui est très proche de l'ordonnée à l'origine (10,9).

De la même façon, l'apport de protéines pour 1 L de lait conduit à un catabolisme de 17 g de PDI (48 x (1 - 0,64) PDI/kg de lait) et conduit à la formation d'urée. Toujours avec le même ratio de transformation des protéines catabolisées en urée, on pourrait donc attendre une valeur théorique du coefficient lié à la production de 17 x 0,028 soit 0,48. La valeur obtenue dans la régression n'est que de 0,37, ce qui peut provenir d'une clairance plus importante de l'urée lorsque les niveaux d'azote et d'énergie augmentent avec le niveau de production. Cet effet représenté par la production laitière peut également masquer les effets d'autres variables comme le poids vif et le bilan énergétique qui lui sont corrélées.

Par ailleurs, on sait que pour un supplément de 100 g de PDIMN, 174 g de matières azotées sont en fait théoriquement dégradés dans le rumen, le rendement de transformation en protéines microbiennes digestibles dans l'intestin n'étant que de 0,58. En utilisant toujours le même ratio de transformation des protéines catabolisées en urée (0,028), on pourrait prévoir un coefficient pour la variable RUMEN de 0,048 (0,028 x 1,74). La plus faible valeur observée (0,39) peut provenir de l'heure du prélèvement (ici le matin) qui ne permet pas de prendre en compte l'augmentation de la teneur en ammoniac du rumen qui a lieu pendant et après la prise alimentaire.

Si l'on veut simplifier l'équation ci-dessus, il suffit de retenir que la teneur en urée du lait du matin (en mg/dl) devrait avoisiner la valeur de $11 + 0,4 * \text{PL}$ lorsque les apports d'azote dégradable dans le rumen et de protéines à l'animal sont parfaitement équilibrés. Pour un troupeau produisant 30 kg de lait, ceci conduit à une teneur en urée de 23 mg/dl. Un excédent de 10 mg d'urée représente un excédent d'environ 250 g de PDIN par rapport au PDIE ou un apport de PDI excédentaire de 350 g ou toute combinaison entre les deux. A partir d'un écart de plus de 5 mg par rapport à la valeur moyenne attendue, il peut donc être intéressant d'effectuer un calcul de ration plus précis pour éventuellement affiner le rationnement azoté.

2.1. L'URÉE COMME INDICATEUR DES REJETS AZOTÉS

Lorsque tous les éléments sont disponibles, il est possible de calculer les rejets azotés urinaires et fécaux à l'aide des équations proposées dans le matériel et méthodes. Le plus souvent, il est difficile de disposer de tous les éléments pour utiliser ces équations. La teneur en urée permet d'estimer correctement les rejets azotés urinaires (NtU en g d'azote par jour), mais le modèle est encore plus précis si l'on ajoute la production laitière.

$$\text{NtU} = 4,4 \text{ UREE} + 1,9 \text{ PL}$$

$$R^2 = 0,77 \text{ Etr} = 17 \text{ n} = 127$$

L'urémie ne fait que refléter la quantité d'azote à rejeter avant que le rein n'ait purifié le sang. On peut constater que l'effet de la production laitière est significatif ($P < 0,001$). Ceci tend à accréditer l'hypothèse que la clairance s'accroît avec le niveau de production laitière.

La teneur en urée du sang ou du lait permet d'obtenir rapidement et à faible coût des informations sur le métabolisme azoté de l'animal. La précision des équations de prévision ne doit

pas cependant faire perdre de vue certaines limites liées à l'interprétation de cette urémie.

3. LES LIMITES A L'INTERPRETATION DE L'UREE

3.1. L'EFFET DE L'HEURE DE PRÉLÈVEMENT

La teneur en urée dans le lait du matin diffère généralement de la teneur en urée moyenne de la journée. En effet, l'urémie peut varier beaucoup au cours de la journée, en particulier en fonction de l'apparition d'ammoniac dans le rumen. Après un grand repas, l'urémie augmente jusqu'à 12 mg d'urée/dl lorsque la ration est riche en azote, en particulier en azote dégradable alors qu'elle n'augmente que de 2 mg avec un régime peu pourvu en azote dégradable (Gustafsson et Palmquist, 1993). Les équations obtenues ci-dessus avec une mesure sur la traite du matin avant la distribution de la ration ne sont donc pas directement transposables à des urémies mesurées à d'autres périodes ou à des animaux qui auraient effectué des repas importants dans les 3 heures qui précèdent la traite. Par ailleurs, ces variations post-prandiales résultent de la cinétique d'ingestion et de la cinétique de dégradation dans le rumen des matières azotées et de la matière organique. Ces variations ne peuvent être prédites que par des modèles dynamiques complexes.

Les équations ont été établies à partir de teneurs en urée mesurées le matin. Les teneurs en azote du lait du matin et du lait du soir sont généralement très corrélées et le plus souvent identiques. Cependant, la teneur du lait du matin peut dépasser celle du lait du soir avec des teneurs en urée très faibles, alors que c'est l'inverse si les teneurs sont très élevées. En pratique, ces variations sont peu importantes si la distribution des rations suit chacune des traites.

3.2. L'EFFET DU STADE PHYSIOLOGIQUE

Les urémies sont beaucoup plus importantes en tout début de lactation, principalement les deux premières semaines, sans doute à cause d'un catabolisme très important des protéines (involution utérine, mobilisation importante des réserves corporelles). Cet effet peut en partie être introduit par le bilan énergétique mais cela n'est sensible dans un troupeau que lorsque les vêlages sont très groupés.

3.3. L'EFFET INDIVIDU

Les équations établies à partir de données individuelles conduisent au même type de relation mais avec une variabilité beaucoup plus importante. Il semble que, malgré la prise en compte des facteurs cités au préalable, certaines vaches présentent systématiquement des urémies plus faibles ou plus fortes, avec des écarts pouvant dépasser les 10 mg/dl. Sur le plan physiologique, ces différences peuvent s'expliquer par des clairances plus ou moins importantes de l'urée suivant les individus. Aucune caractéristique zootechnique particulière n'est a priori capable d'expliquer ces effets individuels très importants. Il n'est donc pas souhaitable d'utiliser ce type d'équation à l'échelle d'un individu.

3.4. LA NATURE DU RÉGIME

Tous ces résultats ont été obtenus sur des régimes à base d'ensilage de maïs. Ces régimes se caractérisent par des teneurs en matières azotées généralement faibles à moyennes (Cf. tableau 1). Les régimes à base d'herbe présentent des variations plus larges de l'apport de matières azotées. Bien qu'il soit difficile d'estimer et de maîtriser les flux azotés avec le pâturage, quelques essais d'ingestion d'herbe à l'auge permettent de constater une spécificité de ce type de ration par rapport aux régimes à base d'ensilage de maïs :

- les quantités d'azote non uréique dans l'urine sont plus importantes d'environ 20 à 30 g par jour.
- la clairance de l'urée est plus rapide avec les régimes à base d'herbe, ce qui peut s'expliquer par une quantité moyenne d'azote urinaire à excréter plus élevée. Il est également possible que la présence plus importante de minéraux à excréter puisse accroître la clairance de l'urée (Fisher et al, 1994).

Une même urémie traduit un rejet azoté urinaire plus important au pâturage que sur des régimes ensilages de maïs et les équations ci-dessus ne sont pas valides pour le pâturage.

CONCLUSIONS

En pratique, la teneur en urée du lait peut servir à dépister les cas de déséquilibre azoté important de la ration tout en gardant à l'esprit qu'une valeur proche de celle attendue ne garantit pas que la ration soit équilibrée. Elle constitue surtout un bon indicateur des rejets azotés. Cependant, l'interprétation des équations proposées ne peut être valide que pour un lot de vaches recevant des rations à base d'ensilage de maïs et sous réserve de respecter les contraintes liées aux variations cinétiques de la teneur en urée.

Remerciements : Les auteurs remercient S. RETIF, S. COUPARD et S. BIGOT pour leur contribution à la constitution des fichiers et à l'analyse des résultats.

Fisher L.J., Dinn N., Trait R.M. Shelford J.A., 1984. Can. J. Anim. Sci., 74, 503-509

Gustafsson A.H., Palmquist D.L., 1993. J. Dairy Sci., 76, 475-484

Rémond D., Chaise J.P., Delval E., Poncet C., 1993. J. Anim. Sci., 71, 2785-2792

Scott D., Mason G.D., 1970. Q. Jl Exp. Physiol., 55, 275-283.

Vérité R., Michalet-Doreau B., Chapoutot P., Peyraud J.L., Poncet C., 1987. Bull. Tech. , Cent. Rech. Zootech. Vet. Theix, 70, 19-34

Vérité R., Rétif S., Faverdin P., 1995. Renc. Rech. Ruminants, 2, 365