

Rôle de l'équilibre en azote dégradable et de l'alimentation protéique individualisée sur l'efficacité d'utilisation de l'azote

CUTULLIC E. (1, 2), DELABY L. (1, 2), EDOUARD N. (1, 2), FAVERDIN P. (1, 2)

(1) INRA, UMR 1348 PEGASE, 35590 St-Gilles, France

(2) Agrocampus-Ouest, UMR 1348 PEGASE, 35000 Rennes, France

RESUME

L'efficacité d'utilisation de l'azote par les vaches laitières, évaluée par le ratio azote sécrété dans le lait sur azote ingéré (Rdt N), est une variable clé de l'efficacité des systèmes bovins laitiers. L'objectif de cet essai est d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote et des protéines (Rdt PDI = matière protéique du lait / (PDIE ingérés – besoins PDI croissance et entretien)) en croisant une réduction de la teneur en azote dégradable de la ration (facteur N) avec un ajustement individuel du niveau de protéines métabolisables de la ration (facteur E). Le facteur N est soit au niveau de référence PDIN=PDIE (N0), soit au niveau -10 g (PDIN-PDIE)/UFL (N-10). Le facteur E est soit constant à 105 g PDIE/UFL (EC), soit variable (EV, de 85 à 110 g PDIE/UFL) et calculé pour chaque vache en fonction de son Rdt PDI sur une période de référence de 4 semaines. Le ratio PDIE/UFL sera d'autant plus faible que l'animal est peu efficace. 44 vaches ont été affectées à l'un des quatre traitements appliqués sur 12 semaines. La réduction du niveau d'apport d'azote dégradable a amélioré le Rdt N de plus de trois points (35,7 vs. 32,2 %, $P < 0,001$) et l'ajustement protéique individualisé a surtout amélioré le Rdt PDI (69,1 vs. 59,3 %, $P < 0,001$). Entre extrêmes, le Rdt N varie de 32,1 % pour N0_EC à 36,4 % pour N-10_EV, ce qui permettrait un abattement de 56 % de l'excrétion d'azote uréique urinaire. Une combinaison de ces deux leviers d'action doit donc permettre une amélioration notable de l'efficacité des systèmes laitiers.

Influence of rumen degradable protein balance and individual protein feeding on nitrogen use efficiency

CUTULLIC E. (1, 2), DELABY L. (1, 2), EDOUARD N. (1, 2), FAVERDIN P. (1, 2)

(1) INRA, UMR 1348 PEGASE, 35590 St-Gilles, France

SUMMARY

The efficiency of nitrogen use by dairy cows, estimated by the N in milk / N intake ratio (N_{eff}), is a key component of dairy system efficiency. The objective of this study was to improve the efficiency of N and protein use ($\text{PDI}_{\text{eff}} = \text{milk protein yield}/(\text{metabolisable protein intake} - \text{requirements for growth and maintenance})$) by combining a reduction in rumen degradable protein (RDP, factor N) with an individual adjustment of dietary metabolisable protein (factor E). Factor N was fixed either at the reference level (PDIN=PDIE, N0) or at a lower level (-10 g (PDIN-PDIE)/UFL, N-10). Factor E was constant at 105 g PDIE/UFL (EC) or variable (EV, range from 85 to 110 g PDIE/UFL) and calculated for each cow according to its PDI_{eff} over a 4-week reference period, the less efficient cows receiving diets with a lower PDIE/UFL ratio. Forty-four cows were assigned to one of the four treatments, applied for 12 weeks. A reduction in RDP improved N_{eff} (35.7 vs. 32.2 %, $P < 0.001$) while individual protein feeding improved PDI_{eff} (69.1 vs. 59.3 %, $P < 0.001$). N_{eff} varied between the extreme treatments from 32.1 % for N0_EC to 36.4 % for N-10_EV, which should reduce urine urea-N excretion by 56 %. The use of a combination of these two factors should allow a significant improvement in the efficiency of dairy systems.

INTRODUCTION

L'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote par les vaches laitières est un enjeu majeur dans un contexte de raréfaction des concentrés protéiques et de réduction des rejets azotés. L'efficacité d'utilisation de l'azote, évaluée par le ratio azote excrété dans le lait sur azote ingéré (**Rdt N**), peut être améliorée 1) en favorisant le recyclage de l'urée par un léger déficit en azote dégradable de la ration (i.e. déficit en **PDIN**, protéines digestibles dans l'intestin lorsque l'azote dégradable est le facteur limitant des synthèses microbiennes dans le rumen) et 2) en améliorant le rendement d'utilisation des protéines (**Rdt PDI**) par une réduction de la teneur du régime en **PDIE** (protéines digestibles dans l'intestin lorsque la matière organique fermentescible est le facteur limitant des synthèses microbiennes). Le Rdt PDI, qui est évalué par le ratio matière protéique (**MP**) du lait / (PDIE ingérés – besoins PDI croissance et entretien), est fixé à 64 % dans le système PDI (INRA, 2010), mais varie d'une part selon les individus et d'autre part selon la valeur PDIE de la ration rapportée à sa valeur énergétique (**UFL**, unité fourragère lait) : le gain de Rdt PDI est d'environ 1 point pour une baisse de 2 g de PDIE/UFL (Vérité et Delaby, 1998). Il est donc théoriquement

possible d'améliorer le Rdt PDI de chaque individu jusqu'à un rendement cible, en réduisant d'autant que nécessaire la teneur en PDI de sa ration, sous réserve de pouvoir mesurer cette efficacité au préalable pour chaque individu. Cette stratégie pourra se développer avec les nouvelles technologies permettant l'alimentation de précision.

L'objectif de cet essai est d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote et des protéines en croisant une réduction de la teneur en azote dégradable de la ration avec une alimentation protéique individualisée.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. SCHEMA EXPERIMENTAL

Les quatre traitements correspondent à quatre types de régimes alimentaires organisés suivant un schéma factoriel 2x2, et impliquent l'utilisation de 12 rations complètes distribuées à volonté. Le premier facteur est lié au niveau d'azote dégradable dans le régime et le second lié au niveau de protéines métabolisables.

A l'issue d'une période pré-expérimentale de 4 semaines permettant l'acquisition de références à même régime, 44 vaches ont reçu l'un des 4 traitements, appliqués en

continu durant la période expérimentale de 12 semaines. Afin d'obtenir des stades de lactation homogènes, deux séries de vaches, espacées de 6 semaines, ont été constituées (n = 16 et 28). L'affectation des vaches aux rations a été planifiée en 4^e semaine selon les performances au cours des 3 premières semaines pré-expérimentales. Les groupes ont été équilibrés sur la parité, l'âge, le poids, le stade de lactation, la production laitière (PL), le taux butyreux (TB), le taux protéique (TP), la matière sèche ingérée (MSI) et le Rdt PDI.

1.2. ANIMAUX, MESURES ET RENDEMENTS

Les 44 vaches étaient de race Holstein et 16 étaient en première lactation. Le Rdt PDI ayant tendance à décroître pendant les 6 à 8 premières semaines de lactation, en raison de l'augmentation de l'ingestion et de la réduction progressive de l'azote issu de l'involution utérine, les animaux étaient volontairement à un stade de lactation avancé au début de la période pré-expérimentale (55 ± 12 j après le vêlage). Deux vaches sont sorties de l'essai pour problèmes de santé indépendants du traitement expérimental.

La production laitière et l'ingestion ont été mesurées quotidiennement, les TB et TP deux fois par semaine, le poids vif trois fois par semaine. Des prises de sang caudales ont été réalisées à trois reprises, en fin de période pré-expérimentale (S4), puis en milieu et fin de période expérimentale (S10 et S16), après la traite du matin et avant l'accès à l'auge. Les concentrations plasmatiques en AGNE, glucose et urée ont été déterminées sur un analyseur multiparamètres (Koné). Les moyennes ont été calculées pour les périodes expérimentale et pré-expérimentale (4 semaines).

Le rendement d'utilisation des protéines dans le lait (Rdt PDI) a été calculé comme suit : g MP sécrétées dans le lait / (g PDIE ingérées - g PDI pour l'entretien et la croissance), exprimé en % (INRA, 2010). Le rendement d'utilisation de l'azote dans le lait (Rdt N) a été calculé comme suit : g N sécrété dans le lait / g N ingéré, exprimé en %. L'azote ingéré équivaut aux matières azotées totales (MAT) ingérées divisées par 6,25. Afin de prendre en compte les fractions protéique, uréique et non-protéique non-uréique du lait, l'azote sécrété dans le lait (g/j) a été calculé comme suit : $PL \times TP / 6,38 + PL / 1,032 \times [urée]_{\text{lait}} \times (28 / 60) + PL \times 0,125$ avec PL, TP et [urée] en kg/j, g/kg et g/L (Cutullic et al. 2013).

1.3. TRAITEMENTS EXPERIMENTAUX

Le facteur niveau d'azote dégradable (facteur N) devait présenter un ratio (PDIN-PDIE)/UFL à 0 (N0, niveau de référence) ou à -10 (N-10). Les valeurs réelles ont été de +2 et -8 g PDI/UFL.

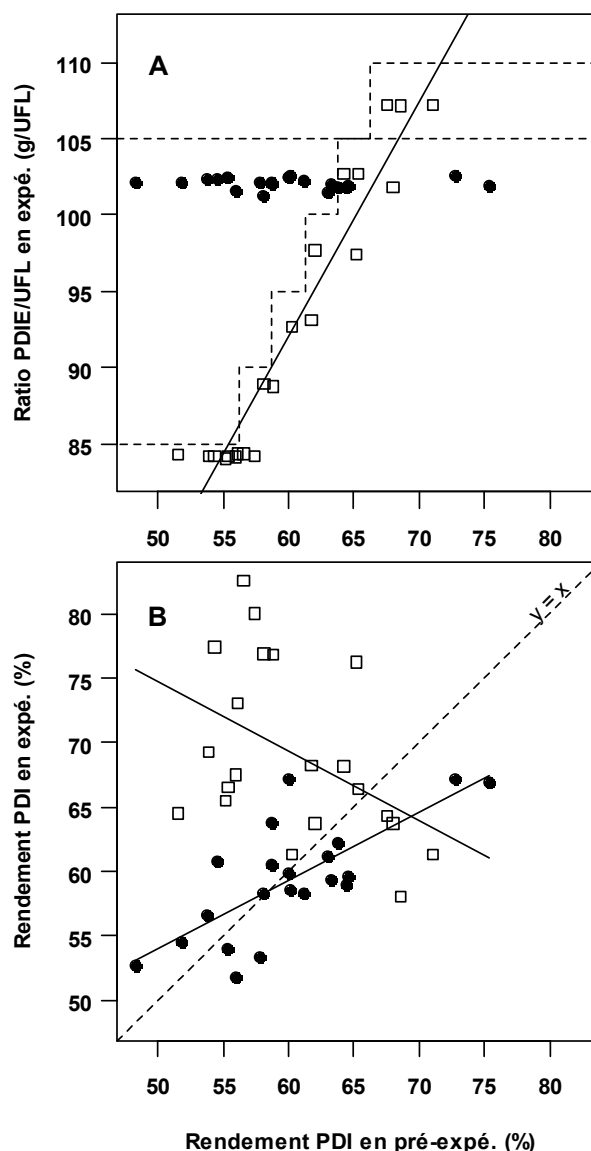
Le facteur niveau de protéines métabolisables PDIE (facteur E) devait être constant à 105 g PDIE/UFL (EC, niveau de référence, correspondant à l'optimum production-excrétion défini par Vérité et Delaby, 1998) ou variable (EV) et calculé pour chaque vache en fonction de son Rdt PDI lors de la période pré-expérimentale (dans le but de ramener par ajustement individuel toutes les vaches du groupe à un même Rdt PDI). L'ajustement a été réalisé à partir des analyses provisoires et en appliquant la règle suivante : $\text{ratio PDIE/UFL} = 105 + 2 \times (\text{Rdt PDI} - 65)$. Ainsi les vaches avec un Rdt PDI de 65 % devaient recevoir la même ration que les vaches du groupe EC (105 g PDIE/UFL). Pour des raisons pratiques de rationnement, les valeurs obtenues étaient arrondies à 5 g près sur une plage bornée de 85 à 110 g PDIE/UFL (Figure 1A, ligne en escalier). L'analyse *a posteriori* (après analyse chimique des aliments et inclusion de la 4^e semaine de période pré-expérimentale dans les calculs) révèle une ration à 102 g PDIE/UFL pour la modalité EC et la règle suivante pour la modalité EV : $\text{Ratio PDIE/UFL} = 102 + 1,5 \times (\text{Rdt PDI} - 66)$. Cette relation (Figure 1B, trait plein) signifie 1) que les vaches présentant un Rdt PDI de 66 % en période pré-expérimentale ont bénéficié d'une ration expérimentale à 102 g PDIE/UFL et 2) que -1 % de Rdt PDI en période pré-expérimentale a impliqué -1,5 g PDIE/UFL sur la ration expérimentale.

Les quatre traitements correspondent aux combinaisons N0_EC (la référence actuelle dans le système INRA, 2010), N-10_EC, N0_EV et N-10_EV.

1.4. RATIONS ET VALEURS ALIMENTAIRES

Les rations étaient composées d'ensilage de maïs (68,5 %), de concentré (30 %) et de CMV (1,5 %). La composition et la valeur alimentaire des rations complètes figurent dans le Tableau 1. Sur la période pré-expérimentale, une ration commune sans urée a été utilisée. Pour la période expérimentale, 12 rations ont été créées : 6 pour la modalité N0 et 6 pour la modalité N-10_EV.

Figure 1 A) Ratio PDIE/UFL appliqué en période expérimentale et B) rendement PDI observé en période expérimentale en fonction du rendement PDI observé en période pré-expérimentale, pour les modalités EC (●) et EV (□).



Sur la figure 1A, les répartitions initialement planifiées sont représentées pour les modalités EC (- - - horizontale) et EV (- - - escalier); la relation moyenne finalement appliquée est tracée pour le groupe EV (—; $\text{Ratio PDIE/UFL} = 102 + 1,5 \times (\text{RdtPDI} - 66)$). Sur la figure 1B, les relations linéaires issues d'un modèle incluant le Rdt PDI, le facteur E et leur interaction ($P_{\text{interaction}} < 0,001$; $R^2 = 60\%$, e.t.r. = 5,0) sont tracées pour les modalités EC ($y = 28 + 0,53 \cdot x$) et EV ($y = 102 - 0,54 \cdot x$).

Les rations complètes mélangées ont été distribuées à volonté deux fois par jour (50 % le matin, 50 % le soir). Les

refus ont été pesés et leur composition supposée identique à la ration offerte.

Les aliments offerts ont été échantillonnés tout au long de l'essai et un échantillon homogène de chaque aliment a été constitué en fin d'essai pour détermination des teneurs en matière minérale, MAT, paille (cellulose brute, NDF, ADF, ADL), amidon, matières grasses (extrait éthéré) et minéraux, ainsi que pour la détermination du profil fermentaire de l'ensilage de maïs, de la dégradabilité enzymatique de l'azote en 1h et de la digestibilité pepsine-cellulase des concentrés. Pour les concentrés, il a été vérifié sur 5 échantillons moyens que la MAT ne variait pas au cours de l'essai. Les valeurs alimentaires (UFL, PDI) ont été calculées selon le système INRA (2010).

1.5. ANALYSES STATISTIQUES

Les données des 42 vaches retenues ont été analysées par analyse de variance-covariance. Les variables de la période pré-expérimentale ont été analysées dans un modèle incluant le facteur N, le facteur E et l'interaction N x E. Les variables de la période expérimentale ont été analysées selon le même modèle, incluant en plus la variable équivalente en période pré-expérimentale comme covariable. Nous avons au préalable vérifié que la série n'avait pas d'influence sur les résultats, avant de l'exclure des modèles.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 1 Composition et valeur alimentaire des rations utilisées sur l'essai

Ration ⁵	Effectifs		Composition (g/kg MS) ¹						Valeurs alim. (g ou UFL/kg MS) ³					Ratios ⁴	
	EC	EV	EM	CE	TN	TT	UR	CM ²	MAT	UFL	PDIN	PDIE	PDIA	N	E
85/85	-	5	685	255	30	0	15	15	134	0,94	81	79	24	3	84
90/90	-	1	678	233	62	0	12	15	139	0,94	87	84	29	3	89
95/95	-	1	684	201	91	0	9	15	141	0,95	90	88	33	2	93
100/100	-	2	684	172	123	0	6	15	147	0,96	96	93	38	3	98
105/105	11	-	684	145	154	0	2	15	149	0,96	100	98	43	2	102
110/110	-	2	684	154	93	47	7	15	156	0,96	105	102	48	3	107
75/85	-	4	683	264	29	0	9	15	118	0,94	73	79	24	-7	84
80/90	-	1	683	236	61	0	5	15	120	0,95	77	84	29	-8	89
85/95	-	1	684	209	89	0	3	15	123	0,96	81	89	33	-8	93
95/105	10	3	683	175	99	28	0	15	131	0,96	90	98	44	-9	102
100/110	-	1	685	158	96	46	0	15	137	0,96	95	103	49	-8	107
Pré-expé.	21	21	692	126	167	0	0	15	146	0,97	99	100	45	-1	104

¹ EM ensilage de maïs, CE concentré énergétique, TN tourteau de soja normal, TT tourteau de soja tanné, UR urée, CM concentré minéral

² Les vaches ont eu en plus libre accès à des pierres à lécher (Sodi-Oligo, de Salins Agriculture)

³ Valeurs moyennes : matière sèche 50,6 %, matière organique 936 g/kg MS, cellulose brute 158 g/kg MS, NDF 337 g/kg MS,

ADF 172 g/kg MS, ADL 21 g/kg MS, amidon 313 g/kg MS, matière grasse (extrait éthéré) 28 g/kg MS

⁴ Ratio N = (PDIN-PDIE)/UFL et Ratio E = PDIE/UFL

⁵ La ration 90/100 n'a pas été utilisée dans l'essai, car elle n'était nécessaire pour aucune vache du groupe N-10_EV

Tableau 2 Paramètres zootechniques sur la période expérimentale

Variable	Fact N		Fact E		P effets ¹		R ²	Etr
	N0	N-10	EC	EV	N	E		
Production laitière (kg/j)	31,8	31,2	32,4	30,7	0,30	*	85	2,2
Taux butyreux (g/kg)	37,5	38,5	38,6	37,4	0,26	0,48	78	2,6
Taux protéique (g/kg)	30,8	30,4	31,1	30,2	0,13	*	73	1,1
Matière grasse (g/j)	1175	1198	1233	1139	0,81	*	78	103
Matière protéique (g/j)	976	947	1000	924	+	**	81	70
Azote sécrété dans le lait (g N/j)	160	154	164	151	+	**	81	12
Ingestion (kg MS/j)	21,3	21,1	21,8	20,7	0,35	**	81	1,2
UFL ingérées corrigées des interactions digestives (UFLc/j)	19,2	19,1	19,8	18,5	0,35	**	80	1,1
PDIN ingérées (g/j)	2022	1818	2072	1768	**	***	69	197
PDIE ingérées (g/j)	1981	1982	2145	1818	0,59	***	64	202
Azote ingéré (g N/j)	496	433	489	440	***	***	78	37
Rendement PDI (MP lait/PDIE hors croissance-entretien, %)	64,4	64,0	59,3	69,1	0,99	***	43	6,0
Rendement N (N lait / N ingéré, %)	32,2	35,7	33,6	34,4	***	0,67	73	1,7
Bilan UFL corrigé des interactions digestives (UFLc/j)	-0,1	-0,4	-0,1	-0,4	0,27	0,15	62	0,7
Poids vif (kg)	625	625	628	622	0,73	0,11	97	12

***, **, * P < 0,001 / 0,01 / 0,05 / 0,10

¹ L'interaction E x N est toujours non significative (P>0,2). La covariable incluse dans le modèle est toujours significative (P<0,001), sauf pour le rendement PDI du fait du schéma expérimental, induisant une interaction entre la covariable et le facteur E.

2.2. REDUIRE L'APPORT EN AZOTE DEGRADABLE AMELIORE LE RDT N, REDUIRE L'APPORT EN PROTEINES METABOLISABLES AMELIORE LE RDT PDI

Comme explicité précédemment, les facteurs testés ont fait varier la production et/ou l'ingéré, ce qui a généré entre traitements des différences de rendements d'utilisation de l'azote ou des protéines métabolisables. Toutefois, quel que soit le traitement, le Rdt N est globalement élevé au regard de la littérature (Cutullic et al., 2013), avec plus de 30 % de l'azote ingéré sécrété dans le lait. Ceci s'explique par une ration « haut » azote (N0_EC) à la fois proche de l'équilibre en azote dégradable et proche du ratio PDIE/UFL optimum recommandé par Vérité et Delaby (1998) pour limiter les rejets tout en maintenant la production.

Cependant, la réduction de l'apport en azote dégradable permet encore une amélioration majeure du Rdt N (+3 points), puisque la production de matière protéique est maintenue à ingestion d'azote limitée (**Tableau 2**). Il conviendra de préciser à l'avenir la réponse à des réductions encore plus marquées d'azote dégradable, à même niveau d'apport en protéines métabolisables, afin de connaître le point de rupture en deçà duquel les réductions de production, de digestibilité et d'ingestion sont trop fortes au point de pénaliser le Rdt N. Sur régimes à base d'ensilage de maïs avec 89 g PDIE/UFL (actualisé avec les équations INRA 2010), Peyraud et al. (1997) avaient observé une baisse de la synthèse des matières protéiques de seulement 3 % pour un régime à -14 g (PDIN-PDIE)/UFL contre des régimes à +1. Cela induisait un Rdt N de 39 contre 32 %, sans affecter le Rdt PDI (62 vs. 64 %), conformément à ce qui a été observé dans notre essai (64 %).

La réduction de l'apport en protéines métabolisables dans la ration s'est, elle, traduite par une amélioration de 10 points du Rdt PDI, mais par une amélioration non significative du Rdt N (+1 point ; **Tableau 2**). L'utilisation plus efficiente des PDI se traduit là encore par une baisse significative de la concentration en urée plasmatique, et donc des rejets d'azote uréique dans l'urine (**Tableau 3**). Dans le lot EV, l'amélioration du Rdt PDI a été plus forte qu'escomptée (+1 % de Rdt PDI pour -1 contre -2 g PDIE/UFL), ce qui a conduit les vaches les moins efficaces à devenir clairement les plus efficaces, au lieu de simplement toutes revenir au même niveau (**Figure 1B**).

Deux intérêts notables de ces deux leviers, niveau d'azote dégradable et niveau de protéines métabolisables, sont leur absence de conséquence sur l'efficacité énergétique et leur additivité sur l'efficacité azotée (les interactions E x N sont non significatives, $P > 0,2$). Entre extrêmes (N0_EC vs. N-10_EV), la synthèse de matière protéique baissait certes de 1028 à 922 g/j, mais le Rdt N augmente de 32,1 à 36,4 % ($P < 0,001$). En réduisant à la fois fortement l'apport en azote dégradable (-18 vs. -3 g (PDIN-PDIE)/UFL) et l'apport en protéines métabolisables (94 vs. 105 g PDIE/UFL), Fanchone et al. (2013) ont aussi observé une nette amélioration du Rdt N (30 vs 26 %), mais leur stratégie a été appliquée à tous les individus, indépendamment de leur capacité à valoriser les PDI. L'intérêt de ne réduire l'apport en protéines métabolisables que pour les individus les moins efficaces semble justifié, car d'une part la réponse du Rdt PDI à la réduction du ratio PDIE/UFL est plus prononcée dans notre essai que dans les travaux de Vérité et Delaby (1998), et d'autre part la réduction de la synthèse des MP est 24 % inférieure à la réduction attendue au vu de la loi de réponse proposée par Brun-Lafleur et al. (2010 ; essai croisant apports d'énergie et apports d'azote). Or les lois de réponse de ces deux publications ont été obtenues en comparant des lots d'animaux de génétique similaire entre les différents traitements, animaux efficaces comme inefficaces. La réduction des synthèses de MP serait donc moins marquée pour les individus moins efficaces que pour les animaux plus efficaces.

Tableau 3 Paramètres métaboliques plasmatiques, après la traite du matin.

	Fact N		Fact E		P effets ¹		R ²	Etr
	N0	N-10	EC	EV	N	E		
AGNE (µmol/L)	153	178	153	178	0.14	0.14	39	54
Glucose (mmol/L)	4,18	4,18	4,24	4,13	0.99	0.12	19	0,23
Urée (mmol/L)	4,61	2,67	4,11	3,17	***	***	78	0,61

¹ L'interaction E x N est non significative ($P > 0,5$) et supprimée. La covariable est significative ($P < 0,05$) sauf pour l'urée ($P = 0,16$).

2.3. CONSEQUENCES SUR LES REJETS AZOTES ET LA CONSOMMATION DE PROTEINES

D'après les équations de Cutullic et al. (2013), les rejets d'azote fécal peuvent être estimés à respectivement 176 et 164 g N/j pour les deux stratégies extrêmes (N0_EC vs. N-10_EV) et les rejets d'azote non uréique urinaire à respectivement 49 et 42 g N/j. Par différence entre l'azote ingéré et les différentes fractions excrétées dans les fèces, le lait et l'urine, les rejets d'azote uréique urinaire représenteraient 133 et 58 g N/j. La stratégie N-10_EV permettrait donc un abattement de 56 % de l'azote uréique urinaire par rapport à la stratégie N0_EV, qui fait déjà figure de référence comme compromis entre maintien de la production et limitation des rejets azotés (Vérité et Delaby, 1998). Cette valeur est en parfait accord avec la réduction de 57 % observée sur la concentration en urée plasmatique (de 5,08 à 2,20 mmol/L).

Par ailleurs, la stratégie N-10_EV a consommé en moyenne 1,8 kg MS de tourteau de soja (dont 0,3 kg de tourteau tanné) par kg de matière protéique laitière produite, contre 3,3 kg pour la stratégie N0_EC. Malgré une utilisation de 90 contre 40 g d'urée par kg de MP laitière, les économies de correcteur azoté, et principalement de concentré protéique importé, sont non négligeables pour la stratégie N-10_EV en comparaison à la stratégie N0_EC.

CONCLUSION

Les effets de ces pratiques à l'échelle de la lactation et de la carrière de l'animal restent à évaluer, mais les résultats obtenus dans cet essai indiquent une nette amélioration du rendement d'utilisation de l'azote en combinant réduction du niveau d'apport d'azote dégradable de la ration et ajustement individualisé de l'apport de protéines métabolisables pour maximiser le rendement des PDI.

Les auteurs remercient le personnel de la ferme INRA de Méjusse pour la bonne mise en œuvre de cet essai complexe, et le personnel du laboratoire de Saint-Gilles pour leur réactivité sur les différents dosages requis.

Brun-Lafleur L., Delaby L., Husson F., Faverdin P., 2010. J Dairy Sci., 93, 4128-4143.

Cutullic E., Bannink A., Carli J., Crompton L., Doreau M., Edouard N., Faverdin P., Jurjanz S., Klop A., Mills J., Moorby J., Nozière P., Reynolds C., Van Vuuren A., Peyraud J.-L., 2013. 64th EAAP meeting, Nantes.

Edouard N., Hassouna M., Robin P., Faverdin P., 2011. 8th Int. Symp. on the Nutrition of Herbivores, Aberystwyth.

Edouard N., Charpiot A., Robin P., Lorinquer E., Dollé J.-B., Faverdin P., 2013. 64th EAAP meeting, Nantes.

Fanchone A., Nozière P., Portelli J., Duriot B., Largeau V., Doreau M., 2013. J. Anim. Sci., 91, 895-906.

INRA, 2010. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Mise à jour 2010. Editions Quæ, 311 pages.

Peyraud J.-L., Le Liboux S., Vérité R., 1997. Reprod. Nutr. Dev., 37, 313-328.

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