

A bas comme à hauts niveaux d'apports PDI, corriger le profil en acides aminés digestibles dans l'intestin permet d'augmenter les matières protéiques du lait et l'efficacité d'utilisation des PDI chez la vache laitière

LEMOSQUET, S (1); HAQUE, M.N. (2); FAVERDIN, P. (1); PEYRAUD, J.L. (1); DELABY, L. (1)

(1) INRA, Agrocampus Ouest, UMR1348 Pegase, 35590 Saint- Gilles, France

(2) Department of Animal Nutrition, University of Veterinary and Animal Sciences, Lahore, Pakistan

RESUME

L'efficacité d'utilisation des PDIE chez les vaches laitières dépend de l'équilibre PDIE/UFL et la valeur de 100 g de PDIE/UFL a été retenue dans le système INRA en 2007 comme une valeur seuil au-delà de laquelle l'efficacité de synthèses des protéines du lait devient trop faible. Mieux corriger le profil en acides aminés digestibles dans l'intestin (AADI) est potentiellement un autre moyen d'augmenter l'efficacité d'utilisation des PDIE. Cependant, les recommandations en LysDI et MetDI ont été établies à des niveaux d'apports PDIE (≥ 110 PDIE/UFL) supérieurs à la valeur seuil de 100 PDIE/UFL. Il importe donc de savoir si la correction du profil en AADI permet d'augmenter les synthèses de matières protéiques et l'efficacité d'utilisation des PDIE à bas comme à hauts niveaux d'apports PDIE. Les effets de la correction de profils en AADI en interaction avec le niveau d'apport PDIE/UFL ont été analysés dans 6 essais. Les vaches recevaient des régimes à base d'ensilage de maïs. La correction des AADI a porté sur LysDI et MetDI (2 essais) seules, ou associées à HisDI et LeuDI (1 essai), ou associés aux 7 autres AA indispensables (3 essais). Quel que soit le niveau PDIE/UFL (de 92 à 122), la correction du profil en AADI a augmenté les synthèses de matières protéiques (de 48 g/j) et l'efficacité des PDIE (de 0,625 à 0,665) sans aucune interaction. Corriger le profil en LysDI et MetDI à des niveaux PDIE ≤ 100 g/UFL permet bien d'accroître sensiblement l'efficacité. Cependant, la réponse a été plus importante lorsqu'un supplément d'HisDI et de LeuDI a été également apporté. A l'avenir il semble donc important de mieux préciser leurs recommandations.

Balancing the amino acid profiles in dairy diets increased milk protein yield and efficiency at low levels of metabolizable protein similarly as at high levels

LEMOSQUET, S (1); HAQUE, M.N. (2); FAVERDIN, P. (1); PEYRAUD, J.L. (1); DELABY, L. (1)

(1) INRA, Agrocampus Ouest, UMR1348 Pegase, 35590 Saint- Gilles, France

SUMMARY

Decreasing metabolizable protein (PDIE) supply in dairy diets increases the efficiency of their utilization for milk protein; however, milk protein yield decreases below a level of 60 g of PDIE per Mcal of NE_L (INRA 2007). Supplying a well-balanced essential AA profile can help to decrease metabolizable protein supply and to increase the efficiency of protein utilization by increasing milk protein yield. However, in most of the cases, the effect of balancing Lys and Met were demonstrated at a level of PDIE per NE_L supply greater than 60 g/Mcal. The effect of balancing AA profiles at different levels of PDIE supplies (lower and higher than 60 g/Mcal of PDIE/NE_L) were investigated in 6 experiments on dairy cows receiving a corn silage based-diet. The results show an increased milk protein (48 g/d) and efficiency (from 0.625 to 0.665) both at low and high levels of PDIE supply with no interaction. The increase in efficiency was more pronounced when His and Leu were also balanced in addition to Lys and Met.

INTRODUCTION

Formuler des régimes qui permettent d'accroître l'efficacité d'utilisation de l'azote (N) est un enjeu environnemental et économique important pour l'alimentation des vaches laitières. Plusieurs stratégies alimentaires peuvent être combinées à l'échelle de l'animal pour augmenter l'efficacité de conversion de l'azote en protéines du lait. La première consiste à équilibrer l'apport en azote et en énergie (matière organique fermentescible) dans le rumen ce qui se traduit par la recherche d'un bon équilibre des rations en PDIN et PDIE (Vérité et Delaby, 1998 ; INRA 2007). Ce concept est déjà repris dans le futur système (Projet « Systali ») au niveau du modèle intégré du rumen (Sauvant et Nozière, 2013). La deuxième stratégie consiste à équilibrer le rapport entre les apports PDIE et les apports d'énergie nette sous forme d'UFL (Vérité et Delaby, 1998). En effet, l'augmentation des matières protéiques (MP) du lait en réponse à l'augmentation de l'apport PDIE/UFL suit une loi des rendements décroissants (Vérité et Delaby, 1998). Un optimum autour de 100 PDIE/UFL a été proposé. Au-delà de cet optimum, l'augmentation des MP est faible au regard de l'augmentation des pertes d'azote urinaire. En effet, on peut considérer que les AA absorbés (PDI) ont deux devenir métaboliques

principaux : soit ils sont utilisés pour produire des protéines du lait, soit ils sont catabolisés sous forme d'urée et contribuent à la production d'azote urinaire. Ce sont quasiment les deux seuls voies métaboliques d'utilisation des PDI lorsque des rations équilibrées en PDIN et PDIE sont distribuées à des vaches laitières adultes, n'ayant plus de besoin de croissance et ne mobilisant pas leurs protéines corporelles une fois passée les premières semaines de lactation. La troisième stratégie consiste donc à corriger le profil en AA digestible dans l'intestin (AADI, % des PDIE), en particulier en lysine (LysDI) et méthionine (MetDI ; Rulquin et al., 1993 ; INRA, 2007). En effet, augmenter les apports de LysDI et MetDI jusqu'à leur seuil d'alerte (6,8% des PDIE et 2,1% des PDIE) ou de recommandations (7,3% des PDIE ou 2.5% des PDIE) augmente les MP du lait sans augmenter l'apport PDIE. Corriger l'apport en LysDI et MetDI est donc un moyen d'augmenter l'efficacité d'utilisation des PDIE pour les MP du lait sans augmenter les pertes d'azote urinaire. Cependant, les recommandations en LysDI et MetDI ont été établies à des niveaux d'apports PDIE (110 PDIE/UFL ; Rulquin et al., 1993) supérieurs aux recommandations INRA (2007) à 100 PDIE/UFL. Par ailleurs, certaines expériences de la littérature ont clairement démontré que d'autres AA indispensables (AAI) pouvaient être secondairement limitants

car leur correction augmentait les MP ou le TP (Schwab et al. 1976). Il est cependant encore difficile de préciser quel AAI considéré en troisième après avoir corrigé LysDI et MetDI. Rulquin en utilisant ces propres essais a d'ailleurs proposé dans INRA 2007 des recommandations en Histidine (HisDI : 3,0% des PDIE) et Leucine (LeuDI : 8,9% des PDIE) et une première formule de protéine idéale (Rulquin et al., 2007). Dans l'objectif de pouvoir réduire les apports PDIE, nous avons donc voulu savoir si la correction du profil en AADI pouvait augmenter les MP et l'efficacité d'utilisation des PDIE à bas niveaux d'apports PDIE (<100 PDIE/UFL) comme à hauts niveaux d'apports. Pour cela, les effets de 2 profils en AADI (idéal ou non) apportés à 2 niveaux d'apports PDIE ont été testés au travers de 5 essais sur vaches laitières avec des rations à base d'ensilage de maïs dans le cadre du projet européen REDNEX. Le deuxième objectif du projet a été de progresser dans les recommandations en AA des vaches laitières. Il s'agit de confirmer si d'autres AA que LysDI et MetDI sont susceptibles d'augmenter les MP. Dans ce cadre nous nous sommes intéressés aux recommandations en Histidine (HisDI) et Leucine (LeuDI) proposées par Rulquin (INRA 2007). Un sixième essai a porté sur les effets d'une carence en Valine (ValDI) au regard de l'apport de LeuDI. Ce texte propose une synthèse des principaux résultats zootechniques de ces différents essais.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. DESCRIPTION DES 6 ESSAIS

Trois essais (1 à 3, Tableau 1) concernent la correction complète du profil en 9 AAI proposés par Rulquin et al. (2007). Des perfusions duodénales de mélange d'AA sont apportées à des vaches laitières fistulées (4 à 6) multipares (Tableau 1) qui reçoivent 2 rations créant 2 niveaux d'apports PDIE/UFL. Deux essais (Essais 4 et 5) réalisés sur 16 vaches laitières (primipares et multipares) complètent ces études en analysant l'effet d'une correction portant uniquement sur LysDI et MetDI, appliquée à 2 niveaux PDIE/UFL. Dans les essais de perfusions duodénales comme dans l'essai 4, les quantités d'aliments distribuées sont restreintes. Dans l'essai 5, la réponse de l'ingestion est quantifiée. Les schémas expérimentaux utilisés sont soit de type carré Latin : 2 niveaux d'apports PDIE/UFL (BP vs HP) × 2 profils en AADI (AA- vs. AA+); soit de type factoriel hiérarchisé où l'effet des AA est testé intra-niveau d'apport PDIE/UFL. Selon les essais, les profils en AA sont donc appliqués sur des périodes de 1 à 3 semaines, les niveaux d'apports PDIE/UFL sont appliqués pendant 2 à 6 semaines (Tableau 1). Le dernier essai (Essai 6) explore l'effet de nouveaux AAI. Il s'intéresse à la réponse à une carence en ValDI, Isoleucine (IleDI) ou Arginine (ArgDI) combinée à une carence en LeuDI sur 4 vaches laitières selon un carré Latin 4×4.

1.2. DESCRIPTION DES TRAITEMENTS ET MESURES

Dans l'ensemble des essais, les vaches reçoivent une ration à base d'ensilage de maïs qui représente 63% (de 55% à 70%) de l'ingestion de MS. Dans chaque essai, l'apport d'UFL par kg de MS est fixe. Les variations de niveaux d'apports de PDIE/UFL dans chaque essai sont donc obtenues par la variation de concentrations en PDIE des 2 rations BP et HP. Dans les 3 premiers essais de corrections des 9 AAI, les traitements AA+ sont conçus afin que la ration plus la perfusion apporte le profil idéal en AAI (exprimé en % des PDIE) de Rulquin (2007) : LysDI (7,3%), MetDI (2,5%), HisDI (3%), LeuDI (8,9%), ValDI (5,3%), IleDI (4,5%), PheDI (4,6%), ThrDI (4,0%) et ArgDI (3,1%). Le profil AA- correspond au profil le plus déficitaire possible en un maximum d'AAI (ration + perfusion). Des AA non indispensables (AANI) sont perfusés pour que toutes les perfusions AA- et AA+ soient iso-PDI et quasiment iso-azotées. L'apport de PDIE par les perfusions d'AA représente en moyenne 11,2% de l'apport PDIE total (de 8% à 15%

selon les traitements). Dans l'essai 1, un profil intermédiaire (4AAI) correspondant à la correction de LysDI, MetDI, HisDI et LeuDI est également testé. Pour corriger la LysDI dans les essais 4 et 5, le concentré protéique est enrichi en concentré protéique de pomme de terre par substitution au tourteau de soja. Pour corriger la MetDI, une méthionine protégée (Metasmar®) est utilisée. Enfin, l'essai 6 de carences en ValDI ou en IleDI ou en ArgDI consiste en un traitement contrôle positif où le profil idéal en AAI de Rulquin (2007) est apporté par la ration plus la perfusion duodénales d'AAI. Dans les 3 autres traitements, soit la ValDI soit l'IleDI ou l'ArgDI est supprimée de la perfusion et remplacée par du glutamate, un AANI, pour que les traitements restent iso-PDIE.

L'ensemble des 5 essais croisant 2 niveaux PDIE (BP vs. HP) et 2 profils en AA (AA+ vs. AA- ou AA+ et 4AAI vs. AA-), diffèrent en inter-essai par le stade de lactation des vaches et les niveaux d'apports PDIE et UFL (Tableau 1). Les concentrations en LysDI, MetDI des traitements AA+ sont quasiment identiques dans tous les essais. Par contre, les traitements AA+ des essais 4 et 5 diffèrent des 3 autres puisque seules LysDI et MetDI sont corrigées et non l'ensemble des 9 AAI.

Les productions de lait, de MP, de matières grasses (MG), de lactose, leurs taux respectifs (TB, TP, lactose) et le ratio caséines : protéines ont été mesurés dans tous ces essais. L'efficacité d'utilisation de l'azote (eff N) a été mesurée en rapportant l'azote du lait à l'azote ingéré. L'efficacité des apports PDIE a été calculée selon la formule (INRA, 2007) : $\text{eff PDIE} = (\text{Lait} \times \text{TP}) / (\text{Apport PDIE} - \text{Besoin PDIE d'entretien})$.

1.3. ANALYSES STATISTIQUES

Une analyse de variance globale a d'abord été réalisée sous Epsilon sur les 22 traitements des 5 essais croisant les niveaux PDIE (BP vs. HP) et les profils d'AA (AA+ vs. AA-):

(a) $y_{ijkl} = \text{Exp}_i + \text{PDIE}/\text{UFL}_j + \text{AA}_k + \text{PDIE}_i \times \text{AA}_k + \text{Exp}_i \times \text{AA}_k + \varepsilon_{ijkl}$ où l'effet expérience (Exp) comprenait 5 modalités, les effets PDIE et AA 2 modalités, le traitement 4AAI de l'essai 1 étant considéré comme un traitement AA+. Cette analyse a été complétée par la comparaison de différentes équations ((b) à (i); Figure 1 et Tableau 3] de prédictions des MP, du TP et du lait. Ces équations résultaient de modèles d'analyses de covariances et de régressions linéaires multiples. Le critère principal de comparaison a été l'écart-type résiduel des modèles (Syx). Le facteur fixe Exp a été remplacé dans les équations (c) à (i) du Tableau 3 par une covariable de pré-essai (lait, TP, MP). Pour choisir les paramètres à intégrer au modèle, nous avons utilisé des analyses graphiques à la fois pour vérifier que ces paramètres n'étaient pas corrélés entre eux et pour évaluer la possible corrélation entre un facteur-candidat et les résidus de l'analyse précédente. Nous avons également introduit les différents paramètres dans des régressions multiples pas à pas sous Minitab pour s'assurer de la pertinence des paramètres retenus.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. QUEL QUE SOIT LE NIVEAU D'APPORT PDIE, LA CORRECTION DU PROFIL EN AA AUGMENTE LES MATIERES PROTEIQUES ET L'EFFICACITE DES PDIE.

Dans chacun des 5 essais, les MP ont en moyenne augmenté (Figure 1) de 4,7% (48 g/j) avec la correction du profil en AA (Tableau 2) et de 8,6% (87 g/j) avec l'augmentation de l'apport PDIE/UFL. Cependant l'efficacité d'utilisation des PDIE a augmenté de 6,4% (de 0,625 à 0,665) avec la correction du profil en AAI alors qu'elle a diminué en moyenne de 16,7% (de 0,704 à 0,586) avec l'apport PDIE/UFL (Tableau 2 - Figure 1). L'efficacité d'utilisation de l'azote a varié comme celle des PDIE.

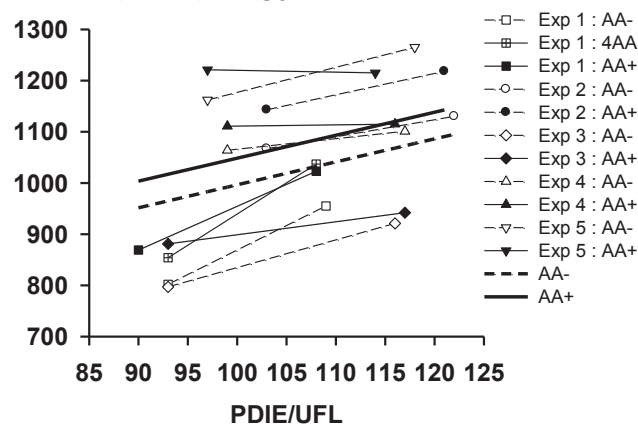
Tableau 1 : Récapitulatif des 5 essais croisant 2 Niveaux d'apports PDIE/UFL (BP vs. HP) et 2 profils en AA (AA- vs. AA+)

Type	Essai	Vaches		Durée des Traitements		Lait Pré-essai (kg/j)	PDIE		UFL ¹ (/kg MS)	PDIE/UFL ²		LysDI		MetDI		AAI	
		nbre	Stade	PDIE Semaines	AA Semaines		BP (g/kg MS)	HP (g/kg MS)		BP	HP	AA- (%PDIE)	AA+ (%PDIE)	AA- (%PDIE)	AA+ (%PDIE)	AA- (%PDIE)	AA+ (%PDIE)
Perfusions	1	6	26	2	1	32	88	105	0,95	92	109	6,1	7,2	1,6	2,4	40	45
	2	4	9	4	2	36	102	117	0,98	103	122	5,8	7,0	1,7	2,4	40	48
	3	4	22	2	2	30	89	111	0,96	93	117	5,8	7,3	1,6	2,5	40	49
Rations	4	16	15	3	3	35	95	112	0,89	99	116	6,2	7,0	1,9	2,3	44	46
	5	16	16	6	3	40	96	112	0,89	97	116	6,2	7,0	1,9	2,3	44	46

¹ UFL corrigées des interactions fourrages concentrés ; ² UFL non corrigées

En l'absence d'interaction PDI × AA significative, ces résultats confirment l'effet positif d'une correction du profil en AA sur les synthèses de MP, le TP et l'efficacité d'utilisation des PDIE, quel que soit le niveau d'apport PDIE/UFL. Réduire l'apport PDIE/UFL en corrigeant le profil en AADI et dans un premier temps les teneurs en LysDI et MetDI de la ration peut donc être un moyen d'obtenir une bonne efficacité d'utilisation des PDIE au niveau de l'animal tout en maintenant une bonne exportation des protéines dans le lait.

Matières protéiques (g/j)



Efficacité des PDIE

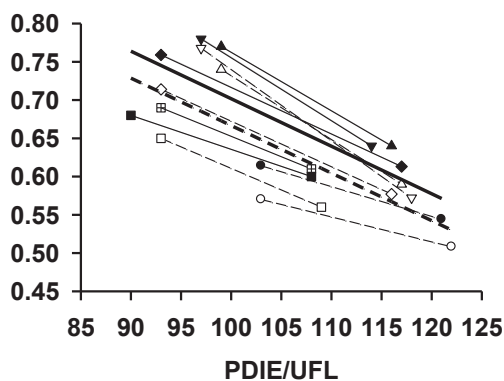


Figure 1 : Augmentation des matières protéiques et gain d'efficacité en réponse à la correction du profil en acides aminés indispensables. (Equation (b) : $MP = 574(\pm 98) + 4,5(\pm 0,9) \times PDIE/UFL \pm [26(\pm 8,8) \text{ pour les AA}]$, $Syx = 40,6$; $R^2 \text{ ajusté} = 91,9$; $Eff \text{ PDIE} = 1,30(\pm 0,05) - 0,0062(\pm 0,0005) \times PDIE/UFL \pm [0,0176(\pm 0,005) \text{ pour les AA}]$, $Syx = 0,222$; $R^2 \text{ ajusté} = 92,6$)

Le changement de profil en AAI modifie les MP et la composition du lait différemment de l'augmentation d'apport PDIE/UFL. En effet, ce changement de profil en AAI a augmenté les MP sans augmenter le volume de lait ce qui a conduit à une augmentation du TP de 1,4 g/kg (Tableau 2). Il n'a pas modifié la quantité de lactose produite mais a diminué le taux de lactose. La quantité de MG et le TB n'ont pas varié. A contrario, l'augmentation de l'apport PDIE a augmenté les quantités de MP, de lactose et de MG ainsi que le volume de lait sans modification importante des taux. Enfin, le ratio caséines sur protéines (80 %) n'a pas varié avec les traitements.

Tableau 2 : Effets du changement du profil en AAI (AA+ vs. AA-) à 2 niveaux d'apports PDIE/UFL (HP vs. BP)

	BP		HP		Syx model	P < ¹	
	AA-	AA+	AA-	AA+		PDIE	AA
Lait (kg/j) :	32,6	33,1	35,2	34,8	1,3	<0,01	0,9
MP (g/j) :	978	1035	1074	1113	43,8	<0,01	0,03
TP (g/kg) :	30,1	31,4	30,7	32,3	0,4	<0,01	<0,01
Lactose (g/j) :	1617	1603	1738	1679	55,6	<0,01	0,16
Taux Lactose (g/kg)	49,6	48,4	49,4	48,2	0,4	0,43	<0,01
MG (g/j) :	1102	1157	1217	1230	60,5	<0,01	0,23
TB (g/kg) :	34,8	35,6	35,3	35,9	2,4	0,69	0,53
Eff PDIE :	0,688	0,719	0,561	0,611	0,029	<0,01	<0,01
Eff N :	0,337	0,358	0,317	0,341	0,012	<0,01	<0,01

¹Analyse de variance (a)

L'analyse des différentes équations de prédictions (Tableau 3) des MP, TP et du lait montrent que les facteurs fixes expériences (Exp) et PDIE/UFL peuvent être expliqués et remplacés par les PDIE (g/kg MS) qui varient en intra et inter-essai (Tableau 1) et par les variations inter-essai de concentration en UFL (/kg MS). Bien que les variations d'UFL soient faibles, ce paramètre constitue un facteur interférant de l'effet Exp qui est toujours retenu dans les régressions multiples pas à pas. Par contre, le facteur fixe AA ne peut être remplacé que par une seule covariable soit la somme des AAI soit par LysDI ou par MetDI.

Tableau 3 : Comparaison de l'écart-type du modèle (Syx) dans différentes équations de prédictions

Equations	Syx		
	MP (g/j)	TP (g/kg)	Lait (kg/j)
(c) $y = a + b \times Cov + c \times PDIE \text{ (g/kg MS)}$	51,5	0,98	1,18
(d) $y = a + b \times Cov + c \times AAI \text{ (g/kg MS)}$	45,3	0,67	1,35
(e) $y = a + b \times Cov + c \times PDIE \text{ (g/kg MS)} + d \times AAI \text{ (%PDIE)}$	45,5	0,44	1,21 (AAI : NS)
(f) $y = a + b \times Cov + c \times PDIE \text{ (g/kg MS)} + d \times UFL \text{ (/kg MS)}$	48,5	1,00	1,08
(g) $y = a + b \times Cov + c \times AAI \text{ (g/kg MS)} + d \times UFL \text{ (/kg MS)}$	38,9	0,69 (UFL : NS)	1,21
(h) $y = a + b \times Cov + c \times UFL \text{ (/kg MS)} + d \times AAI \text{ (g/UFL)}$	45,3	0,68 (UFL : NS)	1,22
(i) $y = a + b \times Cov + c \times PDIE \text{ (g/kg MS)} + d \times UFL \text{ (/kg MS)} + e \times AAI \text{ (%PDIE)}$	39,1	0,44 (UFL : NS)	1,11

Cov : Covariable de pré-essai pour les MP, le TP ou le Lait ; NS : Non Significatif à $P < 0,05$

En effet, l'analyse graphique montre que ces 3 paramètres ont varié de façon identique dans les traitements AA+ des essais et leurs effets sont donc confondus (Tableau 1). Pour les 3 paramètres étudiés (MP, TP et Lait), l'écart-type le plus faible est obtenu avec l'équation (g) pour les MP, l'équation (e) pour le TP et l'équation (f) pour le lait (Tableau 3) :

$$(g) \text{ MP (g/j)} = -1341(\pm 351) + 1,1(\pm 0,1) \times \text{CovMP} + 904(\pm 325) \times \text{UFL}/(\text{kg MS}) + 8,6(\pm 1,6) \times \text{AAI}(\text{g/kg DM})$$

$$R^2 \text{ ajusté} = 92,6 ; \text{Syx} = 38,9$$

$$(e) \text{ TP (g/kg)} = -8,0(\pm 3,1) + 0,8(\pm 0,1) \times \text{CovTP} + 0,03(\pm 0,01) \times \text{PDIE (g/kg MS)} + 0,28(\pm 0,03) \times \text{AAI}(\% \text{PDIE})$$

$$R^2 \text{ ajusté} = 90,6 ; \text{Syx} = 0,44$$

$$(f) \text{ Lait (kg/j)} = -32,6(\pm 8,6) + 1,16(\pm 0,08) \times \text{CovPL} + 0,10(\pm 0,02) \times \text{PDIE (g/kg MS)} + 18(\pm 8) \times \text{UFL}/(\text{kg MS})$$

$$R^2 \text{ ajusté} = 93,6 ; \text{Syx} = 1,08$$

Il faut rester prudent sur l'utilisation des coefficients de ces 3 équations, les réponses des MP (Figure 1) et du lait étant probablement curvilinéaires. Mais la structure des traitements (2 niveaux PDI \times 2 profils en AA) et des 22 données disponibles ne permet pas de tester la pertinence de réponses curvilinéaires. De plus, l'équation (g) pour les MP et (f) pour le lait présentent des écart-types résiduels des modèles proches des équations (i). L'étude des différents paramètres des équations suggère que le lait dépendrait plus des apports UFL et PDIE que de l'apport d'AAI d'après les équations (f) et (g). Le TP dépendrait plus des AA et peu de l'apport UFL d'après les équations (e) et (i). Enfin, le mode d'expression des AAI en g/UFL (équation h), comparable à celui de la Lys pour le porc en croissance, ne permet pas sur ces données de mieux expliquer ces réponses.

2.2. LE PROFIL EN ACIDES AMINÉS INDISPENSABLES

Au-delà des résultats moyens, toutes expériences confondues, il existe des différences importantes entre les essais. L'essai 5 présente la particularité de tester la réponse de l'ingestion qui a augmenté de 2,2 kg de MS dans le traitement HPAA-. L'effet attendu était une diminution de l'ingestion à bas niveau d'apport PDIE (Faverdin et al., 2003). Cependant le niveau BP (96 g de PDIE/UFL) de l'essai 5 était supérieur au niveau PDI induisant une forte réduction de l'ingestion. Pour les autres essais, une partie importante des différences de réponses sur le TP ou les MP semble s'expliquer par les profils en AAI, en particulier par la supplémentation en His et Leu. En effet, l'interaction Exp \times AA a été significative sur le TP suggérant que l'ajout d'autres AAI que LysDI et MetDI aurait principalement augmenté le TP dans les essais 1, 2 et 3 (1,4 g/kg) par rapport aux essais 4 et 5 (0,5 g/kg). L'augmentation des MP a été deux fois plus élevée dans les 3 premiers essais où d'autres AAI que LysDI et MetDI ont été corrigés (Figure 1). Ces essais montrent comme ceux de Schwab et al. (1976) que d'autres AAI sont potentiellement limitants. De plus, dans l'essai 1, la correction du profil pour 4 AAI (LysDI, MetDI, HisDI et LeuDI) permet d'obtenir une augmentation aussi importante des MP que la correction complète des 9 AAI (Figure 1 ; Haque et al., 2012a). Ceci confirme l'importance de préciser les recommandations en HisDI et LeuDI comme le suggérait Rulquin (INRA 2007).

La méta-analyse réalisée par Haque et al. (2012b) suggère cependant, que la recommandation en HisDI (3,0 % des PDIE ; INRA 2007) est probablement trop élevée. L'étude du métabolisme mammaire dans l'essai 2 semble confirmer cette hypothèse. En effet l'augmentation de la concentration en HisDI de 1,9% à 3% des PDIE dans les traitements AA+ vs. AA- a augmenté l'apport intestinal d'His de 53% alors que les prélèvements mammaire d'His n'ont augmenté que de 10,6%. Ceci a conduit à un accroissement important du catabolisme de l'His. Une recommandation de 2,5% des PDIE comparable à celle retenue par Doepel et al. (2004) pourrait être suffisante. Il faut souligner qu'aucun aliment ne permet d'atteindre une valeur d'HisDI à 2,5% des PDIE.

La recommandation en LeuDI d'INRA (2007) a été fixée à 8,9 % des PDIE à partir des résultats de l'essai doses – réponses de supplémentation en LeuDI de Rulquin et Pisulewski (2006). Cependant le dernier essai (6) a permis d'étudier l'effet d'une carence en ValDI (Haque et al., 2013) dans un régime également déficitaire en LeuDI (Tableau 4) apportant 112 g de PDIE/UFL. La diminution du TP avec ce traitement « -Val » peut être interprétée soit comme l'effet de la carence en ValDI soit comme l'effet d'un excès d'IleDI au regard de ValDI et LeuDI. En effet, ces 3 AA sont catabolisés via les mêmes enzymes et chez les monogastriques un excès de l'un entraîne le catabolisme des 3 autres. Ceci suggère qu'il faudrait raisonner conjointement les recommandations en LeuDI, IleDI et ValDI comme chez le porc en croissance.

Tableau 4 : Baisse du TP en réponse à un déséquilibre dans l'apport des trois acides aminés Val, Leu et Ile

	Contrôle	« -Val »
ValDI (%PDIE)	5,7%	4,5%
LeuDI (%PDIE) ¹	8,4%	8,4%
IleDI (%PDIE)	5,2%	5,2%
TP (g/kg)	30,7	29,1*

¹recommandation à 8,9% des PDIE (INRA, 2007) ; * $P = 0,05$

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La correction du profil en AADI, en particulier en LysDI et MetDI permet bien d'augmenter les matières protéiques et l'efficacité d'utilisation des PDIE à bas (≤ 100 g/UFL ; INRA 2007) comme à hauts niveaux d'apports PDIE. Elle peut constituer une stratégie pour améliorer sensiblement (de 0,04 points) l'efficacité d'utilisation des PDIE au niveau de l'animal. Cette étude confirme aussi l'importance de travailler dans le futur sur les recommandations en His et Leu. L'un des points les plus délicats est de comprendre si les recommandations doivent être raisonnées en % des PDIE, en valeurs absolues (g/kg MS, g/UFL), ou en relatif les unes par rapport aux autres (ratio Lys : Met ou Val : Leu) comme le suggère l'essai 6. L'absence d'interaction sur la réponse des MP entre le niveau d'apport PDIE et le profil en AAI confirme qu'il reste intéressant d'exprimer les AADI en % des PDIE.

Le projet européen REDNEX FP7-KBBE-2007-1 a financé les essais. Nous remercions "the Higher Education Commission" (Islamabad, Pakistan) et ADISSEO pour le financement de la bourse de thèse de M.N. Haque. Nous remercions également Ajinomoto Eurolysine France pour leur aide dans l'approvisionnement en AA.

Doepel L., Pacheco D., Kennelly J.J., Hanigan M.D., Lopez I.F., Lapierre H., 2004. J. Dairy Sci., 87, 1279-1297
Faverdin P., M'Hamed D., Rico-Gomez M., Vérité R., 2003. INRA Prod. Anim., 16, 27-37
Haque M.N., Rulquin H., Andrade A., Faverdin P., Peyraud J.L., Lemosquet S., 2012a. J. Dairy Sci., 95, 5876-5997
Haque M.N., Rulquin H., Lemosquet S., 2012b. Renc. Rech. Ruminants, 19, 207
Haque M.N., Rulquin H., Lemosquet S., 2013. J. Dairy Sci., 96, 420-430
INRA 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Edition Quae, France. 1-307
Rulquin H., Pisulewski P., Vérité R., Guinard-Flament J., 1993. Livest. Prod. Sci., 37, 69-90
Rulquin H., Pisulewski P., 2006. J. Dairy Res., 73, 328-339
Rulquin H., Raggio G., Lapierre H., Lemosquet S., 2007. EAAP publication N°124, 587-588
Sauvant D., Nozière P., 2013. INRA Prod. Anim., 26, 327-346
Schwab C. G., Satter L. D., Clay A. B., 1976. J. Dairy Sci., 59, 1254-1270
Vérité R., Delaby L., 1998. Renc. Rech. Ruminants, 5, 185-192