

Besoins protéiques et maîtrise des rejets azotés

du bovin producteur de viande

D. Micol, T. Hoch, J. Agabriel

Quels sont les besoins protéiques des bovins producteurs de viande (mère allaitante et son veau, animaux en croissance et bovins à l'engrais) et, parallèlement, quels sont les rejets azotés dans l'environnement ? La synthèse des connaissances apportées par la physiologie animale, l'alimentation et des approches plus globales fournit des éléments intéressants.

RESUME

Les connaissances physiologiques sur l'utilisation de l'azote par l'animal ont permis de modéliser l'accrétion protéique chez les bovins en croissance et à l'engrais, de l'ingestion des rations à la fixation dans les différents tissus de l'animal. Le système français des PDI permet de raisonner les besoins de l'animal selon ses caractéristiques, et d'évaluer ses rejets azotés compte tenu des rations utilisées ; les cas d'excès de nutrition en azote ou d'épargne (recyclage de l'azote par le bovin) peuvent être pris en compte. Enfin, des bilans plus globaux permettent d'estimer, pour le cycle de production, l'azote ingéré, fixé ou rejeté. En production de viande, l'azote provient essentiellement des ressources fourragères et la part d'azote importée dans l'exploitation ne devient significative que dans le cas des systèmes les plus intensifs.

MOTS CLES

Bilan d'azote, bovin allaitant, bovin d'élevage, bovin de boucherie, croissance animale, production de viande, ration alimentaire, restitutions, système de production

KEY-WORDS

Animal growth, beef cattle, diet, excreta returns, meat production, nitrogen balance, production system, suckling cattle, young cattle.

AUTEURS

Unité de Recherche sur les Herbivores, INRA Centre de Clermont Ferrand Theix, F-63122 Saint-Genès-Champanelle ; micol@sancy.clermont.inra.fr

Afin d'optimiser la nutrition protéique des bovins en croissance et à l'engrais, et de réduire les rejets azotés, des travaux ont été réalisés pour mieux connaître les facteurs limitants des dépôts protéiques. Ces travaux ont surtout visé à une meilleure connaissance de la composition du gain dans différentes conditions d'élevage, afin de mieux la simuler. Ils ont concerné dans une moindre mesure la recherche de niveaux limitants en acides aminés (notamment la méthionine et la lysine). Enfin, ils ont beaucoup cherché à quantifier les rejets dans différentes situations. Cet article rappelle, sur la base de connaissances déjà bien validées, certains grands principes de l'alimentation azotée des bovins producteurs de viande, avant d'en tirer quelques implications pour la gestion du système d'élevage et de la valorisation des protéines des fourrages.

1. La nutrition azotée des bovins producteurs de viande

*** Le couple vache - veau**

La nutrition azotée de la vache à viande a été définie dans ses grandes lignes en 1978 et reprise dans l'ouvrage INRA sur l'alimentation des ruminants en 1988 sans grandes modifications. Elle n'a pas fait l'objet de beaucoup de recherches depuis, compte tenu de l'enjeu modeste en termes de diminution des charges d'alimentation de l'élevage. On considère qu'il faut surtout garantir l'équilibre de la ration pour assurer une ingestion de fourrage suffisante en liaison avec un bon fonctionnement de la synthèse microbienne ruminale. Les besoins du couple vache-veau sont compensés par les apports alimentaires lorsque la ration totale apporte au minimum 9% de MAT en gestation et 11% en lactation. Cette estimation a été effectuée pour des vaches vêlant en système d'automne ou de printemps, ce qui induit des durées variables de stabulation ou de pâturage.

Les besoins azotés de la vache sont en effets faibles. Elle doit essentiellement faire face aux dépenses d'entretien de sa masse corporelle protéique qui varie très peu au cours de son cycle de production : 15 kg maximum dans des cas extrêmes de variations des apports alimentaires (Petit et Agabriel, 1993). L'entretien correspond au renouvellement des protéines constitutives des tissus et des organes de l'animal, aux sécrétions protéiques (enzymes, hormones...) d'azote endogène (muqueuse du tube digestif) et à des pertes inévitables (urine, desquamation, croissance des phanères...).

La vache doit également produire le veau naissant et le lait qui assurera ensuite sa croissance jusqu'au sevrage. Les besoins du fœtus puis du jeune veau correspondent aux quantités de protéines fixées, en comptant en moyenne 18% de protéines dans le gain (INRA, 1978). Pour le lait (de 5 à 8 kg/jour), on considère qu'il est un peu plus riche en protéines que le lait de vache laitière (taux protéique de 40 vs 35g/kg).

Du strict point de vue du devenir de l'azote ingéré, la vache et son veau constituent une seule entité puisque le lait est entièrement bu par le veau. La seule exportation d'azote du système vache-veau correspond à la masse corporelle du veau au sevrage. L'azote fixé s'estime alors en comptant 29 g d'azote par kg de gain de veau (180 / 6,25). Dans ces conditions, un veau de 300 kg au sevrage exporte 8,9 kg de N (Dulphy et Grenet, 2001).

*** Accrétion protéique chez le bovin en croissance : principes généraux et simulation**

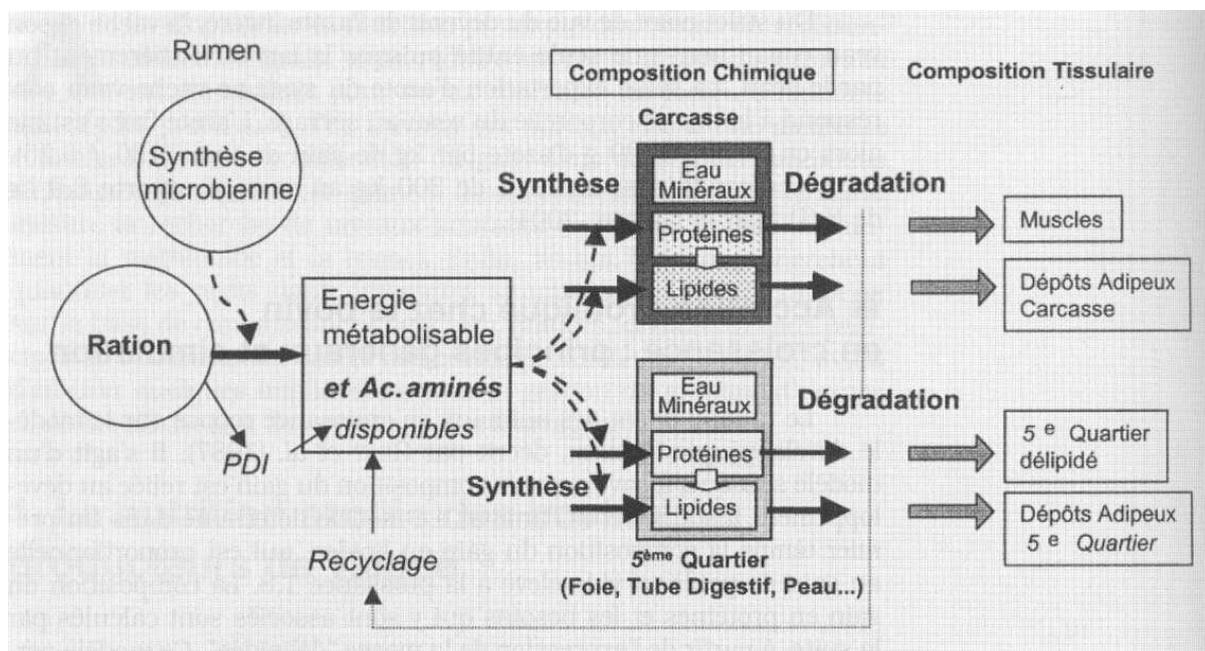
Le rationnement des animaux en croissance repose sur le modèle développé par Robelin, décrit par Geay *et al.* (1987). Il s'agit d'un modèle statique, à savoir que la composition du gain est reliée au développement instantané de l'animal. Le modèle détermine dans un premier temps la composition du gain en lipides, qui est proportionnelle au gain de poids vif vide élevé à la puissance 1,8. La composition du gain en protéines et les besoins qui y sont associés sont calculés par la suite, à partir de l'expression de la masse "délipidée". Ce modèle permet une estimation robuste des besoins instantanés de l'animal, mais son caractère statique empêche la simulation de l'accrétion protéique sur de longues séquences d'alimentation.

Plus récemment, un modèle dynamique a été développé, qui est capable de reproduire des évolutions discontinues de la croissance au cours du temps (Hoch et Agabriel, 2000). Ceci est particulièrement intéressant pour des animaux recevant des rations hivernales pauvres et qui compensent tout ou partie de leur retard durant la phase estivale au pâturage. Dans ce modèle, la croissance du jeune bovin est d'abord dépendante de la quantité de nutriments disponibles et notamment de l'énergie (glucose) qui arrive aux tissus squelettiques, musculaires, et aux dépôts adipeux. Les principaux facteurs qui interviennent dans la partition de l'énergie vers l'un ou l'autre de ces tissus (essentiellement muscle et dépôts adipeux) ont été intégrés dans ce modèle à compartiments. Les compositions chimiques de la carcasse et du 5^e quartier sont estimées chacune

par deux compartiments indépendants, les protéines et les lipides (figure 1). La composition tissulaire est déduite par allométrie. L'évolution de chaque compartiment protéique ou lipidique résulte de la différence entre un flux de synthèse et un flux de dégradation. Ces flux varient en premier lieu selon l'âge physiologique, défini comme le rapport entre l'état du compartiment protéique et sa valeur à maturité. Cette dépendance par rapport à l'âge physiologique de l'animal s'exprime par un taux de synthèse maximal (et un taux de dégradation) qui suit une loi de Gompertz. Ce taux de synthèse maximal est dépendant de l'énergie métabolisable disponible. L'influence de l'énergie métabolisable disponible est prise en compte de manière multiplicative par une fonction de Michaelis-Menten. Cette fonction de limitation par l'énergie exprime une loi de rendements décroissants. Pour un niveau d'énergie donné, la limitation par cette fonction est d'autant plus forte que l'animal se rapproche du stade adulte. Ce modèle est actuellement dans sa phase de validation pour différents types d'animaux variant suivant leur précocité.

Figure 1 : Schéma du modèle dynamique de la croissance des bovins.

Figure 1 : Diagram of the dynamic model of cattle growth.



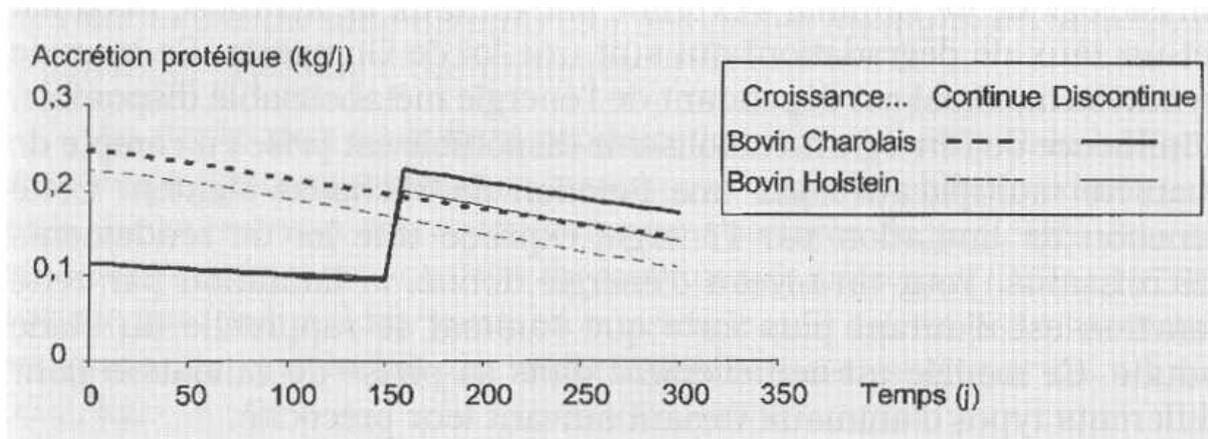
L'évolution du modèle (les modifications sont mentionnées en italique sur la figure 1) passe par la prise en compte de l'influence de la disponibilité protéique sur la capacité de synthèse protéique maximale. Le recyclage de l'azote, à partir notamment de la dégradation protéique, pourra également être envisagé.

La figure 2 montre l'évolution de l'accrétion protéique pour deux types de jeunes bovins, précoce (laitier par exemple Holstein) et tardif (viande de type Charolais), recevant une alimentation de densité énergétique élevée ou subissant une période de restriction énergétique avant d'être réalimentés avec un régime à haute densité énergétique.

L'accrétion journalière est liée à la densité énergétique de la ration, et baisse régulièrement avec l'âge. Pour les animaux préalablement restreints, elle s'accroît lors de la réalimentation et devient à même âge supérieure à celle des animaux conduits en croissance continue. Ces derniers sont plus proches de la maturité ; leur gain est de ce fait plus riche en lipides et contient moins de protéines que des animaux en compensation. Cette observation est valable quelle que soit la race. Toutefois, en dehors de la période de restriction, l'accrétion protéique est toujours plus forte pour les taurillons Charolais que pour les Holstein. La décroissance du dépôt protéique avec le temps est également plus importante chez ces derniers.

Figure 2 : Evolution de l'accrétion protéique simulée chez des jeunes bovins en croissance (Charolais et Holstein) dans le cas d'une croissance continue ou discontinue.

Figure 2 : Simulated process of protein storage in growing young cattle (Charolais and Holstein) in the case of continuous or discontinuous growth.



En plus de la limitation par l'énergie, une limitation éventuelle de l'accrétion protéique par l'alimentation en protéines pourrait être prise en compte, par le biais des flux d'acides aminés disponibles au niveau tissulaire. Toutefois, peu d'observations expérimentales viennent valider cette hypothèse. Compte tenu de la nature des protéines microbiennes synthétisées dans le rumen, les acides aminés classiquement limitants chez les monogastriques ou chez les vaches laitières le sont rarement pour des bovins en croissance, sauf pour certains animaux maximisant le dépôt protéique (méthionine et dans une moindre mesure lysine ; Klemesrud *et al.* (2000) pour des bouvillons recevant des anabolisants ; Froidmont *et al.* (2000) pour des taurillons Blanc Bleu Belge culards).

Le modèle pourrait également prendre en compte un lien entre la dégradation protéique et le recyclage azoté qui intervient au niveau du rumen *via* la salive. Un schéma simple très global est proposé par la figure 1. Il intègre le bon fonctionnement de la synthèse microbienne ruminale qui régule le flux d'énergie métabolisable. Cette synthèse est sous la double dépendance des apports protéiques de la ration (rapport énergie / protéines : PDI / UF dans les systèmes français) et du recyclage. Elle détermine les flux de protéines digestibles dans l'intestin.

* Expression des besoins dans le système PDI

Le système PDI [Protéines Digestibles dans l'Intestin] (figure 1) permet à la fois de raisonner la satisfaction des besoins protéiques de l'animal, l'utilisation de l'azote par l'animal (entretien, synthèse protéique dans le cas de la viande, exportation dans le cas de la production de lait) ainsi que les rejets de l'animal par l'intermédiaire des fèces et de l'urine (INRA, 1978 ; Vérité et Delaby, 1998).

Exprimés en PDI, les besoins protéiques chez les bovins sont établis à partir d'une méthode factorielle faisant la somme des besoins d'entretien et des besoins de production (synthèse nouvelle de tissus et exportations). Pour chaque espèce d'herbivore, le besoin d'entretien a été fixé selon la taille de l'individu ; chez les bovins, la valeur retenue s'élève à 3,25 g par kg de poids métabolique (poids vif élevé à la puissance 0,75) (Vérité *et al.*, 1987).

Les besoins de production sont déterminés à partir des quantités de protéines déposées (croissance des tissus, gestation) ou exportées (lait). Chez les mères allaitantes, les besoins protéiques en gestation deviennent notables à partir des 4 derniers mois de gestation selon le poids du veau à la naissance (50% du besoin d'entretien dans le dernier mois de gestation). En lactation, le besoin par kg de lait est fixé à 50 g de PDI (48 g chez les vaches laitières pour un lait standard). Les apports recommandés journaliers en PDI de la ration évoluent parallèlement à ceux en énergie et on considère comme satisfaisant un rapport PDI / UFL de 85 g en gestation et d'environ 95 g en lactation. On s'autorise un déficit cumulé maximum entre apports et besoins au cours de l'hiver de 10 kg de PDI pour une vache de 650 kg (Petit, INRA, 1988) sans risque sur sa production.

Chez les bovins en croissance et à l'engrais, le besoin de production (Geay *et al.*, 1987) correspondant à la synthèse protéique des tissus dépend du type d'animal (sexe, génotype tardif ou précoce), de son âge et de l'objectif de croissance (tableau 1). Cette fixation de protéines dans le corps ou les produits est modulée par un rendement d'utilisation des acides aminés (AA) absorbés. Ce rendement varie selon l'âge et le type de l'animal à viande : 64% pour un jeune bovin charolais de 400 kg contre 30% à 750 kg chez le même animal castré.

Tableau 1 : Exemples de besoins en protéines (PDI) et énergie (UF) pour différents types de bovins à viande pesant 650 kg (adapté selon INRA, 1978 et 1988).

Table 1 : Examples of protein (PDI) and energy (UF) requirements for various types of beef cattle weighing 650 kg (adapted from INRA, 1978 and 1988).

Besoins	Vache tarie non gestante	Vache avant vêlage	Vache en lactation (7 kg de lait)	Bovin à l'entretien	Bovin en croissance (0,8 kg/j)	Génisse en finition (1,0 kg/j)	Jeune bovin mâle (1,4 kg/j)
PDI (g/j)							
- Entretien	418	418	418	420	420	420	420
- Production	0	228	350	0	320	290	510
- Total	418	646	768	420	740	710	930
UF	4,7	7,6	8,2	5,7	7,7	9,6	9,4
PDI / UF	89	85	94	74	96	74	100

Les besoins PDI s'expriment ainsi :

$$\text{Besoin PDI total (g/j)} = (3,25 \text{ g} \times \text{Poids Vif}^{0,75} \text{ (kg)}) + \frac{\text{Protéines fixées ou exportées (g/j)}}{\text{Rendement métabolique des AA absorbés}}$$

Le besoin de production, nul pour les animaux à l'entretien, représente sensiblement la moitié du besoin total pour les productions les plus intensives en matière de production de viande bovine (jeune bovin intensif à fort développement musculaire). Ainsi, le besoin total varie, par animal, du simple au double entre l'entretien strict de l'animal et les systèmes les plus rapides (300-400 à 900-1 000 g PDI/j). On peut aussi illustrer, en guise d'exemple, l'importance des besoins azotés d'entretien par rapport aux besoins azotés totaux qui augmentent avec l'âge et le poids de l'animal. Deux bovins âgés de 650 kg, soit 1 300 kg de poids vif, ont un besoin d'entretien de 840 g de PDI, trois bovins plus jeunes de 433 kg (1 300 kg) ont un besoin global d'entretien de 926 g de PDI (+10%).

Les besoins en énergie selon les différents types d'animaux évoluent aussi rapidement ou plus que les besoins azotés. Le rapport PDI par UF rend compte de la relative faible exigence des besoins azotés au regard de l'énergie (80 à 100 g PDI/UF).

2. Rejets azotés et rations alimentaires

Chez les ruminants, les rejets azotés (exprimés en azote simple ; Nrejets en g/j) dépendent à la fois de la quantité d'azote ingérée (Ning en g/j) et de la quantité d'azote fixée dans les productions (lait, viande, fœtus...) (Delaby *et al.*, 1995). Les rejets azotés représentent la différence entre ces deux quantités. Les rejets d'azote se répartissent d'une part entre l'azote des fèces (Nfèces, en g/j) qui dépend surtout des quantités de matière sèche ingérées par l'animal (MSI en kg), estimé par une relation simple (Nfèces = 7,2 x MSI) et, d'autre part, l'azote urinaire, estimé par différence finale (Nurine = Ning - Nfixé - Nfèces). Les quantités de protéines ou d'azote fixées sont établies dans les modules relatifs à la détermination des besoins des animaux.

Le tableau 2 reprend les exemples de besoins en protéines de différents types de bovins producteurs de viande, y associe des rations alimentaires types et illustre les flux d'azote (fixé ou rejeté) correspondants. Pour les vaches allaitantes et leurs veaux, des fourrages de bonne qualité permettent de couvrir les niveaux de besoins en azote. C'est majoritairement le cas au pâturage. En hiver cependant, un foin tardif de prairie de plaine (pour des vaches charolaises, par exemple), dont le rapport PDI / UFL est inférieur à 90, ne couvre pas les besoins en

début de lactation. Un mélange avec un foin de légumineuse ou un ensilage d'herbe précoce est alors nécessaire pour éviter un recours à une complémentation achetée.

Tableau 2 : Exemples de rations et bilans azote correspondants pour différents types de bovins à viande pesant 650 kg (adapté selon INRA, 1978 et 1988).

Table 2 : Examples of diets and corresponding nitrogen balances for various types of beef cattle weighing 650 kg (adapted from INRA, 1978 and 1988).

	Vache tarie non gestante	Vache avant vêlage	Vache en lactation (7 kg de lait)	Bovin à l'entretien	Bovin en croissance (0,8 kg/j)	Génisse en finition (1,0 kg/j)	Jeune bovin mâle (1,4 kg/j)
Besoins							
- PDI Total (g/j)	418	646	768	420	740	710	930
- UF	4,7	7,6	8,2	5,7	7,7	9,6	9,4
- PDI / UF	89	85	94	74	96	74	100
Rations (kg MS/j)							
- Foin ou ensilage d'herbe	7,0 ⁽¹⁾	10,0 ⁽¹⁾	11,5 ⁽¹⁾	8,4 ⁽²⁾	7,8 ⁽³⁾	7,1 ⁽⁴⁾	
- Ensilage de maïs	-	-	-	-	-	-	6,6
- Maïs grain	-	0,5	0,45	-	1,65	3,0	1,5
- Tourteau de soja	-	-	0,45	-	0,3	-	0,8
- Urée (g/j)	-	-	-	-	-	-	40
Bilan Azote (g/j)							
- Ingéré	120	178	240	147	166	200	199
- Fixé	0	15	40	0	23	15	38
- Fécal	50	75	93	66	70	70	76
- Urinaire	70	88	107	81	72	114	85
- Rejet N Total	120	163	200	147	142	185	161
(1) : Foin de demi-montagne, floraison			(3) : Foin de plaine, qualité correcte.				
(2) : Foin médiocre de dactyle, épiaison.			(4) : Ensilage de prairie naturelle de plaine.				

Les bovins producteurs de viande retiennent une part limitée de l'azote qu'ils ingèrent ; nulle à l'entretien, elle atteint à peine 20% chez les productions intensives de jeunes bovins mâles. La part de l'azote fécal est assez stable compte tenu des niveaux d'ingestion de matière sèche assez comparables entre les différents types d'animaux. La proportion d'azote urinaire est plus variable selon la nature de la ration et sa teneur en azote non protéique (ensilage d'herbe par exemple). Cependant, l'azote total rejeté ne provenant pas des fourrages de la ration de base reste faible chez ces animaux où les niveaux de production, et donc de complémentation en aliments importés dans l'exploitation, sont limités.

Les quantités d'azote rejetées augmentent presque proportionnellement aux apports de PDI ou de PDI/UF de la ration. En effet, le rendement marginal de l'accrétion protéique est très faible au-delà des recommandations en protéines (PDI) (Vérité et Geay, 1987). Les pratiques courantes d'accroissement des apports azotés, parfois très au-delà des recommandations, contribuent directement à l'augmentation des rejets sous forme urinaire. Ainsi, sur des taurillons Blanc Bleu Belge culards qui maximisent la rétention azotée possible, passer d'un régime témoin proche de 90 PDI/UF à un apport de 160 PDI/UF augmente l'excrétion urinaire azotée de 50 g/jour à 73 g/jour (Froimond *et al.*, 2000).

A *contrario*, le recyclage de l'urée endogène présenté précédemment contribue pour une part variable mais parfois importante à la fourniture d'azote non protéique aux microbes du rumen. Ce phénomène permet de tolérer un déficit d'apport fermentescible (PDIN) par rapport à l'apport d'azote protéique (PDIE) sans effet trop marqué sur les performances, l'ingestion et la digestibilité des rations. Ce déficit tolérable exprimé en écart (PDIN-PDIE) par UF dépend à la fois du type de production, de l'état physiologique de l'animal et de la ration. Cette tolérance est d'autant plus faible que le niveau de production est élevé et que l'apport protéique par

rapport aux besoins de l'animal est plus faible. Ainsi, cet écart tolérable est faible pour les bovins en croissance et à l'engrais ; il est plus important pour les mères allaitantes et les animaux en croissance ou proches de l'entretien. Le tableau 3 résume ces déficits tolérables selon INRA 1988. Cette possibilité d'épargne souligne de nouveau le faible intérêt de pratiquer des niveaux d'apports azotés au-delà des besoins des animaux. Les réductions d'apports possibles sont les plus importantes chez les bovins proches de l'entretien (20 g/UF chez une mère allaitante à l'entretien qui ingère 5 UF soit 100 g de PDI et rejette relativement plus d'azote car ses besoins de production sont nuls ou très faibles).

Tableau 3 : Déficit tolérables en PDIN (recyclage) selon le poids et le type de bovin (en g/j de (PDIN-PDIE)/UF ; d'après INRA, 1988 ; INRAtion : Agabriel, 1989).

Table 3 : Tolerable PDIN deficits (re-cycling) according to weight and type of animal (in g/day (PDIN-PDIE)/Fodder Unit ; after INRA, 1988 ; INRAtion : Agabriel, 1989).

		Déficit		Déficit		Déficit	
Engraissement	- Jeune bovin	Début finition	-5	Milieu finition	-9	Fin finition	-13
	- Bœufs, génisses	Début finition	-5	Milieu finition	-10	Fin finition	-15
Autres types	- Bovin en croissance	Moins de 1 an	-8	1 à 2 ans	-13	2 ans et +	-18
	- Vaches allaitantes	En lactation	-17	En gestation	-23		

3. Nutrition azotée des animaux, cycle de production des bovins viande et bilan azoté global

Les rejets totaux en pourcentage de l'ingéré pourraient laisser penser que l'animal à viande serait " pollueur " et cela d'autant plus que son niveau de production est faible, puisqu'il retient de moins en moins d'azote. Mais l'azote excrété provient peu des intrants extérieurs à l'exploitation. Les bovins producteurs de viande se nourrissent le plus généralement des fourrages issus des ressources de l'exploitation ; le système Charolais herbager est par exemple quasiment autonome. Il convient donc de raisonner l'écart entre le prélèvement fait sur la surface qui correspond à l'azote ingéré, et la restitution faite sous forme de fumier épandu ou directement sous forme de bouses et d'urine.

Il faut ensuite replacer l'animal dans son cycle de production et dans son système d'alimentation, les vaches reproductrices et les génisses de remplacement dans un cycle annuel, les bovins producteurs de viande dans leur durée de vie après sevrage (de 8 à 19 mois pour le taurillon, de 24 à 30 mois pour les bœufs). L'objectif est alors de constituer un bilan en estimant ce que l'animal prélève et ce qu'il rejette sur cette période. Dans ce but, des hypothèses grossières ont été avancées par le Corpen, pour mettre en évidence des ordres de grandeurs.

La quantité d'azote épandable correspond à 70% des quantités d'azote rejetées par les animaux en hiver, en considérant que le reste se volatilise en ammoniac, et qu'en été tout l'azote est restitué au sol. L'azote rejeté est la somme de l'excrétion urinaire et des fèces journalières sommées sur une année. Les quantités d'azote potentiellement valorisable dans les productions correspondent aux quantités d'azote dans l'ingéré (c'est-à-dire exportées de la parcelle) en considérant des rations équilibrées selon les recommandations alimentaires et les teneurs en azote respectives des différents aliments. Pour la période de pâturage, les quantités d'herbe ingérées ont été estimées à partir des valeurs d'encombrement et corrigées à la marge selon les mesures de quantité d'herbe distribuée à l'auge disponibles. La valeur azotée moyenne de l'herbe pâturée considérée est de 150 g MAT soit 24 g de N/kg MS. Ces éléments ont été calculés dans les simulations destinées au Corpen pour différents types de bovins à viande variant par leur race, leur poids et le type de ration hivernale utilisée (foin, ensilage d'herbe ou ensilage de maïs). Pour les vaches, par exemple, vingt huit cas extrêmes ont été envisagés (Dulphy et Grenet, 2001). Trois variables ont été calculées mensuellement selon les méthodes décrites précédemment : quantités ingérées, quantités fixées et quantités rejetées. Les bilans d'azote mensuels ont été sommés sur le cycle de production.

Le tableau 4 résume ici les calculs effectués pour des vaches en production et pour des génisses d'élevage. Ces cas ont été calculés à partir du logiciel INRAtion pour simuler trois formats de vaches adultes. Les quantités d'azote considérées augmentent linéairement avec le poids de la vache (environ 10 kg par 70 kg de poids vif) et quelle que soit la ration hivernale de base. L'effet de la nature de cette ration est modeste et l'écart entre azote épandable et valorisable varie peu, environ 10-12 kg pour un foin et 13-16 kg pour un ensilage d'herbe pour des vaches de poids croissants. Avec les rations proposées, la proportion de l'azote valorisable qui provient des fourrages est de l'ordre de 95%.

Tableau 4 : Exemples de quantités annuelles d'azote ingérées par l'animal (valorisable) ou épandable (excrété à l'herbe et 0,7 x excrété en hiver) pour différents types d'animaux du troupeau viande recevant des régimes hivernaux différents et pour des animaux en phase de finition (d'après Dulphy et Grenet, 2001).

Table 4 : Examples of yearly nitrogen intakes by the animals (utilizable) or with potential use as fertilizer (excreted during grazing and 0.7 x excreted in winter) for various types of animals in the beef cattle herd fed different winter diets and for animals at the finishing stage (after Dulphy et Grenet, 2001).

Vaches et veaux (7 mois de pâturage)						
Format de la vache	600 kg		670 kg		740 kg	
Azote (kg)	Valorisable	Epandable	Valorisable	Epandable	Valorisable	Epandable
Régime foin	89	79	101	90	113	101
Ensilage d'herbe	96	83	109	94	121	105
Génisses d'élevage (8 à 36 mois recevant un régime hivernal à base de foin et 7 mois de pâturage)						
Format de la vache	Léger		Moyen		Lourd	
Azote (kg)	Valorisable	Epandable	Valorisable	Epandable	Valorisable	Epandable
8 - 12 mois	6,4	5,9	7,3	7,4	8,0	8,2
13 - 24 mois	39,6	37,3	46,2	42,9	58,6	47,6
25 - 36 mois	54,5	51,6	60,9	57,4	66,5	62,6
Taurillons en phase de finition (ration à base d'ensilage de maïs ; 10 mois de présence à l'auge)						
Format	Léger (475 kg)		Moyen (505 kg)		Lourd (535 kg)	
Azote (kg)	Valorisable	Epandable	Valorisable	Epandable	Valorisable	Epandable
8 - 18 mois	29,9	27,5	29,6	29,8	29,3	32,1
Génisses à l'engrais en phase de finition						
Type	32 mois finies à l'herbe 6 mois d'engraissement			36 mois finies à l'ensilage de maïs 12 mois d'engraissement		
Azote (kg)	Valorisable		Epandable	Valorisable		Epandable
Quantité de N	42,4		54,1	66,9		64,5

Pour les génisses d'élevage, les mêmes effets du format et de l'âge se retrouvent sur les quantités d'azote valorisables et excrétées. Dans la pratique, elles pourraient se calculer par interpolation simple.

Les calculs pour les animaux à l'engrais (taurillons, génisses) ont été réalisés (tableau 4) sur la seule phase de finition en considérant que les phases d'élevage sont traitées ci-dessus. Avec des rations riches en ensilage de maïs on observe encore peu de différences sur l'azote excrété entre types d'animaux (entre 28 et 30 kg). Les écarts entre quantités d'azote valorisable ou épandable sont encore faibles car l'azote du fourrage est très bien utilisé et, par hypothèse, les rations sont équilibrées. Par contre, pour des animaux finis sur des durées plus longues au pâturage, les niveaux élevés d'azote dans l'herbe " déséquilibrent " les rations (12 kg d'écart pour les génisses de 32 mois finies à l'herbe).

4. Conclusion

En conclusion, les bovins du troupeau allaitant sont nourris pour l'essentiel à partir de surfaces fourragères. Si la quantité d'éléments minéraux rejetés est un facteur de risque important, la nature du couvert végétal qui les reçoit, le lieu d'émission des rejets, ou le climat viennent corriger ou aggraver le risque induit par les quantités rejetées. L'azote provient essentiellement de l'herbe de la prairie pâturée ou récoltée en foin ou ensilage. Les rejets constituent en quelque sorte, et pour une part qui augmente avec la proportion de fourrages, un retour des éléments minéraux vers leur surface d'origine (Dulphy et Grenet, 2001).

Le bovin producteur de viande, lorsque les calculs sont effectués " à la tête ", rejette moins que le bovin intensif laitier (de 80 à plus de 100 kg N/an chez la vache laitière selon son mode de conduite alimentaire et son niveau de production laitière). Mais une prairie classiquement destinée aux animaux à viande au chargement moyen de 1 UGB/ha est capable de produire 5 t/MS/an, ce qui correspond aux besoins annuel du couple mère-veau. Suivant les situations, elle nécessite peu voire pas d'apports azotés externes supplémentaires à ceux restitués par les animaux qu'elle affourage. Le niveau d'intensification par hectare de la production est un facteur déterminant des quantités globales d'azote rejetées. Les niveaux de chargement des exploitations de bovins à viande sont généralement faibles compte tenu des ressources pédoclimatiques de leur zone et des systèmes de production encouragés actuellement (PAC), à l'exception de quelques zones d'engraissement intensif de jeunes bovins.

Travail présenté aux Journées d'information de l'A.F.P.F.

"Fourrages, protéines et environnement : de nouveaux équilibres à construire",
les 27 et 28 mars 2003.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Agabriel J. (1989) : *INRAtion : Logiciel de rationnement des Ruminants*, chapitre 4 : Vaches allaitantes, Agabriel J., Champciaux P., Espinasse C. éditeurs, CNERTA, 26 Bd du docteur Petitjean, F-21000 Dijon.

Delaby L., Peyraud J.L., Verité R. (1995) : "Influence du niveau de production laitière et du système d'alimentation sur les rejets azotés du troupeau", *Renc. Rech. Ruminants*, 2, 349-354.

Dulphy J.P., Grenet N. (2001) : *Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux bovins allaitants, en croissance et à l'engrais et à leur système fourrager*, Document du groupe alimentation animale du comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates (CORPEN), 31 pp.

Froidmont E., Beckers Y., Thewis A. (2000) : "Determination of the methionine requirement of growing double-musclé Belgian Blue bulls with a three-step method", *J. Anim. Sci.*, 78, 233-241.

Geay Y., Micol D., Robelin J., Berge P., Malterre C. (1987) : "Recommandations alimentaires pour les bovins en croissance et à l'engrais", *Bull. Techn. CRZV Theix*, 70, 173-183.

Hoch T., Agabriel J. (2000) : "A mechanistic dynamic model of beef cattle growth", J.P. McNamara, J. France and D. Beever (Editors), *Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals*, CAB International, Wallingford (GB), 227-240.

INRA (1978) : *Alimentation des ruminants*, INRA Publications, Route de St Cyr, F-78000 Versailles, 622 p.

INRA (1988) : *Alimentation des bovins, ovins et caprins*, INRA Publications, Paris, 471 p.

Klemesrud M.J., Klopfenstein, T.J., Lewis A.J. (2000) : "Metabolizable methionine and lysine requirements of growing cattle", *J. Anim. Sci.*, 78, 199-206.

Petit M., Agabriel J. (1993) : "Etat corporel des vaches Charolaises : signification, utilisation pratique et relations avec la reproduction", *INRA Prod. Anim.*, 6, 5, 311-318.

Vérité R., Geay. Y. (1987) : "Testing and implementing the PDI system in France", Jarrige R., Aldermann G. édés, *Feed evaluation and protein requirement systems for ruminants*, Ed CEC Luxembourg, 490-261.

Vérité R., Delaby L. (1998) : "Conduite alimentaire et rejets azotés chez la vache laitière. Interrelations avec les performances", *Renc. Rech. Ruminants*, 185-192.

Vérité R., Michalet-Doreau B., Chapoutot P., Peyraud J.L., Poncet C. (1987) : "Révision du système des Protéines Digestibles dans l'Intestin (PDI)", *Bull. Techn. CRZV Theix*, 70, 19-34.

SUMMARY

Protein requirements and control of nitrogen excretion by beef cattle

What are the protein requirements of beef cattle (suckling cows with their calves, animals for rearing and animals for fattening), and, at the same time, what amount of nitrogen are they excreting into the outside environment ? The synthesis of data supplied by animal physiology, feeding, and more global approaches gives interesting answers to these questions.

Thanks to the knowledge of the physiology of nitrogen utilization by the animals, it has been possible to build a model for the process of protein storage by cattle for rearing and cattle for fattening, from feed intake to fixation in the various animal tissues. The French PDI system (i.e. calculation of Protein Digestible in the small Intestine) makes it possible to determine rationally each animal's requirements according to its characteristics and to assess the nitrogen excreted according to the diets fed ; the cases of excess nitrogen in the nutrition or of nitrogen saving (nitrogen re-cycled by the animal) can be accounted for. Lastly, more global balances can be used for the estimation, at the level of the production cycle, of the amount of nitrogen ingested, fixed, or excreted. With beef production, nitrogen derives mainly from the forages, and that portion that is imported to the farm becomes significant only in the most intensive systems.