

Alimentation des vaches laitières : Comparaison des systèmes d'alimentation énergétique

La plupart des systèmes actuellement utilisés pour le rationnement énergétique sont basés sur l'expression en énergie nette de la valeur des aliments et des besoins des animaux. L'objectif de cet article est de mettre en évidence les différences qui existent entre les principaux systèmes utilisés dans le monde pour le calcul des besoins des vaches laitières selon leur niveau de production, pour la prédiction de la valeur énergétique des aliments et pour les ajustements nécessaires pour tenir compte des effets de l'accroissement du niveau d'alimentation et des interactions entre les aliments.

L'objectif de tout système d'alimentation énergétique est de satisfaire au mieux les besoins des animaux, quelle que soit leur production, à partir des aliments disponibles (dont la nature, la composition chimique et la valeur nutritive peuvent varier avec les conditions de milieu, en particulier les conditions climatiques ou économiques), en tenant compte de l'ingestibilité des aliments et de la capacité d'ingestion des animaux

A la suite des nombreuses études réalisées sur la composition chimique et l'utilisation digestive des aliments et des rations et sur le

métabolisme énergétique des vaches laitières, de nouveaux systèmes ont été élaborés entre 1974 et 1977. Ils ont été introduits dans leur pays d'origine et ont diffusé dans les pays voisins, en particulier en Europe (tableau 1). Exceptés quelques systèmes basés sur la teneur en énergie métabolisable (EM) des aliments, ils reposent pour la plupart sur la teneur en énergie nette lait (ENL) des aliments, calculée à partir de leur teneur en énergie métabolisable (EM) et du rendement (kl) d'utilisation de l'EM pour la lactation ($ENL = EM \times kl$) (figure 1).

Les différences entre les systèmes de cette famille peuvent provenir essentiellement de 4 éléments :

- les besoins des animaux (entretien, lactation, variation de poids...);
- la valeur énergétique des aliments, et plus précisément la méthode et les coefficients utilisés pour calculer leur teneur en EM ;
- les interactions digestives et métaboliques entre les aliments au sein d'une ration et l'effet de l'accroissement du niveau d'alimentation ;
- la constitution des rations qui dépend des valeurs utilisées dans chaque système pour la capacité d'ingestion des vaches laitières selon le stade de lactation et le niveau de production laitière, et l'ingestibilité des aliments. Cet aspect ne sera pas développé dans cet article.

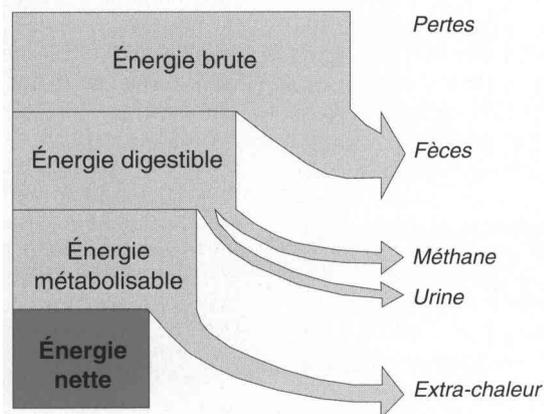
Résumé

Les besoins énergétiques (entretien, lactation, variation de poids) des vaches laitières produisant de 20 à 45 kg de lait par jour, ainsi que la valeur énergétique des aliments (teneur en énergie métabolisable, EM, rendement d'utilisation de l'EM, kl, et teneur en énergie nette) sont comparés dans les systèmes français (UFL), allemand (ENL), américain (NRC), britannique (ARC) et néerlandais (VEM). Les corrections utilisées dans chaque système pour tenir compte des interactions entre les aliments et de l'accroissement du niveau d'alimentation sont également discutées. La validité des systèmes français et néerlandais a été testée par des bilans en chambres respiratoires et des essais d'alimentation, celle du système britannique par des essais d'alimentation. Les quantités d'aliments nécessaires pour satisfaire les besoins énergétiques des vaches laitières sont très voisines dans les systèmes français et néerlandais ; les différences sont plus importantes avec le système britannique (ARC) ; elles augmentent avec la production laitière dans les systèmes allemand (ENL) et américain (NRC).

Tableau 1. Principales familles de systèmes d'alimentation énergétique utilisés pour les vaches laitières (Van der Honing et Alderman 1988)

	Pays utilisateurs
Systèmes anciens	
Unité Fourragère Scandinave (SFU)	Danemark
Unité Fourragère d'engraissement (FFU)	Norvège, Finlande, Espagne
Unité Fourragère Avoine	Ex URSS
Systèmes basés sur l'énergie métabolisable (EM)	
ARC 1980	Grande-Bretagne
MAFF 1975	Suède, Irlande
EM calculée à partir du système de Rostock	Ex URSS
Systèmes basés sur l'énergie nette lait (ENL = EM x kl)	
Système VEM établi aux Pays-Bas et système dérivés	Pays-Bas, Belgique Allemagne, Autriche Grèce, Suisse, Yougoslavie
Système UFL établi en France	France, Italie (prévu en Espagne)
Système du NRC établi aux USA	USA, Hongrie, Israël

Figure 1. Les différentes étapes de l'utilisation de l'énergie des aliments par les ruminants.



L'énergie nette couvre les dépenses énergétiques de l'animal.
Elle constitue la valeur énergétique réelle d'un aliment

Pour des raisons pratiques de présentation, la comparaison sera limitée à 5 systèmes : le système UFL (1978, révisé en 1987) (France), le système VEM (Van Es 1978) (Pays-Bas, Belgique), le système dérivé du système VEM, utilisé en Allemagne et en Autriche (1982), le système de l'ARC (1980) utilisé en Grande-Bretagne et le système du National Research Council (NRC 1988) utilisé aux USA. Ces systèmes ont été décrits de façon synthétique par Van der Honing et Alderman (1988).

1 / Besoins énergétiques des vaches laitières

Le besoin d'entretien des vaches en stabulation entravée est généralement pris égal à 70 kcal ENL par kg $P^{0.75}$, ce qui correspond à 5,0 UFL pour une vache de 600 kg. Le système du NRC prend une marge de sécurité de 14 % (80 kcal ENL/kg $P^{0.75}$) par rapport aux valeurs obtenues en chambres respiratoires. En revanche, la valeur adoptée par l'ARC est inférieure de 6% à celle des autres pays (110 contre 117 kcal EM/kg $P^{0.75}$ pour une ration moyenne, soit environ 67 kcal ENL/kg $P^{0.75}$).

Dans le cas des vaches en stabulation libre, le besoin d'entretien doit être augmenté de 10% pour tenir compte de l'activité physique supplémentaire. L'AFRC Technical Committee (1990) en Grande-Bretagne propose une augmentation du besoin de 7 % conduisant à un besoin de 118 kcal EM/kg $P^{0.75}$ contre 128 dans la plupart des autres systèmes. Cependant, dans l'application pratique du rationnement en France, cette augmentation n'est pas actuellement prise en compte. En effet, il est probable que cet accroissement des besoins soit en partie compensé par une augmentation de la capacité d'ingestion. Or la majorité des mesures d'ingestion qui ont servi au calcul de la capacité d'ingestion des vaches laitières ont été réalisées en stabulation entravée.

Besoin par kg de lait à 4 % de matières grasses (lait de référence).

Le besoin retenu est généralement de 740 kcal ENL/kg ; il correspond à la teneur moyenne en énergie du lait à 4 % de matières grasses et 3,15 % de protéines. Le besoin peut être corrigé respectivement de 6 et 10 kcal/kg pour une variation de 1 point du taux protéique et du taux butyreux. Dans le système de l'ARC, le besoin par kg de lait est un peu plus élevé (749 contre 740 kcal/kg), ce qui compense le besoin d'entretien plus faible pour une production laitière de 35 kg. Enfin, il faut signaler que dans le système allemand le besoin annoncé (757 kcal ENL/kg) comprend une correction (17 kcal ENL/kg) pour tenir compte de l'élévation du niveau d'alimentation sur l'apport réel d'énergie par la ration.

Besoin par kg de variation (gain ou perte) de poids.

La quantité d'énergie correspondant à une variation de poids de 1 kg est difficile à déterminer en raison de l'imprécision des méthodes de prévision de la masse du contenu digestif et de la masse et de la composition des tissus chez un animal vivant. Selon les mesures, elle varierait de 4 à 9 Mcal/kg (Chilliard *et al* 1987) et de 5,4 à 7,8 Mcal/kg selon le stade physiologique et l'état corporel de l'animal (Wright et Russell 1984). Ceci explique les valeurs de 5 à 7,5 Mcal/kg utilisées dans les différents systèmes. Dans tous les systèmes, le rendement d'utilisation de l'EM pour le gain de poids est voisin de 60 %, et le rendement d'utilisation de l'énergie des réserves corporelles est voisin de 82 %.

Tableau 2. Bases de calcul des besoins des vaches laitières dans différents systèmes (au-dessus de 15 kg de lait par jour).

	France	Pays -Bas	Allemagne	Grande-Bretagne	USA
Entretien ⁽¹⁾	70	72	70	(67,5)	80
Lait ⁽²⁾	740	748	740	749	740
Gain de poids ⁽³⁾	7500	5000	(5000)	6540	5120
Interactions ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾	} 70 à 150	77 0	17 0	83 0	0 0

(1) kcal d'énergie nette lait (ENL) d'énergie/kg P^{0,75}

(2) kcal ENL / kg lait à 4% MG

(3) kcal ENL / kg gain de poids

(4) correction pour l'augmentation du niveau d'alimentation, recalculée et exprimée en kcal ENL par kg de lait à 4%MG

(5) corrections pour les interactions entre les fourrages et les aliments concentrés, appliquées seulement dans le système français, variables en fonction du pourcentage de concentré dans la ration

Pour le gain de poids, souvent faible en période de reconstitution des réserves, l'incidence de ces différences sur les besoins totaux est limitée. En revanche, en début de lactation (pertes de poids pouvant atteindre 2 à 3 kg par jour chez les vaches laitières fortes productrices), les réserves corporelles contribuent fortement à la couverture des dépenses de lactation ; selon les systèmes, une perte de poids de 1 kg peut correspondre à un besoin de production de lait assez variable : 5,5 ou 8 kg de lait, dans les systèmes néerlandais et français respectivement.

2 / Valeur énergétique des aliments

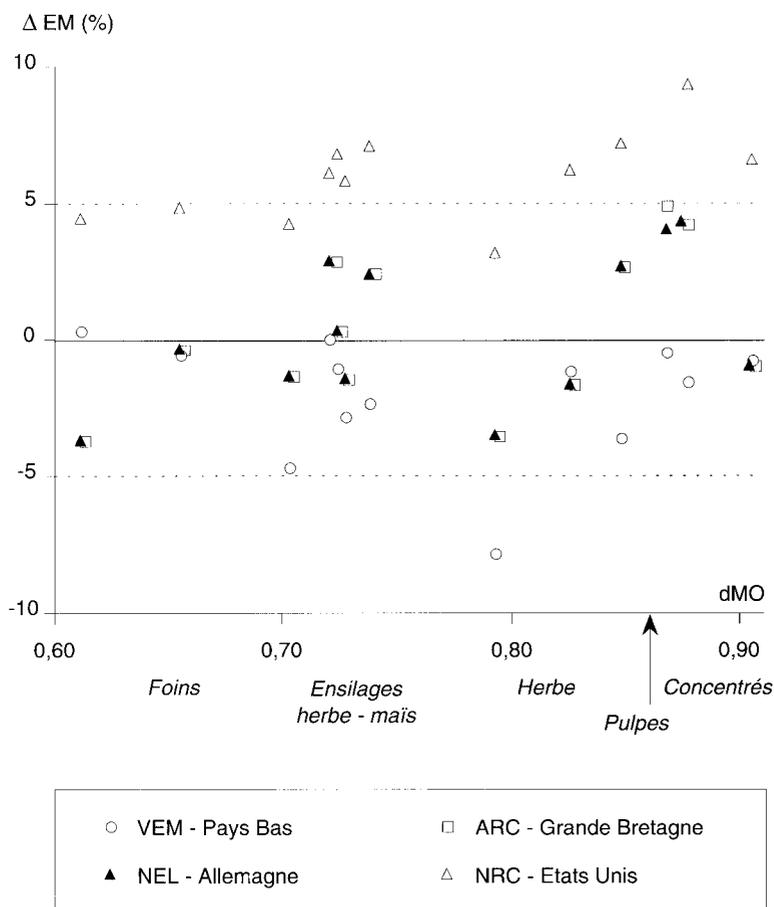
2.1 / Teneur en énergie métabolisable (EM)

La teneur en EM des aliments est généralement calculée à partir de leurs teneurs en éléments digestibles. Cependant, des coefficients différents sont utilisés selon les systèmes, ce qui conduit à des écarts non négligeables pour un aliment donné (même composition chimique, même digestibilité). Le système français des UFL utilise une démarche plus analytique reposant sur la teneur en énergie brute de l'aliment, la digestibilité de la matière organique et le rapport entre l'énergie métabolisable et l'énergie digestible.

Les principaux systèmes actuellement utilisés ont été comparés par Van der Honing et Alderman (1988) pour 32 aliments représentant les principaux types de fourrages et d'aliments concentrés. Nous avons repris cette comparaison pour 14 aliments représentatifs de cet ensemble, en utilisant pour le système UFL les relations proposées lors de la révision du système des unités fourragères en France (Vermorel *et al* 1987).

Les résultats (figure 2) montrent que pour des aliments de même composition chimique et de même digestibilité, le système VEM (Pays-Bas) conduit à des teneurs en EM inférieures

Figure 2. Différences des teneurs en EM (Δ EM %) de quelques aliments selon les systèmes par rapport au système français (aliments de même composition chimique et de même digestibilité dans tous les systèmes, Van der Honing et Alderman 1988).



de $2,7 \pm 2,7$ % en moyenne à celles données par le système UFL ; les écarts sont importants surtout pour les ensilages (- 5 à - 7 %). Les différences sont plus faibles avec les systèmes utilisés en Grande-Bretagne et en Allemagne (- $0,8 \pm 2,8$ %) mais les valeurs des céréales et des pulpes de betteraves sont plus élevées (+ 3 et + 4 %). Les teneurs en EM des aliments données par le système américain du NRC sont en moyenne supérieures de $5,7 \pm 2,8$ % à celles données par le système UFL et l'écart est de plus de 8 % avec le système VEM.

Figure 3. Variations du rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la lactation ($kl = ENL / EM$) dans différents systèmes (aliments de même composition chimique et de même digestibilité dans tous les systèmes)

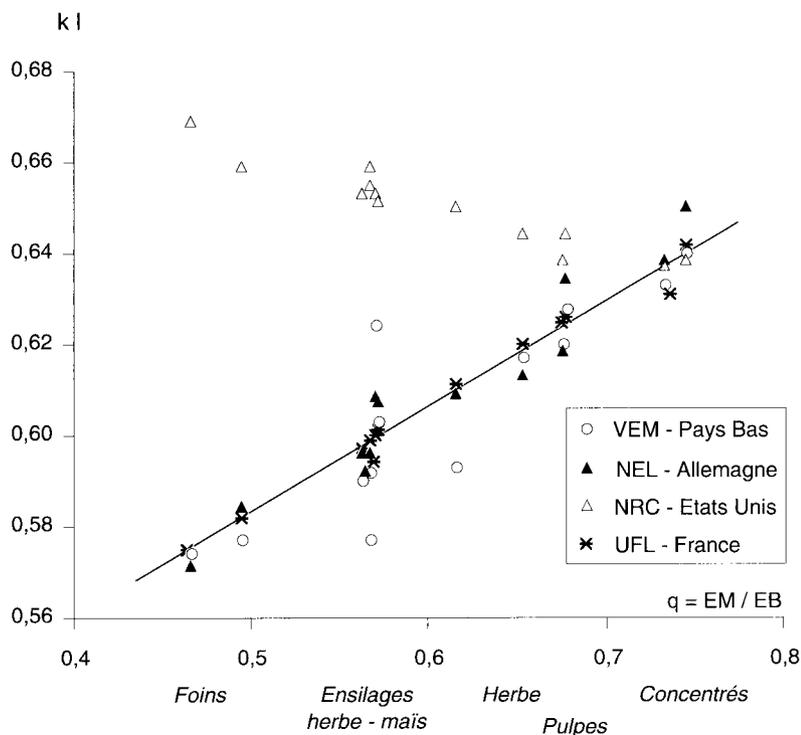
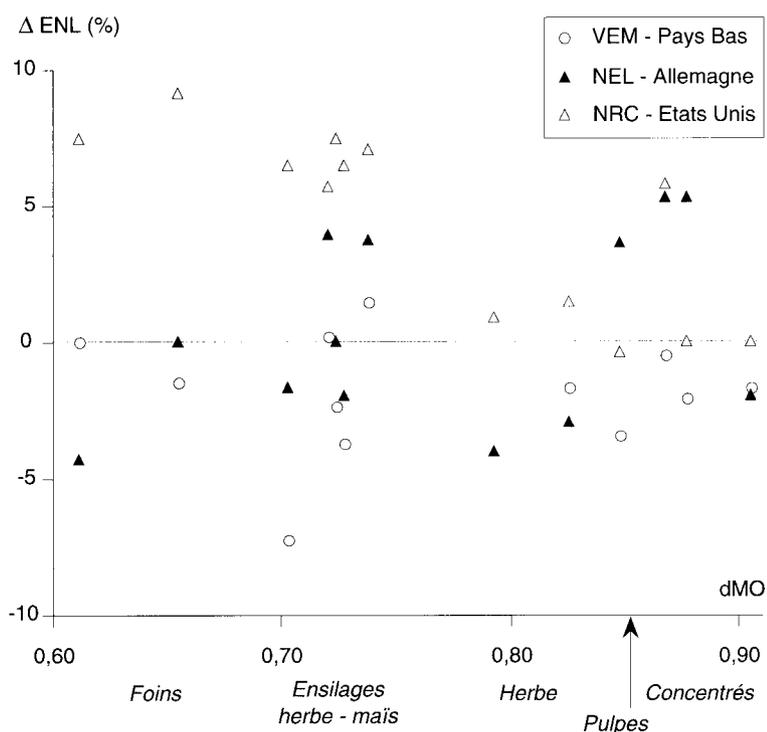


Figure 4. Différences (%) de teneur en énergie nette lait (ENL) de quelques aliments dans plusieurs systèmes par rapport au système français (aliments de même composition chimique et de même digestibilité dans tous les systèmes, Van der Honing et Alderman 1988).



2.2 / Teneur en énergie nette lait des aliments (ENL)

Dans le système de l'ARC (Grande Bretagne), la valeur énergétique des aliments est exprimée en EM et non en énergie nette. Dans les autres systèmes récents, elle est exprimée en énergie nette lait (ENL). Cette dernière est le produit de la teneur en EM des aliments mesurée au voisinage de l'entretien et du rendement kl d'utilisation de l'EM, sauf dans le système du NRC (USA). La relation de prédiction de kl utilisée est celle proposée par Van Es (1974) : $kl = 0,60 + 0,24 (q - 0,57)$ avec $q = EM/\text{énergie brute}$.

Le rendement kl augmente avec la digestibilité ou la teneur en EM des aliments ou des rations (figure 3) car l'équilibre des nutriments (produits glucoformateurs/acétate et butyrate) permet un fonctionnement cellulaire plus efficace au plan énergétique.

Comparées à celles données dans le système français, les teneurs en ENL des aliments dans le système néerlandais (VEM) sont inférieures de 1,4 % en moyenne (de + 1,5 à - 3,7 %), sauf pour les ensilages d'herbe où les différences se situent entre 7 et 10 % (figure 4). Dans le cas du système utilisé en Allemagne, les teneurs en ENL des fourrages sont inférieures de 2,1 % en moyenne (de 0 à - 4,3 %), tandis que les teneurs en ENL des céréales sont supérieures de 4 % en moyenne.

Le rendement kl est également utilisé dans le système de l'ARC mais uniquement pour estimer les besoins en EM des animaux à partir des besoins exprimés en énergie nette. La relation utilisée dans le système de l'ARC ($kl = 0,42 + 0,35 q$) est différente de celle proposée par Van Es (1974) et conduit à une variation plus importante de kl avec la digestibilité des aliments. L'application de cette relation au calcul de la teneur en ENL des aliments entraîne un accroissement de 4 % de la valeur des céréales alors que celle des fourrages reste pratiquement inchangée (figure 4).

Dans le système américain du NRC la teneur en ENL des aliments (Mcal/kg MS) est calculée directement à partir de la teneur en éléments digestibles totaux (TDN % de la MS) mesurée à l'entretien : $ENL = 0,0266 \text{ TDN} - 0,12$. Cette méthode de calcul conduit à une surestimation importante (de 5 à 10 %) de la teneur en ENL des fourrages et ce d'autant plus qu'ils sont pauvres (figure 4). Le système NRC met d'ailleurs en garde les utilisateurs contre ce problème. Si on calcule le rendement kl à partir des teneurs en ENL et en EM des aliments dans le système du NRC on obtient une évolution très différente de celles généralement établies : kl diminue lorsque la digestibilité des aliments augmente, passant de 0,67 pour les foins à 0,64 pour les céréales (figure 3).

Selon les systèmes il existe donc des diffé-

rences dans la hiérarchie des aliments : par rapport au système français, le système allemand a tendance à surestimer les aliments concentrés tandis que le système du NRC surstime les fourrages.

3 / Interactions entre aliments et effet du niveau d'alimentation

L'apport énergétique réel d'une ration est souvent inférieur à la somme des apports de chacun des aliments qui la composent. En effet, l'activité cellulolytique de la flore du rumen est généralement réduite par l'apport d'aliments concentrés, surtout s'ils sont riches en amidon. La digestibilité des parois des fourrages est donc diminuée. Le phénomène est d'autant plus important que les fourrages sont plus âgés et plus lignifiés. Il est également amplifié par l'augmentation du niveau d'alimentation qui accélère le transit des aliments dans les réservoirs digestifs, donc diminue l'attaque microbienne des parois végétales (Vermorel *et al* 1987). Or, le niveau d'alimentation est égal à 4 et 5 chez des vaches produisant 35 ou 45 kg de lait par jour.

La diminution de la digestibilité des aliments n'est que partiellement compensée par la réduction des pertes d'énergie sous forme de méthane et dans l'urine. L'apport d'EM de la ration est donc inférieur à la somme des apports théoriques des aliments qui la composent. La diminution est variable, mais de l'ordre de 6 % pour des rations à base de foin ou d'ensilage de maïs distribuées à des vaches produisant 30 kg de lait (Vermorel *et al* 1987).

Il faut donc tenir compte de ces phénomènes dans le calcul des rations pour satisfaire les besoins des vaches laitières, surtout dans le cas des vaches fortes productrices qui reçoivent des rations riches en concentrés.

Dans le système américain du NRC la teneur en ENL des aliments est donnée pour un niveau d'alimentation de 3 qui correspond à une production laitière de 23 kg par jour. Elle peut être calculée directement à partir de la teneur en TDN à l'aide de la relation suivante : $ENL = 0,0245 \text{ TDN} - 0,12$, ce qui correspond à une correction de 8 % environ pour tenir compte des effets de l'accroissement du niveau d'alimentation. Il n'est pas introduit d'autre correction, quels que soient le niveau d'alimentation, la production laitière ou la composition de la ration.

Pour des raisons pratiques, dans la plupart des autres systèmes qui les utilisent, ces corrections sont ajoutées aux besoins stricts des animaux. Le système VEM (utilisé aux Pays-Bas et en Belgique) et le système de l'ARC (GB) introduisent seulement une correction pour l'augmentation du niveau d'alimentation : lorsque ce dernier augmente d'une unité (équivalant à 11,5 kg de lait), le besoin total de la vache est augmenté de 1,8 %.

Seul le système français des UFL introduit une correction qui tient compte des interactions entre les aliments et de l'effet de l'augmentation du niveau d'alimentation (Vermorel *et al* 1987). A titre de comparaison, ces corrections ont toutes été exprimées en kcal d'ENL par kg de lait (tableau 2). Elles varient de 17 kcal pour le système utilisé en Allemagne à 80 kcal pour les systèmes de l'ARC (GB) et VEM (Pays-Bas) et sont comprises entre 70 et 150 kcal pour le système UFL (France) selon la composition de la ration et la production laitière dans les 2 exemples de rations présentés ci-après.

4 / Besoins totaux en EM et en ENL selon le niveau de production laitière

Les besoins des vaches laitières multipares (700 kg de poids vif) dans les 5 systèmes précédents ont été calculés pour des productions comprises entre 20 et 45 kg de lait par jour. Par souci de simplification, on n'a tenu compte que des besoins d'entretien et de production de lait et on a ajouté les corrections pour les interactions entre les aliments et l'accroissement du niveau d'alimentation. Dans le système français, les besoins totaux ont été calculés pour 2 rations : l'une à base d'ensilage de maïs (0,89 UFL, 52 g PDIE, 66 g PDIN et 1,08 UEL par kg de MS), l'autre à base de foin d'excellente qualité (0,84 UFL, 88 g PDIE, 89 g PDIN et 1,00 UEL par kg de MS). Ces 2 fourrages de base étaient complétés par des aliments concentrés composés d'orge et de tourteau de soja en proportions variables pour satisfaire les besoins des vaches selon leur niveau de production laitière. Les corrections pour les phénomènes d'interaction entre les aliments sont voisines pour les 2 régimes. Dans les autres systèmes on ne tient pas compte du pourcentage de concentré dans le régime.

La figure 5 montre qu'il existe un bon accord entre les systèmes UFL (France) et VEM (Pays-Bas) ; les différences de besoins en ENL sont négligeables jusqu'à 30 kg de lait par jour et sont comprises entre 0,4 et 0,6 UFL pour des productions de 35 à 45 kg de lait par jour. Les différences sont faibles également (de 0,2 à 0,5 UFL) avec le système de l'ARC (G.B.). Dans le système utilisé en Allemagne, la différence avec le système français passe de 0 pour 25 kg de lait par jour à - 1,7 UFL pour une production de 45 kg de lait par jour. Dans le système américain du NRC, les besoins en ENL sont supérieurs de 0,8 UFL pour une production de 20 kg de lait par jour (en raison du besoin d'entretien plus élevé), comparables pour une production de 30 kg de lait par jour et inférieurs de 1,2 UFL pour une production laitière de 45 kg par jour.

Figure 5. Différences de besoins totaux en énergie nette lait (UFL /j) entre différents systèmes et le système français, selon la production laitière des vaches (les corrections pour les interactions et le niveau d'alimentation sont incluses dans ces besoins).

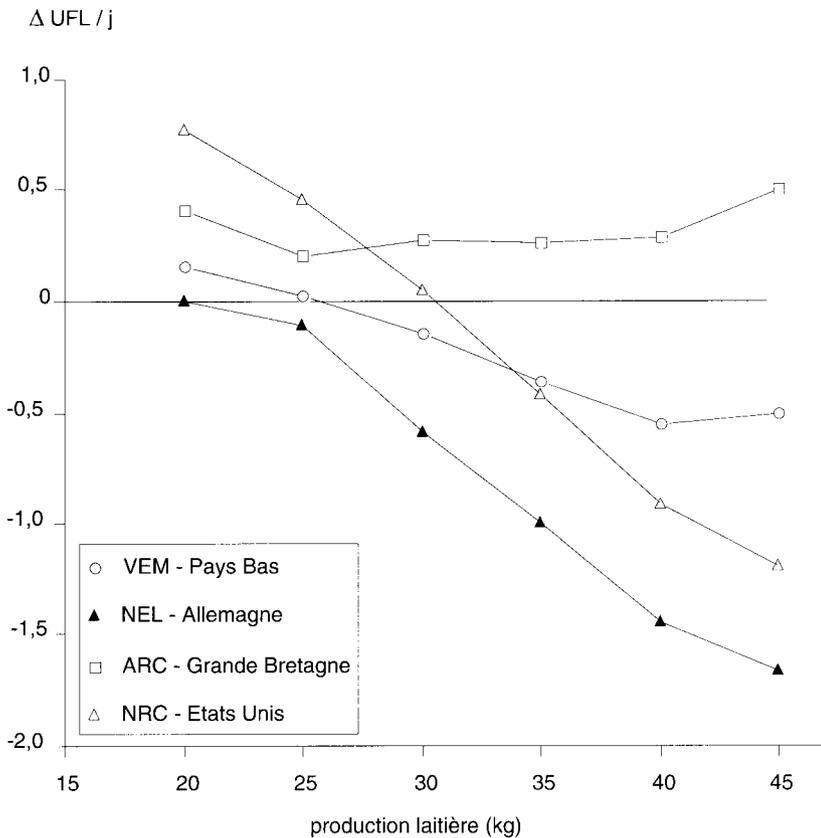


Tableau 3. Composition centésimale des régimes calculés dans le système français, selon la production laitière.

Régime à base d'ensilage de maïs				
Lait 4%	Foin	Ensilage de maïs	Orge	Tourteau de soja
20 kg	12 %	78 %	0 %	10 %
25 kg	11 %	74 %	5 %	10 %
30 kg	10 %	64 %	17 %	9 %
35 kg	9 %	57 %	25 %	9 %
40 kg	8 %	51 %	32 %	9 %
45 kg	7 %	49 %	34 %	10 %
Régime à base de foin d'excellente qualité				
Lait 4%	Foin	Orge	Tourteau de soja	
20 kg	98 %	0 %	2 %	
25 kg	88 %	12 %	0 %	
30 kg	77 %	22 %	1 %	
35 kg	69 %	29 %	2 %	
40 kg	62 %	34 %	4 %	
45 kg	59 %	37 %	4 %	

5 / Quantités d'aliments nécessaires pour satisfaire les besoins

Si les besoins totaux des vaches laitières varient selon les systèmes, les valeurs énergétiques des aliments peuvent également être différentes. Il est donc important de savoir si les besoins des vaches laitières peuvent être satisfaits avec les mêmes quantités d'aliments dans les différents systèmes.

Les calculs ont été faits pour les 2 rations présentées précédemment (tableau 3). Soulignons qu'il s'agit des mêmes aliments (même composition chimique, même digestibilité) pour les différents systèmes. La composition centésimale des régimes adaptés à chaque niveau de production laitière a été calculée dans le système français en tenant compte de la capacité d'ingestion des animaux et pour une couverture optimale des besoins en PDI. Ensuite, les quantités d'aliments secs nécessaires pour satisfaire les besoins des vaches laitières dans les différents systèmes ont été calculées en tenant compte de la valeur énergétique des aliments et des besoins énergétiques des animaux dans ces systèmes, mais sans tenir compte de leur capacité d'ingestion. Elles correspondent à un bilan énergétique nul. Les différences par rapport au système français sont présentées dans la figure 6.

Il existe un très bon accord entre le système UFL (France) et le système VEM (Pays-Bas, Belgique) ; les différences sont comprises entre + 0,7 et - 0,4 kg de MS (en moyenne + 0,4 et - 0,2 kg), les écarts les plus importants étant observés avec le régime à base de foin pour une production laitière de 20 kg par jour.

Les différences sont plus importantes avec les 3 autres systèmes et augmentent avec la production laitière :

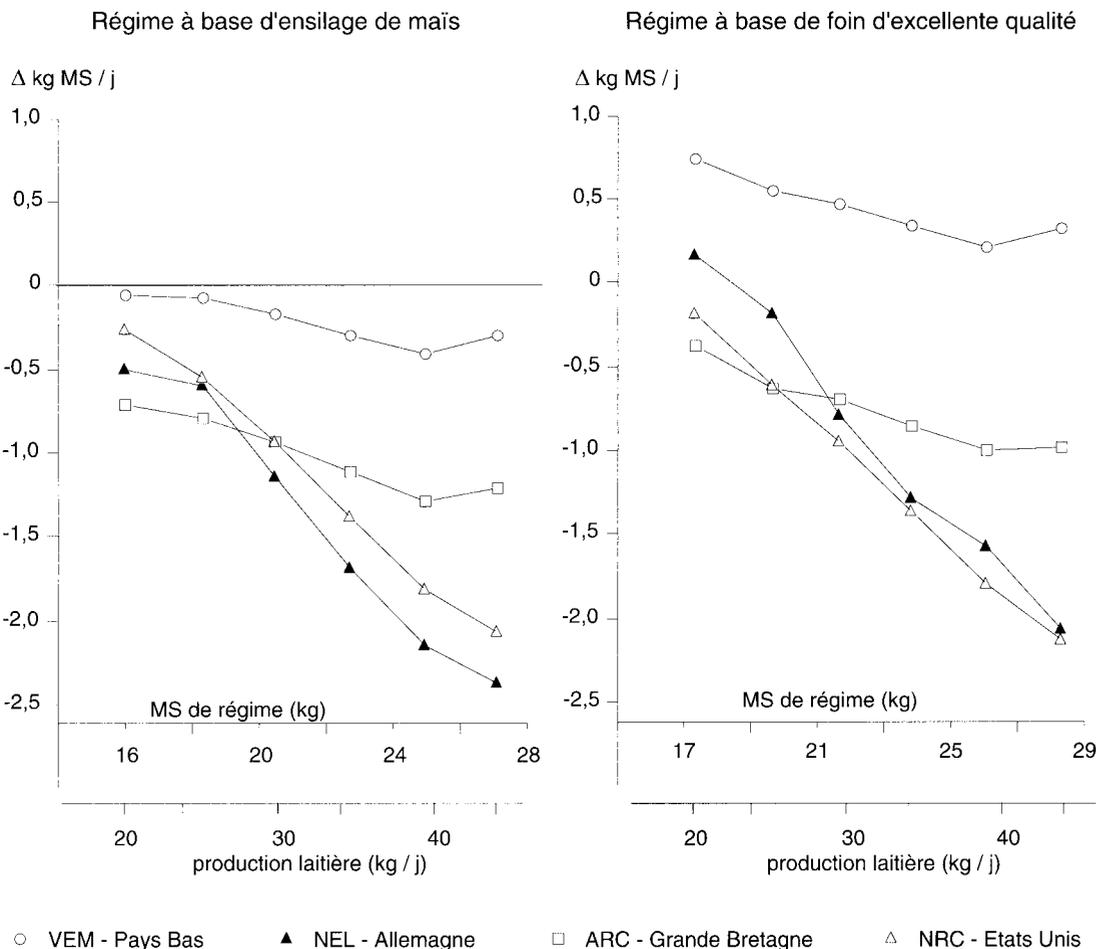
- avec le système utilisé en Allemagne, surtout au-delà d'une production de 30 kg de lait par jour (de - 0,8 à - 2,1 kg de MS par jour), essentiellement en raison de la faible correction pour les interactions entre les aliments et pour l'accroissement du niveau d'alimentation,

- avec le système de l'ARC utilisé en Grande-Bretagne (de - 0,4 à - 1,3 kg de MS par jour), à la fois parce que les corrections précédentes sont un peu plus faibles que dans le système français et que les valeurs énergétiques des aliments sont un peu plus élevées (EM et kl),

- avec le système NRC utilisé aux USA (de - 0,2 à - 2,1 kg de MS par jour), pour les mêmes raisons, avec des écarts encore plus marqués pour chaque facteur.

Pour une production laitière de 45 kg, les apports alimentaires nécessaires calculés avec les systèmes utilisés en Allemagne et aux USA sont inférieurs de 2,1 kg de MS à ceux dérivant des systèmes utilisés en France et aux Pays-Bas. Ces différences correspondent à un besoin de production de 4,8 kg de lait par jour

Figure 6. Apports alimentaires (kg MS de régime par jour) nécessaires pour satisfaire les besoins d'une vache de 700 kg (sans variation de poids) selon sa production laitière : comparaison de différents systèmes.



ou à une variation de poids d'environ 300 g par jour. Il est donc important de vérifier la validité de ces systèmes pour éviter une sous-alimentation des animaux ou un gaspillage d'aliments concentrés.

6 / Contrôle de la validité des systèmes

Les seuls critères dont dispose l'éleveur pour apprécier la qualité du rationnement sont la production laitière et la variation d'état corporel des animaux. Ces critères ne sont évidemment pas assez précis pour mettre en évidence des différences de quelques pourcents.

Depuis le début du siècle et au cours des dernières années encore, de nombreux essais d'alimentation ont été réalisés pour déterminer la valeur énergétique des aliments ou des rations ou pour contrôler la validité des systèmes d'alimentation énergétique. Pour être suffisamment précis, les essais d'alimentation doivent être de longue durée (16 à 30 semaines) et porter sur des lots importants d'animaux, en raison de la variabilité individuelle élevée. On dispose de données obtenues dans ces conditions au cours des 20 dernières

années (tableau 4). Cependant, la production laitière est souvent comprise entre 15 et 20 kg par jour et on ne peut pas estimer précisément la variation de composition corporelle des animaux, donc les quantités d'énergie déposée ou mobilisée.

De nombreux bilans énergétiques ont été réalisés sur des vaches laitières à divers stades physiologiques et pour différents niveaux de production laitière à l'aide de chambres respiratoires. Cette méthode permet de déterminer avec précision les quantités d'aliments consommés, les apports d'énergie digestible et d'énergie métabolisable, les quantités d'énergie corporelle déposée ou mobilisée et le rendement d'utilisation de l'EM pour la lactation. Ces données sont évidemment précieuses pour tester la validité des systèmes.

Aux Pays-Bas, les résultats de 40 études réalisées en chambres respiratoires par Van Es et Van Der Honing, sur des vaches recevant des rations à base de foin, d'ensilage d'herbe ou d'herbe verte, supplémentées en aliments concentrés, ont été utilisés pour contrôler la validité du système VEM. Les apports prédits par le système et les besoins mesurés diffèrent en moyenne de -0,9 à +1,6 % seulement. De plus, les résultats des 60 essais d'alimentation montrent qu'en moyenne les performances des

animaux (production laitière et variation de poids) sont en parfait accord avec les performances prévues par le système VEM. Les différences d'énergie nette des rations prédites par le système VEM et calculées à partir des performances des animaux sont en moyenne nulles et dépassent rarement 3 % (Van Der Honing *et al* 1977 ; tableau 4).

En Grande-Bretagne, 15 essais d'alimentation ont été réalisés avec des effectifs importants de vaches laitières et sur des périodes de 17 ou 30 semaines dans 3 stations différentes : Hurley, Edimbourg et Shinfield (AFRC Technical Committee 1990 - tableau 4). Les écarts observés entre les apports énergétiques prédits par le système de l'A.R.C. et les apports calculés à partir des performances des animaux ont été importants et très variables selon les stations, respectivement + 6 % en moyenne à Hurley, + 3 % à Edimbourg et - 10 % à Shinfield. Cette variabilité s'explique vraisemblablement par le fait que la prise en compte des phénomènes d'interaction a été différente selon les cas : pas de correction à Hurley et à Edimbourg, correction certainement trop importante dans le cas de Shinfield (rations très riches en aliments concentrés) puisque la digestibilité des rations a été mesurée sur ces vaches mais on a négligé la compensation partielle de la diminution de la digestibilité par la réduction des pertes d'énergie sous forme de méthane et dans l'urine.

En France, la validité de l'équation de prédiction des interactions digestives et métaboliques et celle du système UFL ont été contrôlées à l'aide des résultats de 2 types de tests (Vermorel *et al* 1987) :

* 71 essais d'alimentation réalisés à l'INRA avec des rations à base de foin, d'ensilage de maïs ou d'ensilage d'herbe comportant de 5 à 44 % d'aliment concentré (en moyenne 25 %). Les différences entre les quantités d'ENL fournies par les rations, prédites par le système UFL ou calculées à partir des performances des animaux sont comprises entre 0 et 3 % (en moyenne 1,6 %) (tableau 4) ;

* 5 études réalisées en chambres respiratoires (127 bilans énergétiques individuels) avec des vaches en début de lactation recevant des rations à base d'ensilage de maïs. La production laitière était comprise entre 22 et 43 kg par jour. Les différences entre les apports d'ENL prédits par le système UFL et calculés à partir des bilans énergétiques sont en moyenne de 1,1 % seulement.

Conclusion et perspectives

Les systèmes introduits dans de nombreux pays au cours des 10 dernières années reposent pour la plupart sur l'utilisation de l'énergie pour la lactation (ENL). Les différences entre ces systèmes portent essentiellement sur

Tableau 4. Contrôle de la validité des systèmes par des essais d'alimentation et des bilans en chambres respiratoires

Pays référence	Méthode utilisée	Régimes testés	Nombre d'essais	Durée semaines	Vaches par lot	Lait kg	ENL prédite % ENL observée	
Pays-Bas (Van der Honing <i>et al</i> 1977)	Calorimétrie	Foin + concentré	19	1	3 à 6		99,1 ± 3,2	
		Ensilage d'herbe + concentré	13	1	3 à 6	18	99,6 ± 2,9	
		Herbe + concentré	8	1	3 à 6	(7 à 28)	101,6 ± 3,2	
	Essais d'alimentation	Régimes divers	{ 95% besoins 100% besoins 100% besoins 105% besoins Ensemble	3	8 à 16	12 à 14	17,3	97,0
				3			19,1	102,5
				4			16,8	99,5
				3			18,0	103,6
		Ensemble	60			16,8	100,3	
Grande-Bretagne (AFRC Technical Committee 1990)	Essais d'alimentation	Hurley	Divers ensil. + Concentré	6	17	31	19,5	106
		Edimbourg	Ensil. d'herbe + concentré	3	30	40	27,2	103
		Shinfield	Foin + 60, 75 ou 90% conc.	6	30	23	20,2	90 ± 9
France (Vermorel <i>et al</i> 1987)	Essais d'alimentation	Foin + concentré	16	6 à 16	10	19,1	103,1	
		Ensilage maïs + concentré	17		10	23,3	100,0	
		Ensilage d'herbe + concentré	38		10	19,8	101,7	
	Calorimétrie	Ensilage maïs + concentré	5	1	20 à 32	30,5 (22 à 43)	101,1 ± 2,8	

2 points : la prédiction de la teneur en énergie métabolisable des aliments et la correction des apports énergétiques pour tenir compte des interactions entre les aliments et de l'effet de l'accroissement du niveau d'alimentation. Il existe également des différences dans les besoins des vaches laitières (qui parfois prennent en compte une partie des interactions entre les aliments) ou dans les rendements d'utilisation de l'énergie pour la lactation. Cependant, chaque système a sa propre cohérence. Il est donc important de rappeler que les besoins des animaux, leur capacité d'ingestion et les valeurs énergétiques des aliments utilisés pour le rationnement doivent être pris dans le même système. Des écarts liés à la valeur des aliments ou aux besoins des animaux peuvent être compensés ou au contraire accentués par des écarts liés à la capacité d'ingestion des animaux ou à l'ingestibilité des fourrages. Ainsi, les quantités de matière sèche totale ingérée prévues par les systèmes américain et français pour les deux rations données en exemple précédemment peuvent varier d'un système à l'autre de + 0,4 kg pour la ration à base d'ensilage de maïs chez des vaches à 30 kg de lait, à - 1,7 kg pour la ration de foin offerte à des vaches produisant 40 kg de lait.

Les valeurs indiquées tant pour les besoins que pour la valeur énergétique des aliments sont valables pour des lots d'animaux. On sait, en effet, que la variabilité individuelle des besoins est élevée (CV = 8 à 10 % pour le besoin d'entretien, par exemple, Van Es, 1961) et qu'il existe des variations d'utilisation digestive d'une même ration entre les animaux. En utilisant ces valeurs moyennes, on sous-alimente certains animaux et on en suralimente d'autres. Selon le rapport de l'AFRC Technical Committee (1990), il faudrait prendre une marge de sécurité de 20 % dans les apports alimentaires pour ne risquer de sous-alimenter que 5 % des animaux.

En définitive, le système UFL permet actuellement de raisonner correctement le rationnement énergétique des vaches couramment rencontrées. Sa validité, comme celle du système VEM (Pays Bas et Belgique) qui conduit à des apports alimentaires très voisins, a été contrôlée à la fois à l'aide de résultats de nombreux essais d'alimentation et de bilans énergétiques réalisés en chambres respiratoires. Certaines questions restent cependant posées et des améliorations pourraient être apportées. Elles concernent en premier lieu la modulation des besoins d'entretien en fonction du stade physiologique et des facteurs d'environnement et de conduite des animaux (dépenses supplémentaires au pâturage par exemple), comme cela est actuellement développé dans le système proposé par l'université de Cornell, ou par celui utilisé en Australie (CSIRO 1990). En second lieu, il est nécessaire d'améliorer la prédiction des interactions digestives et métaboliques, en particulier 1) en début de lactation, 2) lorsque la part de concentré dans la ration dépasse 50 %, et 3) en fonction de la nature des fourrages et des concentrés et de leur mode de distribution (Coulon *et al* 1989, Michalet-Doreau et Sauvant 1989). Enfin et surtout, une amélioration importante du système UFL sera réalisée lorsque seront prises en compte la nature de l'énergie, la part respective de la digestion dans les différents compartiments digestifs, la vitesse de digestion, les quantités des produits de dégradation dans chacun de ces compartiments et l'utilisation métabolique de ces produits. Des travaux sont actuellement conduits dans ce sens en France (équipes de Michalet-Doreau à Theix et de Sauvant à Paris) et à l'étranger (équipe de Nocek aux USA et de Taminga aux Pays-bas) (Nocek et Taminga 1991).

Références bibliographiques

A.F.R.C. Technical Committee on Responses to Nutrients, 1990. Nutritive requirements of ruminant animals : energy. Nutr. Abstr. Rev. (Series B), Vol. 60, n° 10, 729-804.

A.R.C., 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Technical Review, Farnham Royal : CAB.

Chilliard Y., Rémond B., Agabriel J., Robelin J., Vérité R., 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. Bull. Tech. CRZV Theix, 70, 117-131.

Coulon J.B., Faverdin P., Laurent F., Cotto G., 1989. Influence de la nature de l'aliment concentré sur les performances des vaches laitières. INRA Prod. Anim., 2 (1), 47-53.

C.S.I.R.O., 1990. Feeding standards for Australian livestock. Ruminants. Ed. CSIRO Publications. Melbourne.

Michalet-Doreau B., Sauvant D., 1989. Influence de la nature du

concentré, céréales ou pulpe de betterave, sur la digestion chez les ruminants. INRA Prod. Anim., 2 (4), 235-244.

Nocek J.E. and Taminga S., 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. J. Dairy Sci., 74, 3598-3629.

N.R.C., 1988. Nutrient requirements of dairy cattle. 6th revised edition National Academy Press, Washington D.C.

Van der Honing Y. and G. Alderman, 1988. Livestock Resources and Feed Evaluation in Europe. Present situation and future prospects. III. Ruminants. Livestock Prod. Sci., 19, 217-278.

Van der Honing Y., Steg A., Van Es A.J.H., 1977. Feed evaluation for dairy cows : tests on the system proposed in the Netherlands. Livestock Prod. Sci., 4, 57-67.

Van Es A.J.H., 1961. Between-animal variation in the amount of energy required for the maintenance of cows. Ph. Dr. Thesis University of Wageningen.

Van Es A.J.H., 1975. Feed evaluation for dairy cows. *Livestock Prod. Sci.*, 2, 95-107.

Van Es A.J.H., 1978. Feed evaluation for ruminants. I. The systems in use from May 1977 onwards in the Netherlands. *Livestock Prod. Sci.*, 15, 331-345.

Vermorel M., Coulon J.B., Journet M., 1987. Révision du système des unités fourragères (UF). *Bull. Tech. CRZV Theix*, 70, 9-18.

Wright I.A., Russel A.J.F., 1984. The composition and energy content of empty body-weight change in mature cattle. *Animal Production*, 39, 365-369.

Summary

Dairy cow feeding : comparison of energy feeding systems.

Energy requirements (for maintenance, lactation and body weight changes), of dairy cows yielding 20 to 45 kg milk day, as well as energy value of feeds (metabolizable energy content ME, efficiency of ME utilisation, kl, net energy content given by the American (NRC), British (ARC), Dutch (VEM), French (UFL) and German (NEL) systems were compared. The corrections used in each system for associative effects between feeds were taken into account. The validity (accuracy) of the Dutch and French systems was checked

using indirect calorimetry balances and feeding trials, and that of the British system using feeding trials. The quantities of feeds required to meet the energy requirements of lactating cows were similar in the Dutch and French systems. The differences between these systems and the three others were larger and increased with milk yield, especially in the American (NRC) and German (NEL) systems.

VERMOREL M., COULON J.-B., 1992. Alimentation des vaches laitières : comparaison des systèmes d'alimentation énergétique. *INRA Prod. Anim.*, 5 (4), 289-298.