

Maximiser l'ingestion de fourrages par les ruminants : maîtrise des facteurs liés aux animaux et à leur conduite

P. FAVERDIN (1), J. AGABRIEL (2), F. BOCQUIER (3), S. INGRAND (2)

(1) INRA, Station de Recherches sur la Vache Laitière, 35590, St-Gilles

(2) INRA, Laboratoire Adaptation des Herbivores aux Milieux, 63122 St-Genès-Champanelle

(3) INRA, Laboratoire Sous Nutrition des Ruminants, 63122 St-Genès-Champanelle

RÉSUMÉ – La connaissance des facteurs de variation de la capacité d'ingestion (CI) liés à l'animal permet de choisir les méthodes d'élevage et les stratégies de complémentation les mieux adaptées pour maximiser l'ingestion de fourrages et prévoir l'impact des consommations sur les performances. La première partie de cette revue fait le point des mécanismes physiologiques impliqués dans le contrôle de l'ingestion et de sa régulation. La notion d'échelle de temps est mise en relief pour bien différencier les actions. A court terme les mécanismes du contrôle de la prise alimentaire gèrent l'opposition *motivation à consommer vs processus de rassasiement*. L'équilibre se crée pour fournir des nutriments à l'organisme suivant ses besoins en privilégiant le maintien de son intégrité (homéostasie). A plus long terme, l'ingestion se régule suivant les niveaux de production d'une part, et celui des réserves corporelles et de leur utilisation d'autre part.

La seconde partie décrit les principaux facteurs de variations de la CI liés aux caractéristiques des animaux, poids, âge, cycle de production, état d'engraissement, en montrant le lien avec les mécanismes envisagés auparavant. L'amélioration génétique de la CI est aussi évoquée compte tenu de la valeur moyenne de son héritabilité ($h^2 = 0,5$).

La troisième partie fait le point de l'impact des conduites d'élevage sur la consommation de fourrages. La complémentation énergétique et azotée, lorsqu'elle est bien raisonnée, permet d'optimiser leur ingestion, sans pour autant chercher à maximiser les performances. Le mode de distribution de la ration et la manière d'alloter n'ont d'effets que lorsque l'adaptation du comportement alimentaire individuel ne peut se réaliser.

Maximize roughage intake : animal and management factors

P. FAVERDIN (1), J. AGABRIEL (2), F. BOCQUIER (3), S. INGRAND (2)

INRA, Station de Recherches sur la Vache Laitière, 35590 St-Gilles

SUMMARY – Knowledge of factors related to variation of intake capacity is necessary to choose among breeding practices and feeding strategies those which are well adapted to a maximum forage intake together with suitable animal performances. The first part of this review deals with the physiological mechanisms involved in the control of food intake and its regulation. The importance of time-scale is underlined in order to better understand these complex mechanisms. The short term control of food intake is the result of a balance between motivation for eating and satiety processes. The balance is aimed to supply enough nutrients to satisfy requirements with a priority to maintain the body integrity. At a longer term, intake is regulated both by the level of production and the level of body reserves and their utilisation. The second part of the paper describes animal-related factors that change the intake capacity. Namely, the effects of body weight, age, physiological stage, body fatness are presented together with their links with underlying mechanisms of regulation described in the first part. The possible increase of intake capacity through genetic selection is also evoked. The third part deals with different ways of maximising forage intake in on farm situation. Interests of group-feeding, automated concentrate feeder and electronic devices utilisation are also discussed.

INTRODUCTION

Le plus souvent, les ruminants ont accès en quantités non limitées à des fourrages de qualité variée selon le type de production. La réduction des coûts alimentaires dans les systèmes de production utilisant des ruminants, mais également l'image de marque des produits issus de leur élevage, peuvent inciter à maximiser l'utilisation de ces fourrages. Deux actions sont alors possibles, soit améliorer leur ingestibilité (revue de R. Baumont et al dans cet ouvrage), soit faire évoluer les méthodes d'élevage des animaux. Cette deuxième voie nécessite de bien connaître la physiologie de la régulation de l'ingestion des animaux (première partie de cette revue) et de faire le lien avec la notion de « capacité d'ingestion » (INRA, 1988, Faverdin et al, 1995), (deuxième partie de la revue). La dernière partie rapporte l'effet de différentes conduites d'élevage sur l'ingestion des fourrages. Pour limiter le champ de cette synthèse, les particularités liées au pâturage ne seront pas envisagées car elles ont été traitées dans le cadre de précédentes journées (Peyraud et al, 1995 ; Petit et al, 1995).

1. MÉCANISMES DE RÉGULATION DE L'APPÉTIT CHEZ LES RUMINANTS

1.1 LE COMPORTEMENT ALIMENTAIRE

Les quantités volontairement ingérées résultent des actes élémentaires que constituent les bouchées qui se regroupent au cours de la journée dans des séquences plus ou moins longues et continues généralement appelées repas. Malgré une forte variabilité suivant les régimes et les conditions d'alimentation (Jarrige et al, 1995), un ruminant effectue en général entre 10 et 15 repas par jour qui représentent de 5 à 9 heures de prise alimentaire (figure 1). La rumination occupe également plus de 5 à 9 heures de l'activité journalière, au cours de 12 à 18 séquences. Elle permet de prolonger la mastication des rations au delà de la phase d'ingestion, facilitant ainsi la digestion de fourrages. Cette activité est répartie de façon continue au cours de la journée, sauf lors des principales phases d'ingestion qui semblent prioritaires sur le comportement de rumination. L'ingestion au cours des phases nocturnes est toujours limitée. Les périodes proches du lever et du coucher du soleil ou les périodes qui suivent la distribution d'une ration sont généralement occupées par des repas plus longs qui peuvent durer de une à plusieurs heures. Au cours de ces grands repas, l'évolution de la vitesse d'ingestion traduit l'état de motivation de l'animal à consommer. Celle-ci est maximale au début du repas et décroît progressivement au fur et à mesure de la mise en place des processus de rassasiement (figure 2). Cette décroissance est d'autant plus rapide que la motivation initiale est grande et que les processus de rassasiement sont intenses. L'analyse de la structure des repas peut donc fournir des informations sur les mécanismes qui régulent l'ingestion.

Les ruminants présentent des différences individuelles importantes de comportement alimentaire (vitesse d'ingestion, répartitions des repas au cours de la journée, durée des grands repas) sans que cela suffise à expliquer les différences de quantités ingérées journalières (Jarrige et al, 1995). La distinction proposée par Le Magnen entre le *contrôle de la prise alimentaire* (court terme) et la *régulation des quantités ingérées* (moyen ou long terme) permet de mieux souligner les différences dans les mécanismes impliqués.

Figure 1
Cinétique d'ingestion de la ration au cours du nyctémère
Répartition des repas et des périodes de rumination
(D'après Jarrige et al. 1995)

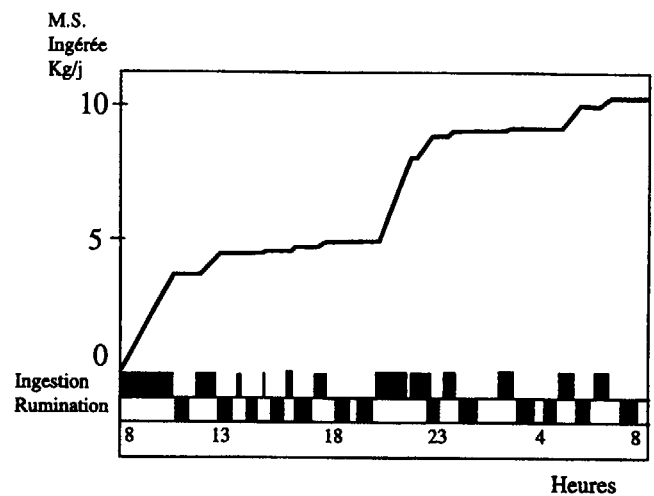
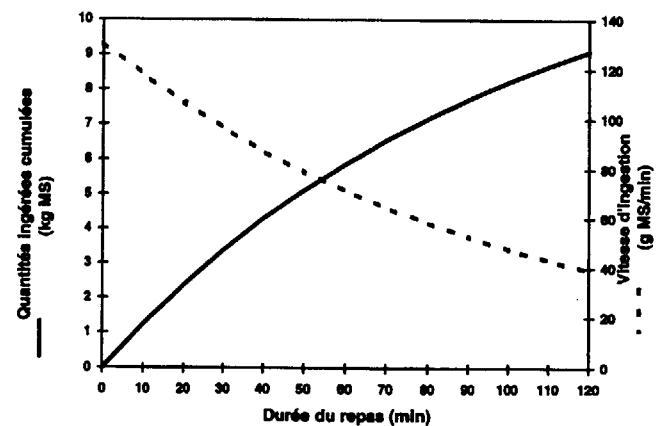


Figure 2
Evolution schématique de la vitesse d'ingestion au cours d'un repas d'ensilage de maïs d'une vache laitière.

La vitesse initiale indique la motivation de l'animal en début de repas et la courbure traduit la vitesse d'apparition des processus de rassasiement



1.2 LE CONTRÔLE À COURT TERME DE LA PRISE ALIMENTAIRE

Le comportement alimentaire est sous la dépendance de deux grandes composantes antagonistes, la motivation à consommer et les processus de rassasiement. Le centre de décision, situé dans l'hypothalamus latéral, reçoit par voies métabolique, hormonale et nerveuse les informations concernant l'état de l'animal. A partir de ces informations et des apprentissages alimentaires, le contrôle du comportement alimentaire s'effectue par voie nerveuse. La prise alimentaire est effectuée et répétée aussi longtemps que la motivation à consommer a une intensité supérieure au processus de rassasiement : la succession de ces prises constitue alors un repas. Lorsque l'intensité du processus de rassasiement dépasse celle de la motivation, le comportement alimentaire est inhibé, la satiété apparaît.

Les processus de rassasiement trouvent leur origine dans les phénomènes post-ingestifs provoqués par la présence des aliments dans l'appareil digestif. Chez les ruminants, deux grands types de signaux de rassasiement sont connus depuis longtemps : les signaux liés à l'encombrement du rumen et ceux correspondant à l'apparition des produits terminaux de la digestion, en particulier les acides gras volatils (AGV) produits par les fermentations ruminales (Faverdin et al, 1995).

Contrairement aux monogastriques, le glucose ne constitue pas un signal efficace. Les travaux récents montrent qu'à court terme, les phénomènes de rassasiement permettent d'abord à l'animal de préserver son intégrité (homéostasie), quitte à solliciter ses réserves facilement mobilisables pour faire face à la demande nutritionnelle. De ce fait, la distension du rumen, les perturbations de l'équilibre physico-chimique du contenu ruminal ou du métabolisme hépatique (niveau élevé de propionate), constituent des signaux de rassasiement puissants.

La motivation à consommer est largement gouvernée par des mécanismes de régulation à plus long terme qui seront décrits ci-après. A court terme, elle peut aussi être stimulée par la récompense (hédonique) associée à la prise de l'aliment. L'intérêt pour un aliment (palatabilité) est acquis dans la plupart des cas par apprentissage à partir des signaux post-ingestifs, et ses caractéristiques organoleptiques ne servent principalement qu'à l'identifier (Provenza, 1995 ; Baumont et al, 1996).

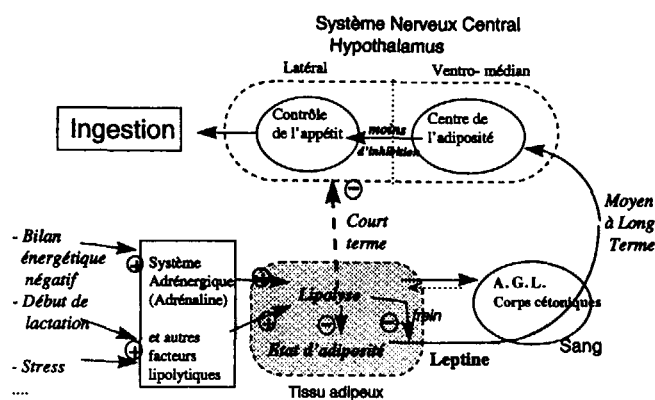
La plupart des travaux réalisés sur le contrôle de la prise alimentaire ont cherché à étudier les mécanismes impliqués dans le processus de rassasiement qui a souvent été considéré comme le principal facteur limitant l'ingestion (concepts de régulations physique et métabolique, cf. INRA, 1978). Cette idée doit cependant être nuancée. En effet, un processus de rassasiement plus intense qui diminue la taille d'un repas peut engendrer une moindre satisfaction des besoins qui accroîtra, après quelque temps, la motivation de l'animal à consommer. Seule l'évolution simultanée de ces deux fonctions de motivation et de rassasiement permet de connaître l'évolution des quantités ingérées à plus long terme.

1.3 LA RÉGULATION À LONG TERME DES QUANTITÉS INGÉRÉES

Les quantités ingérées à moyen et long terme sont très largement régulées par la demande nutritionnelle de l'organisme qui évolue au cours du temps (croissance, gestation, lactation) ou qui peut également s'accroître pour faire face à des dépenses de travail, de déplacement ou de thermorégulation. Afin de satisfaire la demande, des modifications importantes se mettent en place sous contrôle hormonal pour établir un nouvel équilibre (homéorhèse : Bauman et Currie, 1980) qui fait évoluer la motivation de l'animal à consommer. Entre individus, les besoins liés à la production (croissance, production laitière), quoique très variables, sont assez bien corrélés à la capacité d'ingestion, surtout lorsqu'ils sont élevés. Par contre lorsque les besoins sont faibles, l'ingestion se régule davantage selon les caractéristiques et « l'histoire individuelle » de l'animal. Production et ingestion sont deux fonctions interdépendantes dont les lois de réponses réciproques restent à préciser. La régulation de l'ingestion permet surtout de contrôler l'apport d'énergie mais aussi la fourniture d'autres nutriments essentiels pour assurer un bon fonctionnement de l'organisme. Toute carence ou excès de la ration en ces nutriments pourra conduire à un dysfonctionnement métabolique et à une ingestion réduite. Par ailleurs, accroître la motivation n'augmentera l'ingestion que si l'animal peut adapter sa sensibilité aux signaux de rassasiement, car ces derniers ne sont pas absolus mais « rééquilibrés ». Par exemple, un encombrement artificiel du rumen, qui fait baisser l'ingestion à court terme, peut n'avoir aucun effet après deux ou trois semaines car il s'adapte à cette nouvelle situation. Il en va de même pour des perfusions de nutriments dont l'effet peut n'être que transitoire.

Ces mécanismes sont compliqués par l'action des réserves corporelles qui modulent de façon dynamique les relations ingestion-production. Ceci est vrai pour des femelles en lactation et/ou en gestation comme pour des animaux en croissance et à l'engrais. Les réserves corporelles sont essentiellement constituées par des lipides stockés dans le tissu adipeux. Or, le contrôle du niveau des réserves se fait en étroite relation avec celui de la prise alimentaire (figure 3). La zone ventromédiane de l'hypothalamus était connue depuis longtemps pour diminuer l'appétit, et constitue vraisemblablement un centre de régulation de l'adiposité (Le Magnen, 1985). Un messenger hormonal, émis par le tissu adipeux (la leptine du grec « leptos » mince) informe ce centre de contrôle de l'adiposité de l'état des réserves et ainsi régule l'appétit. Découvert récemment chez les rongeurs (Campfield et al, 1995), il a été identifié chez les ruminants (Pomp et al, 1997). D'ailleurs, chez la brebis, le récepteur à la leptine a également été identifié dans la zone ventromédiane de l'hypothalamus (Dyer et al, 1997).

Figure 3
Schéma simplifié du rôle des réserves corporelles dans la régulation de l'ingestion en situation lipolytique



La lipomobilisation qui peut être induite par de nombreux mécanismes, conduit le plus souvent à une diminution de l'appétit à court terme (Mantzoros et al, 1996) y compris chez les ruminants. Cependant cette lipolyse, diminuant les stocks de lipides et la sécrétion de leptine, déclenche à plus long terme un signal antagoniste qui permet l'accroissement de l'ingestion afin de restaurer les réserves mobilisées. Ces mécanismes permettent de mieux comprendre l'origine du délai important observé chez la vache forte productrice pour atteindre son ingestion maximale. Après le vêlage la sécrétion importante d'hormone de croissance facilite la mobilisation des réserves pour produire du lait, ce qui freine l'accroissement de l'ingestion (Bareille et al, 1997). L'augmentation de l'appétit est de ce fait limitée comme le traduit l'évolution lente de la vitesse d'ingestion (Dulphy et Faverdin, 1987) et suit la mobilisation des réserves. Le même phénomène s'exercerait lorsque la mobilisation induite par d'autres facteurs (pathologies, stress...) provoque des chutes d'appétit.

En conclusion, la régulation des quantités ingérées fait appel à un ensemble de mécanismes très complexes qui agissent à différentes échelles de temps (Faverdin et al 1995). Ces mécanismes, impliquent à la fois les contraintes du comportement alimentaire, les mécanismes de rassasiement, et la régulation physiologique de la motivation à consommer, qui va beaucoup varier au cours du cycle de vie de l'animal et de son cycle de production.

2. FACTEURS DE VARIATIONS DE LA CAPACITÉ D'INGESTION DÉPENDANT DE L'ANIMAL

Dans la pratique on considère les quantités journalières ingérées car c'est à cette échelle de temps que s'effectue le rationnement hivernal. La capacité d'ingestion (CI), quantité maximale d'aliment ingérée par jour, se détermine en fonction des caractéristiques de l'animal. Les propositions de l'INRA (1978 ; 1988), en exprimant la CI et la valeur de rassasiement des fourrages et des concentrés dans une même unité dite « Unité d'Encombrement (UE) » permettent de quantifier la CI indépendamment des rations. Les principaux facteurs de variations de la CI pris en compte dans les modèles de l'INRA (1988) ou de Forbes (1986, 1995), sont l'espèce, la race, le format (poids), l'âge, l'état d'engraisement auxquels il faut ajouter, pour les femelles en production, le stade physiologique, la parité et le niveau de production laitière.

2.1 LE FORMAT ET L'ÂGE

2.1.1 Animaux en croissance ou à l'engrais

Pour le jeune bovin sevré nourri avec des fourrages, la CI est étroitement liée au poids vif (PV) qui explique respectivement plus de 88 et 80 % de sa variabilité génétique et phénotypique (Taylor et al, 1986). Cela résulte du lien étroit entre âge et développement du tube digestif. Pour prédire les quantités ingérées, de nombreux auteurs ont ajusté la CI à un modèle allométrique $CI = a PV^b$. Pour des jeunes animaux, le coefficient b du poids vif varie entre 0,54 et 1,0 selon la nature et le niveau d'alimentation (Bishop, 1992, revue de Ferrer, 1995). Il a souvent été considéré comme étant égal à 0,75 par homogénéité avec l'évolution du besoin d'entretien. La mesure de la CI dans de nombreux essais où les rations étaient à base de fourrages, a permis d'obtenir la valeur de 0,9 qui a été retenue par la suite dans les recommandations de l'INRA (1988) pour les génisses ou les mâles en croissance modérée (Trocon et al, 1988, Geay et al, 1987). Dans ces conditions, la CI des animaux en croissance augmente un peu plus vite que leur besoin d'entretien. Entre animaux de même âge, cela favoriserait dans les milieux nutritionnels riches ceux de grand format au développement rapide. Cependant, l'augmentation marginale de la capacité d'ingestion avec le poids est différente selon l'âge des animaux, plus élevée pour les jeunes que pour les adultes (Ferrer, 1995).

2.1.2 Femelles adultes reproductrices

Chez les femelles adultes en production, les effets du poids et de l'âge sont connus et décrits depuis longtemps (Bocquier et al, 1987, Journet et al, 1965, Journet et Rémond, 1976, Petit, 1978 et 1987). A même poids et niveau de production, les primipares présentent une capacité d'ingestion réduite par rapport aux animaux adultes. Cette différence est généralement comprise entre -8 et -12 % (de la CI maximale) suivant les espèces et les rations. Elle n'a pas été mise en évidence de façon systématique chez les brebis. La capacité d'ingestion des vaches est maximale à partir de la troisième lactation mais les différences avec la seconde lactation sont faibles. L'effet du poids sur la CI semble très variable suivant les études, mais lorsqu'il est estimé intra classe d'âge, ou entre races de formats différents (par ex Charolais 700 kg Aubrac 550 kg : Petit 1978) les coefficients sont généralement plus concordants et se situent entre 0,5 et 1,2 kg de MS pour 100 kg de poids vif. Les valeurs moyennes retenues (INRA, 1988) sont de 1,0 UEL (vaches laitières) 1,5 UEB (vaches allaitantes) et 2,0 UEM (brebis) par 100 kg de poids vif.

2.2 LE CYCLE DE PRODUCTION DES FEMELLES

Le cycle gestation-lactation se caractérise par des variations importantes des besoins et également de la capacité d'ingestion.

Chez les vaches laitières, la CI est minimale lors du vêlage ; elle s'accroît ensuite rapidement pour atteindre un maximum d'autant plus précoce que l'animal mobilise peu ses réserves. Ce maximum est atteint entre la fin du premier et du troisième mois de lactation ; il est d'autant plus élevé que les vaches produisent beaucoup de lait sans qu'il soit possible de déterminer clairement si c'est plus une cause ou plus une conséquence de ce niveau de production (Faverdin et al, 1987). Les vaches laitières primipares ont également un maximum d'ingestion très tardif (lié à un niveau d'ingestion avant vêlage beaucoup plus faible que celui des multipares) et qui, à l'image de la production laitière, se maintient assez bien au cours de la lactation. En milieu et fin de lactation, l'ingestion décroît progressivement, parallèlement à l'évolution de la production laitière. Chez les vaches allaitantes, niveau d'ingestion et quantité de lait bue par le veau varient aussi dans le même sens. Au cours des trois derniers mois de gestation, la capacité d'ingestion des vaches laitières décroît plus rapidement. Un mécanisme hormonal et/ou l'encombrement de l'abdomen par le fœtus et ses annexes (en toute fin de gestation), pourraient en être la cause comme cela a été démontré chez la brebis (Forbes, 1986). Excepté en début de lactation, il existe une assez bonne relation entre la production laitière et l'ingestion lorsque le niveau de production est élevé (Faverdin et al, 1987) et qui est largement utilisée pour prédire les quantités ingérées (Faverdin et al, 1992, Bocquier et al dans cet ouvrage). Lorsque les vaches sont faibles productrices, la variabilité interindividuelle des quantités ingérées est très marquée (Ingrand et Agabriel 1997) et les prédictions sont plus incertaines.

2.3 L'ÉTAT DES RÉSERVES CORPORELLES

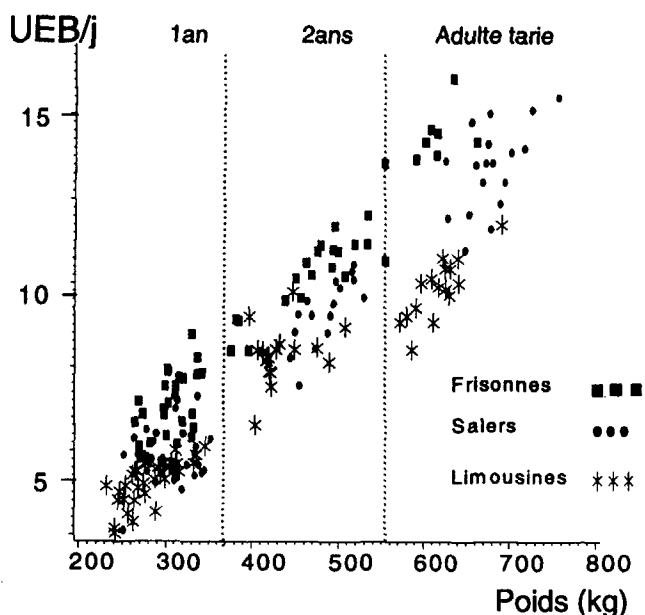
Les mécanismes physiologiques sous-jacents ont été discutés précédemment. D'un point de vue pratique, l'effet dépressif de l'état d'embonpoint sur la capacité d'ingestion est connu depuis longtemps pour les animaux en engraissement, ou entre vaches au même stade physiologique (Bines et al, 1969, Garnsworthy, 1989). De ce fait, l'allométrie observée pour les jeunes à l'engrais entre CI et poids est plus faible (0,6) (Forbes, 1986, Geay et al, 1987) que pour les jeunes en croissance modérée (0,9). Cet effet de l'engraisement sur l'ingestion a été pris en compte dans les recommandations alimentaires (INRA, 1988) en corrigeant la CI en fonction de la note d'état d'engraisement : la CI décroît respectivement de 0,2 UEB et UEM par point de note d'état en plus pour des vaches de race à viande ou des brebis taries.

2.4 LA COMPOSANTE GÉNÉTIQUE DE L'INGESTION

Les différences d'ingestion entre races sont maintenant largement connues. Corrigée des effets du poids et de la production laitière, la CI des bovins laitiers (Holstein, Montbéliard..) est supérieure de 10 % à celle des bovins viande (Charolais, Salers...) (Agabriel et al, 1987, D'hour et al, 1991) (figure 4). La race Limousine se différencie par une ingestion de 10% inférieure à celle des autres races à viande (Geay 1982) similaire à celle des culards Blanc Bleu Belge (Hanset et al, 1987). La répétabilité de la CI corrigée de l'effet stade physiologique est élevée : pour un même vache, d'une lactation à l'autre, elle varie entre 0,3 et 0,7 (en moyenne 0,55). Pour des brebis laitières, d'une semaine sur l'autre, elle est de $0,74 \pm 0,02$ (en

rapport avec la répétabilité des niveaux de production laitière) et si l'on s'intéresse aux consommations journalières la répétabilité est comprise entre 0,8 et 0,9 (François et al, 1997). De nombreux travaux ont évalué la composante génétique de la CI : les estimations de l'héritabilité varient beaucoup (de 0,1 à 0,8). Ceci est dû en partie au faible nombre d'animaux sur lesquels les mesures étaient faites (coût et standardisation de la mesure, méthode de calcul des paramètres). L'héritabilité est supérieure sur les régimes à proportion élevée de fourrages (Svendsen et al, 1987). Elle varie aussi selon l'âge des animaux : 0,81 pour des génisses entre 24 et 32 semaines d'âge (Korver et Vos, 1986), mais 0,56 entre 44 et 60 semaines (Korver et al, 1991). Elle est supérieure en début de lactation (Persaud et Simm, 1991, Svendsen et al, 1987).

Figure 4
Evolution de la capacité d'ingestion de génisses selon l'âge, le poids et la race (d'après Agabriel et al. 1987)



Les héritabilités de la consommation et de l'efficacité alimentaire de bovins en croissance et en engraissement intensif cités dans la revue de Menissier et al (1986) sont respectivement de 0,49 et de 0,40, proches de ceux de la croissance (0,3 à 0,4). Ces valeurs sont également observées dans l'expérience mise en place sur le domaine INRA de Bourges sur taurillons Charolais (Fouilloux et al, dans cet ouvrage). Chez les vaches laitières, les mesures d'héritabilité de la CI sur des lactations de primipares sont également en moyenne proches de 0,5 (Von Arendonck et al, 1991, Persaud et Simm, 1991), mais d'autres observations obtenues avec des méthodes différentes conduisent à des valeurs plus faibles (0,2 : Hooven et al, 1972, Von Brandt, et al 1985).

La sélection sur les performances zootechniques, la plus souvent pratiquée, s'accompagne d'un accroissement de la CI. Il n'est donc pas certain qu'une sélection supplémentaire sur l'ingestion permette une bien meilleure aptitude à ingérer et valoriser des fourrages grossiers.

3. FACTEURS DE VARIATIONS DE L'INGESTION LIÉS À LA CONDUITE ET À L'ENVIRONNEMENT DES ANIMAUX

Les variations de CI inter et intra individus sont importantes mais pratiquement les moyens de l'accroître en agissant direc-

tement sur l'animal (sélection, traitements, ...) sont assez limités. Par contre, les méthodes d'élevage peuvent également être adaptées pour maximiser l'ingestion de fourrages.

3.1 L'ÉQUILIBRE NUTRITIONNEL

La capacité d'ingestion d'un animal est sensible à l'équilibre de nombreux nutriments. Il est donc essentiel pour maximiser l'ingestion de fourrages de bien compléter la ration, que l'on cherche ou non à maximiser les performances de l'animal.

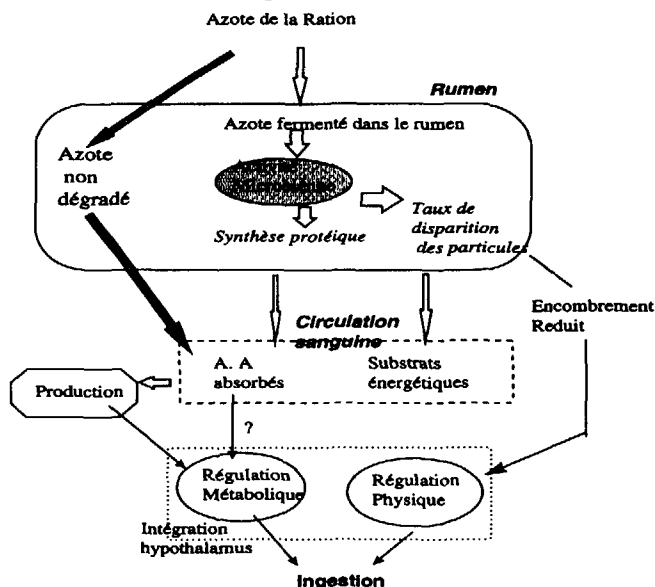
3.1.1 La complémentation énergétique

En général, l'apport d'aliments concentrés de type énergétique permet d'accroître l'ingestion totale de la ration mais diminue la consommation de fourrages, ceci d'autant plus que les besoins énergétiques de l'animal sont couverts (Faverdin, 1991). Cependant, lorsque les fourrages sont de qualité et de palatabilité médiocres, il est possible d'observer une augmentation de leur consommation. Ceci est rare chez des vaches laitières, mais fréquent avec des animaux à faible besoins (génisses, vaches allaitantes, Petit, 1988 et brebis, Bocquier et al, 1987). Il a même été montré chez la brebis que cet effet ne correspondait pas uniquement à l'apport d'azote dégradable provenant du concentré (Barry et Johnstone, 1976), mais pourrait provenir, même à faible dose, d'une stimulation des activités microbiennes par un apport d'énergie rapidement disponible. Ceci a d'ailleurs été pris en compte introduit dans la prévision des phénomènes de substitution fourrages-concentrés du système des UE (Jarrige et al, 1979, Dulphy et al, 1987).

3.1.2 La complémentation azotée

La complémentation azotée est particulièrement importante pour maximiser l'ingestion des fourrages. Deux mécanismes importants sont associés à cette complémentation (figure 5). Le premier concerne l'apport d'azote fermentescible à la population microbienne et a été largement traité par Baumont et al, dans cet ouvrage. En général, même un apport d'azote sous forme non protéique (urée, ammoniac...) permet d'accroître l'ingestion de fourrage lorsque la ration est pauvre en azote dégradable. Par contre pour des rations équilibrées PDIN / PDIE, le supplément tout complément d'azote dégradable ne fait qu'accroître les rejets azotés, (Delaby et al, 1995) et peut même faire chuter l'appétit.

Figure 5
Influence d'une variation de l'apport d'azote sur l'ingestion de la ration



Le second mécanisme est davantage lié à la physiologie de l'animal. L'apport de protéines à l'animal (PDIE) permet dans une certaine mesure de stimuler directement l'ingestion. Il est difficile de savoir si ce mécanisme opère via l'accroissement des performances qui accompagne généralement cette surcharge protéique ou bien si certains acides aminés agissent directement au niveau central du contrôle de l'appétit par une stimulation de la prise alimentaire comme cela a été montré chez le rat (Harper et Peters, 1989). Il est toutefois probable que cette complémentation soit plus efficace avec des fourrages de bonne ingestibilité qu'avec des fourrages pauvres, même si des travaux anciens rapportent des augmentations spectaculaires de l'ingestion de fourrages pauvres chez le mouton (Egan, 1965). Pour cette espèce, une supplémentation en méthionine a un effet positif sur l'ingestion (Barry, 1976), ce qui n'a jamais été rapporté à ce jour observé pour l'instant sur vache laitière. Pourtant une supplémentation à l'aide de tourteaux tannés peut accroître significativement l'ingestion de vaches en lactation (Journet et al, 1983).

La complémentation azotée, souvent utile pour corriger les déséquilibres nutritionnels des fourrages, constitue un moyen simple et efficace de maximiser leur ingestion tout en assurant une bonne valorisation du supplément consommé.

3.1.3 La complémentation minérale

Lorsque la ration est essentiellement composée de fourrages, il existe des risques importants de déséquilibre en minéraux et oligo-éléments. Une carence ou un excès se traduisent généralement par une baisse de l'appétit des animaux comme pour n'importe quel autre nutriment. Certains affectent cependant plus l'appétit que d'autres (Na, Ca, P, Cu, Zn, Mn, I, Co, : Forbes, 1995). De plus les fourrages se caractérisent par une teneur insuffisante en zinc et cuivre et par une absorbabilité des sels minéraux plus faible (Guéguen et al, 1988). La plupart du temps, très simple à réaliser et peu coûteuse, cette complémentation est indispensable pour maximiser l'ingestion et bien valoriser une ration à base de fourrages.

3.1.4 L'abreuvement

Bien que souvent correctement maîtrisé dans les élevages en France, l'accès à l'eau de boisson ne doit cependant pas être oublié et son importance sous-estimée. Il est maintenant bien connu que l'hyper-osmolarité ruminale conduit à une baisse significative des quantités ingérées (Grovm et al, 1995). L'augmentation des fermentations provenant de la digestion ruminale dans les heures qui suivent la distribution d'une ration tend à accroître la pression osmotique. Pour l'équilibrer, l'animal effectue l'essentiel de ses prises spontanées de boisson au moment des repas. Une disponibilité insuffisante d'eau lorsque la ration fermente vite ou lorsque l'aliment est très sec peut conduire à une perturbation de l'équilibre osmotique et hydrominéral de l'organisme et limiter ainsi l'importance des prises alimentaires (Langhans et al, 1995).

3.2 LES MÉTHODES D'ALIMENTATION

3.2.1 Le temps d'accès à la ration

Bien qu'offerte en quantité non limitante, une ration dont l'accès individuel n'est pas possible en permanence peut ne pas être consommée à volonté. Cette limitation sera d'autant plus importante que la vitesse maximale d'ingestion de la ration sera faible (préhensibilité, teneur en eau) et que la CI sera élevée. La durée d'accès individuel peut se trouver limitée par un nombre de places insuffisant à l'auge ou au silo, les temps

d'accessibilité réelle de la nourriture (recul du front d'attaque du silo), la compétition avec d'autres activités (traites, trajets, accès à la boisson,...). Lorsque les temps d'accès diminuent, l'animal accroît dans un premier temps sa vitesse moyenne d'ingestion qui tend à se rapprocher de la vitesse maximale, et augmente également sa durée de rumination pour maintenir une mastication suffisante de la ration. Si le temps d'accès continue à diminuer, les deux vitesses sont proches et les quantités ingérées baissent. Il faut prévoir des temps d'accès réels supérieurs à 6 heures par vache et par jour (Campling et Morgan, 1981) pour des fourrages conservés, et sans doute plus avec des fourrages très riches en eau pour lesquels la vitesse d'ingestion est très faible (herbe jeune). Il est préférable de réserver deux périodes d'accès matin et soir, car lorsque le fourrage est encombrant les animaux doivent pouvoir étaler le plus possible la consommation sur la journée. Enfin, l'accès nocturne n'est peut-être pas à négliger car il permet parfois de réaliser un ou deux petits repas supplémentaires qui n'auraient pu avoir lieu dans la journée.

3.2.2 Les quantités offertes

Le fait qu'il reste de l'aliment dans l'auge ne signifie pas que l'animal n'aurait pas pu en manger plus. De nombreux auteurs ont montré que l'ingestion de fourrages augmente au fur et à mesure que l'on accroît la quantité offerte. Cet effet peut s'observer parfois jusqu'à ce que les quantités offertes soient deux fois plus importantes que celles ingérées, notamment lorsque les plantes sont peu ingestibles et présentent une structure hétérogène (Zemmelink, 1980). Bien entendu, le tri des différentes parties du végétal par les animaux explique largement ce phénomène. L'intérêt économique est souvent limité sauf quand l'éleveur ne dispose plus que de ressources très médiocres en grandes quantités.

3.2.3 Ration complète ou séparée

Lorsqu'une complémentation du fourrage est apportée, il est possible d'offrir séparément les différents ingrédients ou de les mélanger pour constituer une ration « complète ». Un des intérêts de ce mélange tient à l'augmentation des quantités ingérées qui en résulterait (près de 1 kg de MS en plus pour des vaches laitières dans la revue de Hoden et Giger 1984). Les effets les plus favorables sont en général observés avec des rations très riches en aliments concentrés (Larkin et Fosgate, 1970, Phipps et al, 1984) ou avec des ensilages d'herbe (Dulphy et al, 1994). L'apport d'aliment concentré dans l'ensilage d'herbe entraîne en effet une augmentation de la teneur en matière sèche de la ration qui pourrait être favorable à sa consommation (Chenais et al., 1988). Avec l'ensilage de maïs dont la teneur en MS est souvent déjà élevée, l'augmentation d'ingestion reste plus limitée (en général inférieure à 1 kg de MS). De nombreuses comparaisons ne font d'ailleurs part d'aucune différence significative d'ingestion de fourrages du fait de cette technique (Pardue et al, 1975, Holter et al, 1977, Phipps et al, 1984, Nocek et English, 1986), ce qui ne remet pas en cause ses autres avantages (simplification du rationnement, ration de composition homogène à court et long terme, Hoden et Giger, 1984).

3.2.4 Le passage de l'alimentation individuelle à l'alimentation en lots

Lorsque les animaux sont en groupe et en l'absence de compétition, ils ingèrent davantage que lorsqu'ils sont attachés, mais l'écart n'est pas très important (+ 4 % sur 134 comparaisons faites sur des bovins en croissance d'après Ingvarsen et

Andersen, 1993). Seuls deux tiers des essais cités présentent d'ailleurs un effet positif. Cet effet résulterait d'une stimulation collective et de facteurs liés au bien-être des animaux qui serait mieux assuré au sein d'un groupe. Ce résultat s'observe également sur des animaux jeunes tels que des génisses laitières (+ 10 % d'après en moyenne (D'Hour et al, 1991). Il faut noter que les niveaux d'ingestion supérieurs en groupe ne se traduisent pas par des performances de croissance supérieures et l'efficacité alimentaire est donc moindre. Même lorsque les quantités ingérées ne sont pas différentes, le passage de la conduite individuelle à la conduite en groupe engendre généralement une augmentation de la vitesse d'ingestion (Harb et al., 1985, sur vaches laitières). Cette augmentation est d'autant plus importante que l'animal est dominé dans le groupe. Ainsi lorsque la compétition pour l'accès à l'auge augmente, la variabilité individuelle des quantités consommées peut s'accroître.

Pour être efficace, la maximisation des consommations de fourrage à l'échelle individuelle doit être appliquée à l'ensemble des animaux du troupeau. Le cas se pose particulièrement en production ovine laitière : pour couvrir les besoins et pour des raisons de simplification du travail dans les grands troupeaux, on apporte souvent collectivement les aliments concentrés qui, très ingestibles, sont consommés en quantités pratiquement équivalentes par tous. Les besoins des animaux les moins performants sont alors largement couverts à l'opposé de ceux des animaux les plus productifs. Les premiers consomment alors inutilement des aliments concentrés qui se substituent fortement au fourrage (Faverdin et al, 1992). Pour maximiser l'ingestion de fourrages en alimentation collective, on peut envisager, soit de répartir les animaux en lots de performances homogènes, soit de moduler individuellement les apports d'aliments concentrés au sein du troupeau par l'utilisation de distributeurs automatiques de concentré (DAC) (Bocquier et al, 1995). Dans la première solution, les critères souvent proposés pour la création des lots prennent en compte à la fois les besoins et la CI. Pour les brebis comme pour les vaches, des expérimentations et des simulations montrent qu'au delà de 3 lots la réduction de l'hétérogénéité des performances est assez faible et qu'en pratique l'effet le plus spectaculaire est obtenu lorsque le troupeau est scindé en deux lots (Peckoc et al, 1992, Vacaresse, 1992). D'autres systèmes d'alimentation, intermédiaires entre la gestion par lot ou par DAC, peuvent être utilisés. Ceux-ci reposent toujours sur l'identification électronique, qui permet un accès sélectif des animaux à des zones où sont disposées des rations de qualité adaptée à leur besoin (Geers, 1994).

A l'avenir la généralisation de l'identification électronique des animaux offre des nouvelles perspectives en matière de gestion du rationnement des groupes pour maximiser la consommation de fourrages du troupeau.

3.3 VARIATIONS SELON LES FACTEURS DE L'ENVIRONNEMENT

3.3.1 La température ambiante

L'augmentation de la température fait baisser l'ingestion des ruminants, mais ce n'est qu'au delà de 30°C que les effets semblent vraiment notables (Johnson et al, 1966). Ainsi l'ingestion volontaire serait réduite de 25 à 40 % au delà de 35-40°C (Kennedy, 1995). A l'opposé, elle augmente fortement en deçà de -15°C. Les fourrages sont mieux consommés à température basse en raison de la forte extra-chaaleur qu'ils pro-

duisent. Leur part dans la ration est alors réduite en zone chaude.

3.3.2 La durée d'éclairage et la saison

L'augmentation de la durée du jour modifie peu le niveau d'ingestion des bovins (environ + 6 à + 8 % lorsque l'éclairage de génisses passe de 8 à 16 h par 24 h, Petitclerc et al, 1983). Par contre les consommations volontaires des ovins sont significativement accrues, qu'il s'agisse de jeunes (+ 21 % : Blaxter et al, 1982), de mâles castrés (+ 35 à + 45 % : Milne et al, 1978, Michalet-Doreau et Gatel, 1983). Cette sensibilité varie fortement selon les races (+ 71 % par exemple pour des béliers Soay et + 52 % pour des Suffolk, Kay, 1979), et l'effet est d'autant plus marqué que les rations sont plus ingestibles (+ 11 % avec du foin de fétuque et + 35 % avec de l'herbe déshydratée : Milne et al, 1978).

Cet effet de la photopériode apparaît avec un délai compris entre 45 jours (Texel : Michalet-Doreau et Gatel, 1983) et 90 jours (Suffolk x Finn Dorset : Kay, 1979) après le maximum de la durée d'éclairage. Ce délai se confirme même avec des brebis laitières en lactation pour lesquelles l'augmentation moyenne de consommation est de 16% (Bocquier et al, 1997). Dans tous les cas, les effets favorables de la photopériode longue sur la CI peuvent en partie se confondre avec des effets directs de la photopériode sur la production et la dépense d'entretien. Sous nos latitudes, l'intérêt d'un éclairage artificiel pour accroître la part des fourrages est minime.

CONCLUSION

Les méthodes permettant de maximiser l'ingestion de fourrages en agissant sur l'animal sont limitées comparativement aux possibilités de faire varier la qualité du fourrage lui-même. La variabilité individuelle de l'ingestion est difficile à maîtriser et à prévoir notamment pour les animaux à faibles besoins. Les moyens d'action les plus importants se situent au niveau des méthodes d'élevage et des méthodes de rationnement. A l'échelle du troupeau, les choix de la taille et des critères de constitution des lots doivent être accompagnés d'un rationnement adapté pour que la maximisation des consommations de fourrages soit effective. Le mode de distribution doit assurer à l'animal des quantités et un accès suffisants à l'auge. Les complémentations en azote, minéraux et oligo-éléments doivent être étudiées avec soin car leur coût est souvent largement compensé par une meilleure utilisation du fourrage associé. Enfin, la maximisation de l'utilisation des fourrages peut aussi se raisonner plus globalement au niveau du système de production. L'augmentation de l'âge à l'abattage pour les animaux à viande ou la réduction maîtrisée du niveau de production pour des vaches laitières constituent par exemple des méthodes de conduite originales permettant d'accroître la part des fourrages dans les rations.

Dans tous les cas, les modèles de prévision de l'ingestion et des réponses zootechniques associées doivent être fiables et validés régulièrement par des mesures zootechniques précises. Les expérimentations sont à la base des évolutions des modèles de prédiction de l'ingestion qui permettent un rationnement efficace des animaux (INRA, 1989-95). En revanche, dans une optique de simulation et d'aide à la décision, des modèles plus mécanistes reflétant davantage les régulations physiologiques devraient permettre de mieux intégrer à terme la dynamique des adaptations de l'ingestion.

RÉFÉRENCES

- AGABRIEL J. D'HOOR P., PETIT M., 1987. *Reprod. Nutr. Develop.*, 7, 1B, 21-22.
- BAREILLE N., FAVERDIN P., HAY M., 1997. *J. Dairy Sci.*, 80, 52-66.
- BARRY T.N., 1976. *J. Agric. Sci., Camb.*, 86, 141-149.
- BARRY T.N., JOHNSTONE P.D., 1976. *J. Agric. Sci., Camb.*, 86, 163-169.
- BAUMAN D.E., CURRIE W.B., 1980. *J. Dairy Sci.*, 63, 1514-1529.
- BAUMONT R., 1996. *INRA Prod. Anim.* 9(5), 349-358.
- BINES J.A., SUZUKI S., BALCH C.C., 1969. *Br. J. Nutr.*, 23, 695-704.
- BISHOP S.C. 1992. *Lives. Prod. Sci.*, 30, 1-18.
- BLAXTER KL, FOWLER VR, GILL JC (1982) *J Agric Sci Camb* 98, 405-420
- BOCQUIER F., GUILLOUET P., BARILLET F., 1995. *INRA Prod Anim.*, 8 (1), 19-28.
- BOCQUIER F., LIGIOS S., MOLLEG., CASU S., 1997.. *Ann. Zootech.* (à paraître).
- BOCQUIER F., THÉRIEZ M., BRELURUT A., 1987a *Anim. Prod.*, 44 : 387-394.
- BOCQUIER F., THÉRIEZ M., BRELURUT A., 1987b *Bull. Tech. CRZV-Theix, INRA*, 70 : 199-211.
- CAMPFIELD L.A., SMITH F.J., GUISEZ Y., DEVOS R., BURN P., 1995. *Science*, 269, 546-549.
- CAMPLING R.C., MORGAN C.A., 1981. *Dairy Sci. Abs.*, 43, 57-63.
- CHENAIS F., BAZIN S., COTTO G., LAGRANGE C., LAURENT F., LEGARTO J., MARTIAL J.P., MOREL D'ARLEUX F., PFLIMLIN A., 1988. *Essais I.T.E.B. et applications en élevage. I.T.E.B. Paris*. 101 pp.
- DELABY L., PEYRAUD J.L., VERITE R., 1995. *Renc. Rech. Ruminants*, 2, 349-345
- D'HOOR P., COULON J.B., GAREL J.P. 1991, *Ann. Zootech.*, 40, 171-179
- DULPHY J.P., FAVERDIN P., 1987. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 27, 129-155.
- DULPHY J.P., FAVERDIN P., MICOL D, BOCQUIER F., 1987. *Bull. Tech. C.R.Z.V., Theix, INRA*, 70 ; 35-48.
- DULPHY J.P., ROUEL J., BONY J., ANDRIEU J.P., 1994. *Ann. Zootech.*, 43, 113-123.
- DYER C.J., SIMMONS J.M., MATTERI R.L., KEISLER D.H., 1997. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 14, 119-128.
- EGAN A.R., 1965. *Aust. J. Agric. Res.*, 16, 169-177.
- FAVERDIN P., HODEN A., COULON J.B., 1987. *Bulletin Technique C. R. V. Z. Theix*, 70, 133-152.
- FAVERDIN P., RICHOU B., PEYRAUD J.L., 1992. *Ann. Zootech.*, 41, 93
- FAVERDIN P., BAUMONT R., INGVARTSEN K.L., 1995. In *Proceedings of the Ivth International Symposium on the Nutrition of Herbivores (M. Journet E. Grenet MH Farce Eds.) INRA Paris* 95-120.
- FERRER CAZCARRA R. 1995 Thèse ENSA Rennes 128 pp
- FORBES J.M., 1980. *Appetite*, 1, 21-41.
- FORBES J.M., 1986. IN MILLIGAN L.P., GROVUM W.L., DOBSON A. (EDITORS), *Control of digestion and metabolism in ruminants*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 420-435.
- FORBES J.M., 1995. *Voluntary food intake and diet selection in farm animals*. CAB International, Oxon, England. 532 pp.
- GARNSWORTHY P.C., 1989. IN HARESIGN W., COLE D.J.A. (EDITORS), *Recent advances in animal nutrition 1989*. Butterworths, London. 157-170.
- GEAY Y. MICOL D., ROBELIN J., BERGE P., MAL-TERRE C. 1987.. *Bulletin Technique C. R. V. Z. Theix*, 70, 173-
- GEAY Y., 1982. *Bull Tech. CRZV Theix* 48, 21-26
- GEERS R., 1994. *Computers and Electronics in Agriculture* 10 : 1-9.
- GROVUM W.L., 1995. IN ENGELHARDT W.V., LEONHARD-MAREK S., BREVES G., GIESECKE D. (EDITORS), *Ruminant physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction: Proceedings of the eighth international symposium on ruminant physiology*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. 173-197.
- GUEGUEN L., LAMAND M., MESCHY F., 1988. IN INRA PUBLICATIONS (EDITOR), *Alimentation des bovins ovins et caprins*. INRA, Paris. 95-111.
- HANSET R., MICHAUX C., STASSE A., 1987 *Génét. Sel. Evol.* 19 (2), 225-248
- HARB M.Y., REYNOLDS V.S., CAMPLING R.C., 1985.. *Grass Forage Sci.* 40 : 113-118.
- HARPER A.E., PETERS J.C., 1989. *J. Nutr.*, 119, 677-689.
- HODEN A., GIGER S., 1984. *Bull. Tech. C. R. Z. V. Theix, I. N. R. A.*, 57, 45-50.
- HOLTER J.B., URBAN W.E., HAYES H.H., DAVIS H.A., 1977. *J. Dairy Sci.*, 60, 1288-1293.
- HOOVEN N.W., MILLER R.H., SMITH J.W., 1972. *J. Dairy Sci.* 55, 1113-1122.
- INGRAND ET AGABRIEL 1997 *Anim Sci à paraître*
- INGVARTSEN K.L., ANDERSEN, 1993. *Acta Agric. Scand. Sect. A. Animal Sci.* 43,65-80
- INGVARTSEN K.L., DANFOER A., ANDERSEN P.H. & FOLDAGER J., 1995. ANONYMOUS Prague, République Tchèque.
- INRA (1988). *Alimentation des bovins ovins et caprins (R. JARRIGE Ed)- INRA, Paris*, 471p
- JARRIGE R., DEMARQUILLY C., DULPHY J.P., HODEN A., ROBELIN J., BERANGER C., GEAY Y., JOURNET M., MALTERRE C., MICOL D., PETIT M., 1979. *Bulletin Technique C. R. V. Z. Theix*, 38, 57-79.
- JARRIGE R., DULPHY J.P., FAVERDIN P., BAUMONT R., DEMARQUILLY C., 1995. IN JARRIGE R., RUCKEBUSH Y., DEMARQUILLY C., FARCE M.H., JOURNET M. (EDITORS), *Nutrition des ruminants domestiques - ingestion et digestion*. INRA Editions, 123-181.
- JOHNSON W.L., TRIMBERGER G.W., WRIGHT M.J. VAN VLECK L.D., HENDERSON C.R., 1966. *J. Dairy Sci* 49, 856-864
- JOURNET M., POUTOUS M., CALOMITI S., 1965. *Ann. Zootech.*, 14, 5-37.
- JOURNET M., REMOND B., 1976. *Livest. Prod. Sci.*, 3, 129-146.
- JOURNET M., FAVERDIN P., REMOND B., VERITE R., 1983. *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA.*, 51, 7-17.
- KAY RNB (1979) *ARC Res Rev* 5, 13-15

- KENNEDY P.M. 1995. In Proceedings of the 14th International Symposium on the Nutrition of Herbivores (M. Journet E. Grenet MH Farce Eds.) INRA Paris 309-328
- KORVER S., VAN EAKELLEN E.A.M., VOS H., NIEUWHOF G.J., VAN ARENDONCK J.A.M., 1991. *Livest. Prod. Sci.* 20,1-13
- KORVER S., VOS H., 1986. XI Genetics of reproduction, lactation growth. Lincoln Nebraska, 285-290.
- LANGHANS W., ROSSI R., SCHARRER E., 1995. IN ENGELHARDT W.V., LEONHARD-MAREK S., BREVES G., GIESECKE D. (Eds.): Proceedings of the 8th Int. Symp. on ruminant physiology. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. 199-216.
- LARKIN J.C., FOSGATE O.T., 1970. *J. Dairy Sci.*, 53, 561-565.
- LE MAGNEN J., 1985. *Hunger*. Cambridge University Press, Cambridge. 157 pp.
- MANTZOROS C.S., QU D., FREDERICH R.C., SUSULIC V.S., LOWELL B.B., MARATOS-FLIER E., FLIER J.S., 1996. *Diabetes*, 45, 909-914.
- MENISSIER F., RENAND G., COLLEAU J.J., GAILLARD J., 1986. In *Production de Viande Bovine* (D. Micol Ed) INRA Paris 101-146
- MICHALET-DOREAU B., GATEL F (1983). *Ann Zootech* 32, 459-464
- MILNE JA, MAC RAE JC, SPENCE AM, WILSON S (1978) *Br J Nutr* 40, 347-356
- NOCEK J.E., ENGLISH J.E., 1986. *J. Dairy Sci.*, 69, 77-87.
- PARDUE F.E., FOSGATE O.T., O'DELL G.D., BRANSON C.C., 1975. *J. Dairy Sci.*, 58, 901-906.
- PECSOK S.R., MCGUILLIARD M.L., JAMES R.E., JOHNSON T.G., HOLTER J.B., 1992. *J. Dairy Sci.*, 75 : 1604-1615.
- PERSAUD P., SIMM G., 1991. *Anim. Prod.* 52, 445-450.
- PETIT M. 1978. In «Alimentation des ruminants» Chap. 13 R.Jarrige Ed, 377-402
- PETIT M., D'HOUR P., GAREL J.P., 1995. *Renc. Rech. Ruminants*, 2, 45-54.
- PETIT M.; GAREL J.P.; GRENET N. 1987. In: Demarquilly Ed. *Les fourrages secs : récolte traitement, utilisation*, INRA Paris .361-389
- PETIT M. 1988. In «Alimentation des bovins ovins caprins » (R. Jarrige Ed.), INRA 159-184.
- PETITCLERC D, CHAPIN LT, EMERY RS, TUCKER HA, 1983. *J Anim Sci* 57, 892-
- PEYRAUD J.L., DELAGARDE R., DELABY L., 1995. *Renc. Rech. Ruminants*, 2, 37-44.
- PHIPPS R.H., BINES J.A., FULFORD R.J., WELLER R.F., 1984. *J. Agric. Sci., Camb.*, 103, 171-180.
- POMP D., ZOU T., CLUTTER A.C., BARENDSE W., 1997. *J. Anim. Sci.*, 75, 1427
- PROVENZA, F.D., 1995. *J. Range Manage.* 48, 2-17.
- ROSELER D.K., FOX D.G., PELL A.N., CHASE L.E., 1997. *J. Dairy. Sci.*, 80, 864-877.
- SVENDSEN M., SKIPENES P., MAO I.L., 1987. *Proc 4th World congress on Genetics Applied to Livestock production* Edinburg, 14,147-150.
- TAYLOR C.S., MOORE A.J., THIESSEN R.B., 1986. *Anim. Prod.*, 42, 11-18.
- TROCCON J.L, BERGE P., AGABRIEL J., 1988, In *Alimentation des Bovins Ovins Caprins* (R. Jarrige Ed.) INRA 201-212
- VACARESSE C. 1992. *Syndicat des Eleveurs de Brebis Laitières, Confédération de Rocquefort*, 13 ; 4-5.
- VAN ARENDONCK J.A.M., NIEUWHOF G.J., VOS H., KORVER S., 1991. *Livest. Prod. Sci.*, 29, 263-275.
- VON BRANDT A., PAPST K., SCHULTE H., GRAVERT H.O., 1985. *Zuchtungskunde*, 57(5), 299-308.
- WILK J.C., RAKES A.H., DAVENPORT D.G., PARSONS G.S., WELLS R.C., 1978. *J. Dairy Sci.*, 61, 1429-1434.
- ZEMMELINK G., 1980. *Landbouwhogeschool, Wageningen*, 1-100.