

Outils et indicateurs pour calculer et concilier

ingestion des vaches laitières

et valorisation de l'herbe au pâturage

R. Delagarde

INRA, Agrocampus Ouest, UMR1080, Production du Lait, F-35590 Saint-Gilles ; remy.delagarde@rennes.inra.fr

Résumé

L'ingestion d'une herbe pâturée dépend comme à l'auge de sa valeur alimentaire mais également des conditions de pâturage définies par l'éleveur (quantité d'herbe offerte, temps de séjour, hauteur en sortie de parcelle en proportion de la hauteur en entrée de parcelle). Ces conditions de pâturage définissent l'équilibre entre performances individuelles et valorisation de l'herbe à l'hectare, deux objectifs à atteindre simultanément bien qu'antagonistes. Cet article fait le point sur les deux outils INRA permettant d'estimer l'ingestion d'herbe chez les vaches laitières au pâturage, par animal et par hectare : le logiciel INRAtion et les Tables INRA 2007. Il rappelle les gammes possibles de variation de l'ingestion au pâturage selon les caractéristiques des vaches, de l'herbe et de la gestion du pâturage, avec les conséquences en termes de production laitière et de stratégie de complémentation. Il fournit également, à partir de simulations, des repères pratiques de gestion du pâturage à la parcelle permettant de définir des limites « tolérables » assurant à la fois performances individuelles et valorisation de l'herbe par hectare. Ce travail montre qu'une gestion du pâturage qui maximise l'ingestion par vache conduit à sous-valoriser énormément l'herbe produite au pâturage. Plus précisément, les simulations montrent que, en induisant par une gestion plus sévère du pâturage une sous-alimentation du troupeau de l'ordre de 10%, le taux de valorisation de l'herbe par hectare augmente de 20% par rapport à une gestion qui maximise l'ingestion par vache. A l'échelle d'une saison de pâturage (5 cycles, 150 jours), cela revient à perdre 200-300 kg lait par vache et à valoriser environ 2 t MS d'herbe en plus par hectare. Les outils INRA permettent aujourd'hui de quantifier l'effet des décisions de l'éleveur sur la consommation d'herbe par les vaches laitières, leurs performances individuelles, et la valorisation de l'herbe tout au long de la saison de pâturage.

Introduction

La valeur alimentaire d'un fourrage est classiquement définie comme le produit de sa valeur nutritive (UFL, PDI) par la quantité volontairement ingérée de ce fourrage distribué à volonté (BAUMONT *et al.*, ce volume). A l'auge, la quantité ingérée ne dépend que des caractéristiques de la ration et de celles de l'animal à qui elle est distribuée. Au pâturage, la quantité ingérée de l'herbe pâturée dépend des mêmes facteurs mais également des pratiques de l'éleveur en termes de gestion du pâturage, comme la pression de pâturage, qui définit la disponibilité en herbe, la profondeur de défoliation du couvert végétal et finalement la capacité des vaches à couvrir chaque jour leur capacité d'ingestion. En théorie, toute pratique qui tend à augmenter l'ingestion par vache au pâturage tend à augmenter la valeur alimentaire de l'herbe pâturée. En pratique, il est aussi important bien valoriser l'herbe produite, c'est-à-dire d'assurer une ingestion d'herbe par hectare élevée, ce qui est souvent antagoniste avec une ingestion par vache élevée. Ceci est d'autant plus important que l'herbe pâturée présente un coût alimentaire beaucoup plus faible que les fourrages conservés et qu'elle présente, au moins pour les prairies d'association graminées - légumineuses, un bon équilibre nutritionnel entre énergie, azote et minéraux, ne nécessitant pas forcément de complémentation et permettant une forte autonomie alimentaire. Il est de plus admis que le revenu en système laitier basé sur le pâturage est beaucoup plus dépendant de la production par hectare que de la production par vache (DILLON *et al.*, 2005).

La difficulté du pâturage est donc d'assurer à la fois une bonne alimentation du troupeau et une bonne valorisation de l'herbe à l'hectare. L'objectif de ce travail est d'abord de faire le point sur les outils INRA permettant d'estimer l'ingestion des vaches laitières au pâturage (Chapitre 1). Il s'agit aussi de rappeler, à partir de simulations, les gammes possibles de variation de l'ingestion et de la production laitière au pâturage (Chapitre 2). Il s'agit enfin d'établir des relations ou des « équivalences » entre les pratiques (hauteurs repères, temps de séjour), l'ingestion d'herbe par vache (en lien avec les performances) et l'ingestion d'herbe par hectare (en lien avec la valorisation de l'herbe), pour établir les limites « tolérables » des pratiques assurant à la fois performances individuelles et valorisation de l'herbe par hectare (Chapitre 3).

1. Les outils de prévision de l'ingestion des vaches laitières au pâturage

Deux outils INRA sont aujourd'hui disponibles pour prévoir l'ingestion des vaches au pâturage : INRAtion 4.03, logiciel de rationnement des ruminants domestiques (www.inration.educagri.fr) et les Tables de l'alimentation des bovins, ovins et caprins (INRA, 2007).

1.1. INRAtion 4.03

Dans le logiciel INRAtion, l'ingestion au pâturage est calculée à partir d'un modèle de prévision de l'ingestion basé sur le système INRA des Unités d'Encombrement et adapté au pâturage (DELAGARDE *et al.*, 2004). Les systèmes de pâturage rationné ou tournant d'une part, et continu d'autre part, sont considérés séparément car les critères de disponibilité en herbe sont différents selon ces systèmes (DELAGARDE *et al.*, 2001b). L'ingestion d'herbe est calculée en deux étapes. Elle est d'abord calculée « à l'auge », comme si l'herbe était fauchée et distribuée à volonté, en prenant en compte la capacité d'ingestion des vaches, l'ingestibilité de l'herbe et la substitution herbe/concentrés, comme en régime hivernal (FAVERDIN *et al.*, 2007). Elle est ensuite calculée au pâturage, en proportion de l'ingestion volontaire à l'auge, en prenant en compte deux contraintes supplémentaires spécifiques du pâturage et liées aux pratiques de l'éleveur, à savoir la disponibilité en herbe et la disponibilité en temps. La disponibilité en herbe est définie en pâturage continu par la hauteur d'herbe et en pâturage tournant par la quantité d'herbe offerte par animal et par jour au dessus de 2 cm du sol. Ce critère synthétique permet de prendre en compte les effets connus de la quantité d'herbe offerte et de la biomasse sur l'ingestion (DELAGARDE *et al.*, 2001b et 2004). Il est recalculé dans INRAtion à partir de la biomasse estimée à 0, 1, 2, 3, 4 ou 5 cm du sol, du temps de séjour et de la taille du troupeau dans le cas du pâturage tournant, ou directement à partir de la biomasse et de la surface offerte par vache et par jour dans le cas du pâturage rationné. La disponibilité en temps est définie par le temps d'accès journalier des vaches à la parcelle, quel que soit le système de pâturage. Les relations établies entre ingestion, disponibilité en herbe et disponibilité en temps au pâturage, ainsi qu'une description plus complète du modèle et sa validation à partir d'un important jeu de données indépendantes, ont été présentées par DELAGARDE *et al.* (2004) et DELAGARDE et O'DONOVAN (2005).

Le modèle permet donc d'estimer, de façon statique, l'ingestion des vaches et les apports nutritifs permis au pâturage quelles que soient les caractéristiques du troupeau, de l'herbe, des compléments et des conditions de pâturage. La connaissance de l'ingestion par vache et du temps de séjour ou de la surface offerte permettent de calculer directement la quantité d'herbe ingérée par hectare, donc la valorisation de l'herbe. De plus, la biomasse résiduelle est calculée par différence entre la biomasse initiale et la biomasse consommée, puis convertie en hauteur en sortie de parcelle à partir d'une équation générale issue d'une synthèse des résultats expérimentaux de l'INRA UMR Production du Lait (DELAGARDE *et al.*, 2006). Dans INRAtion, il est aussi possible de fixer un objectif de hauteur en sortie de parcelle connaissant la biomasse ou la hauteur en entrée de parcelle, le logiciel calculant alors pas à pas le temps de séjour ou la surface à offrir pour atteindre cet objectif (Annexe 1a). Après le calcul de ration au pâturage, INRAtion propose une fenêtre d'analyse du pâturage, permettant de faire le lien entre ingestion par vache et valorisation de l'herbe à l'hectare (Annexe 1b). Il est ainsi possible de tester

ANNEXE 1 – Illustrations du calcul par simulation avec le logiciel INRAtion 4.03 des quantités ingérées par des vaches laitières au pâturage.

a) Onglet « Pâturage » pour les systèmes de pâturage tournant et rationné

The image shows two side-by-side screenshots of the 'Ration 'Comparables' de la base 'RATIONS UTILISATEUR'' software interface, specifically the 'Pâturage' tab. The left screenshot shows the 'Rationné' (rationed) system, and the right screenshot shows the 'Continu' (continuous) system. Both screens have a 'Temps d'accès journalier à la pâture' of 20. The 'Rationné' system has an 'Entrée de parcelle' with Biomasse at 2000, Hauteur d'herbe herbo. at 12.0, Au dessus de at 5, and Densité > à 4-5 cm at 250. It also has Nb vaches troupeau at 50 and Surface parcelle at 10 000. The 'Sortie de parcelle' has Temps de séjour at 2.0 and Hauteur d'herbe herbo. at 6.0. The 'Continu' system has the same 'Entrée de parcelle' parameters. Its 'Sortie de parcelle' has Surface/vache/jour at 80 and Hauteur d'herbe at 5.0. Both screens have a 'Croissance journalière de la prairie' of 0.

b) Fenêtre « Analyse du pâturage » après un calcul de ration pour vache laitière au pâturage

The image shows a screenshot of the 'Analyse pâturage pour la ration 'Comparables' (1/2) de la base 'RATIONS UTILISATEUR'' window. The 'Système' is set to 'Rationné'. The 'Résultat de la simulation' section states: 'Le troupeau ingère en moyenne 14.9 kg MS d'herbe pâturée par vache et par jour, soit 89 % de la quantité qu'il ingérerait si l'herbe était fauchée et distribuée à volonté à l'auge (à même apport de compléments). La production laitière par vache est légèrement limitée par les conditions de pâturage, sauf en cas d'apport de concentré.' The 'Herbe' section shows: Surface par vache et par jour (m²) at 70, Quantité offerte (kg MS par vache / jour) au dessus de 5 cm at 14.0, Hauteur sortie / Hauteur entrée at 0.42, Taux de valorisation de l'herbe au-dessus de 5 cm at 107, Herbe consommée par hectare (kg MS) at 2135, and Taux de valorisation de l'herbe au ras du sol at 48. The 'Gestion du pâturage' section states: 'La gestion du pâturage est « sévère ». L'herbe produite est très bien valorisée et le nombre de jours de pâturage par hectare élevé. Dans ces conditions, au printemps, la maîtrise de l'épiaison est facile.' The 'Lois de réponse aux conditions de pâturage' section contains a table:

Hauteur de l'herbe en sortie de parcelle (cm)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
Herbe ingérée (kg MS / vache)	11.2	12.6	13.8	14.9	15.9	16.7	17.3
Taux couverture besoins UF / objectif de production (%)	51	57	63	68	72	75	78
Surface par vache et par jour (m²)	39	48	58	70	84	102	124

A 'Fermer' button is located at the bottom right of the window.

grâce au logiciel une très large gamme de pratiques sur l'ingestion par vache et par hectare soit à partir d'un raisonnement sur les biomasses/surfaces, soit à partir des hauteurs en entrée/sortie de parcelle.

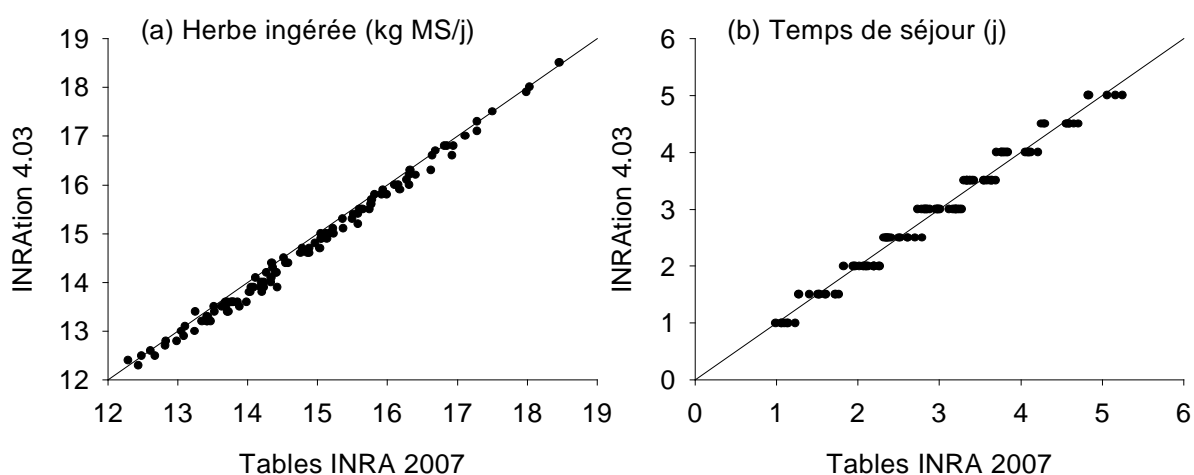
1.2. Tables INRA 2007

Le modèle complet de prévision de l'ingestion d'INRAtion fait appel à de nombreux algorithmes et équations, et n'est pas utilisable sans le logiciel. Dans les tables INRA 2007, une approche empirique mais robuste a donc été développée à partir du modèle complet (DELAGARDE *et al.*, 2006 ; FAVERDIN *et al.*, 2007). Elle permet de calculer rapidement sous tableur l'ingestion des vaches laitières au pâturage à partir d'une description simple du troupeau (nombre de vaches, capacité d'ingestion et production laitière potentielle moyennes), de la parcelle (surface et valeur nutritive de l'herbe), de la complémentation (nature, quantité ingérée et valeur nutritive de chaque complément), de la hauteur mesurée à l'herbomètre en entrée de parcelle, et de l'objectif de hauteur mesurée à l'herbomètre en sortie de parcelle (pâturage rationné ou tournant). En pâturage continu, les conditions de pâturage ne sont définies que par la hauteur d'herbe. Quel que soit le système de pâturage, l'ingestion d'herbe est calculée en plusieurs étapes, de une à trois selon la complémentation distribuée (DELAGARDE *et al.*, 2006). L'étape 1 consiste à calculer l'herbe ingérée sans apport de complément. Lorsque des compléments sont distribués (fourrages complémentaires et/ou concentrés), les étapes 2 et 3 consistent à calculer successivement les taux de substitution herbe/fourrage et herbe/concentré, permettant de calculer la quantité d'herbe ingérée, et finalement les apports énergétiques totaux des vaches laitières au pâturage, quelle que soit la stratégie de complémentation et de gestion du pâturage.

Une équation supplémentaire permet de calculer le temps de séjour (en pâturage tournant) ou la surface (en pâturage rationné) nécessaires pour atteindre la hauteur objectif en sortie de parcelle. L'ingestion par hectare et le taux de valorisation de l'herbe peuvent donc aussi être estimés facilement en rapportant l'ingestion par vache à la surface pâturée.

Dans ce système d'équations, la précision des calculs reste évidemment dépendante de la capacité de l'herbomètre à estimer la biomasse. La densité du couvert a été fixée par défaut à 250 kg MS/ha/cm, alors qu'elle peut varier en pratique de 150 à 500 kg MS/ha/cm notamment selon les saisons, la vitesse de croissance et la teneur en MS de l'herbe, qui modifient la résistance du couvert végétal au plateau de l'herbomètre. Ce système d'équations constitue donc principalement un outil de réflexion autour de la gestion du pâturage et de ses conséquences sur l'ingestion d'herbe par vache et par hectare, les comparaisons en valeurs relatives restant tout à fait robustes même quand les valeurs absolues sont discutables. Ce système d'équations ne permet pas d'intégrer l'effet du temps d'accès journalier sur l'ingestion d'herbe. Pour des calculs plus précis et plus complets, notamment lorsque la biomasse est connue, l'utilisation du logiciel INRAtion est nécessaire et recommandée.

FIGURE 1 – Comparaison entre les prévisions Tables INRA 2007 et INRAtion 4.03 pour (a) l'ingestion d'herbe et (b) le temps de séjour.



1.3. Comparaison des deux modèles

L'approche empirique n'est intéressante que dans la mesure où les prévisions sont proches de celles d'INRA. Pour tester la précision de l'approche empirique, une série de simulations a été réalisée avec un troupeau de 50 vaches de caractéristiques moyennes (capacité d'ingestion 17 UEL, poids vif 600 kg, production laitière potentielle 25 kg lait), pâturant une parcelle de 1 ha (soit 20 ares/vache). Nous avons simulé les effets croisés de trois types de prairie (environ 0,8, 0,9 et 1,0 de densité énergétique UFL/UEL), de douze combinaisons de hauteurs en sortie/entrée de parcelle (3,5, 4,0 et 4,5 cm, puis 4,5, 5,0, 5,5 et 6,0 cm, puis 5,5, 6,0, 6,5, 7,0 et 7,5 cm de hauteur en sortie pour 8, 12 et 16 cm de hauteur en entrée, respectivement), et de trois complémentations en concentré (0, 3 et 6 kg MS), soit un total de 108 situations de pâturage et de complémentation très contrastées. La Figure 1 montre bien la robustesse du système d'équations des Tables INRA 2007 dans cette très large gamme de pratiques, à la fois pour la prévision de l'ingestion d'herbe par vache (erreur moyenne de prévision = 0,17 kg MS/j, soit 1,5%) et pour la prévision du temps de séjour nécessaire pour atteindre la hauteur objectif en sortie de parcelle (erreur moyenne de prévision = 0,2 jours, soit 4,2%).

2. Gamme de variation de l'ingestion et des performances des vaches au pâturage

L'objectif de ce chapitre est de montrer, à partir de quelques simulations choisies, les amplitudes de variation de l'ingestion et de production attendue des vaches au pâturage selon le type de vaches, la qualité de la prairie et les pratiques de gestion du pâturage. Il s'agit notamment d'apporter des repères clés sur la correspondance entre pratiques, ingestion par vache et ingestion par hectare.

2.1. Effet du type de vaches dans le troupeau

L'effet de la parité (primipares vs multipares) et du stade de lactation (2 vs 9 mois) au sein d'un troupeau laitier au pâturage ont été simulés (Tableau 1). Les primipares vêlent à 24 mois et ont une production potentielle au pic de 28 kg (Production Laitière, PL 305 j de 7 000 kg). Les multipares sont en 3^e lactation avec un pic de production potentielle à 41 kg de lait (PL 305 j de 9 000 kg). Les simulations montrent, en condition de pâturage « moyennement sévère », **un écart d'ingestion de 4-5 kg MS entre vaches extrêmes du troupeau**, et des apports UFL beaucoup plus faibles que les besoins UFL, même en fin de lactation.

TABLEAU 1 – Variation d'ingestion et de performances selon les vaches (parité et stade de lactation) **dans un troupeau non complétement au pâturage**. Caractéristiques de la prairie : 1,0 UEL et 0,9 UFL/kg MS ; hauteur en entrée : 12 cm, hauteur en sortie : 5,5 cm.

Type vache	Stade lact. (mois)	PV (kg)	Plpot. (kg)	Besoins UFL	DER min	Herbe ingérée (kg MS)	Apports UFL	PL attendue (kg)	Conc. pour couvrir Plpot.
Primipare	2	550	28	19,2	1,40	13,2	11,8	17,0	11,0
Primipare	9	600	21	16,4	1,00	15,3	13,6	16,1	4,9
Multipare	2	650	39	23,6	1,25	17,7	15,7	28,0	11,0
Multipare	9	670	23	17,2	0,95	17,6	15,6	20,3	2,7

L'inadéquation entre apports et besoins UFL provient d'abord d'une densité énergétique de ration (DER = UFL/UEL) inférieure à celle nécessaire pour couvrir les besoins (DER_m, AGABRIEL *et al.*, 2007), mais aussi à la sévérité du pâturage qui limite l'ingestion d'herbe par rapport à l'ingestion volontaire potentielle. Avec INRA et les équations des Tables INRA, la quantité de concentré à apporter pour couvrir les besoins théoriques dans cette situation de pâturage peut être estimée (dernière colonne du Tableau 1). En admettant une réponse moyenne de la production laitière de 1 kg lait/kg MS de concentré apporté dans une très large gamme de pratiques et de caractéristiques des vaches (DELABY *et al.*, 2003), la production laitière attendue peut ainsi être estimée (PL potentielle – quantité de concentré permettant de couvrir les besoins). Une telle approche « simpliste mais réaliste » permet

d'estimer l'écart entre production potentielle et production attendue au pâturage pour un troupeau mais aussi individuellement pour les différentes vaches du troupeau. Les écarts simulés ici sont proches de ceux mesurés expérimentalement dans différents troupeaux INRA (DELABY *et al.*, 2003). Ces calculs montrent également que **couvrir les besoins énergétiques de chaque vache du troupeau ne peut constituer un objectif raisonnable** car il conduirait à des apports de concentrés énormes pour les vaches dont les productions potentielles sont les plus élevées (jusqu'à 10-11 kg MS concentré, Tableau 1), incompatibles avec une maîtrise du coût alimentaire et avec les problèmes sanitaires et de santé pouvant être associés à de telles doses.

2.2. Effet de la valeur alimentaire de l'herbe

Le Tableau 2 montre l'effet de la valeur alimentaire de l'herbe sur l'amplitude d'ingestion et de production attendue d'un troupeau de vaches de bon potentiel non complémenté au pâturage. La valeur alimentaire de l'herbe est ici définie de façon synthétique par sa densité énergétique (DE = UFL/UEL), très dépendante de sa digestibilité (BAUMONT *et al.*, 2009, ce volume). La gamme de densité énergétique étudiée est celle qui existe en pratique à l'échelle d'une saison de pâturage incluant un grand nombre de type de prairies (permanentes ou temporaires, graminées pures ou associations). **Des densités énergétiques de 1,1, 1,0, 0,9 et 0,8 UFL/UEL sont représentatives de prairies de qualité excellente, bonne, moyenne et faible, respectivement.** Des densités énergétiques encore plus faibles (0,7 voire 0,6) peuvent cependant être rencontrées, notamment en été avec de fortes chaleurs et des prairies en sénescence, en automne avec des prairies comportant une forte proportion de matériel mort, ou sous climat tropical. La teneur en PDI de l'herbe n'est pas ici considérée comme limitante, même pour des âges de repousse et des stades de maturité avancés. En effet, s'il n'est pas rare d'observer dans ces situations des faibles teneurs en PDI/kg MS, en revanche il est rare d'observer des teneurs en PDI inférieures à 95-100 g PDI/UFL, qui est le critère pertinent pour juger de la valeur azotée d'un régime pour vaches laitières.

TABLEAU 2 – Effet de la densité énergétique (UFL/UEL) de l'herbe offerte sur l'ingestion d'herbe, les apports UFL et la production de lait attendue pour un troupeau de vaches laitières non complémenté au pâturage. Caractéristiques du troupeau : CI : 18 UEL, poids vif : 600 kg, Plpot. : 30 kg, besoins UFL : 19,4 UFL. Caractéristiques du pâturage : Hauteur en entrée : 12 cm, hauteur en sortie : 5,5 cm.

Exemple type prairie	Digestibilité MO	UEL /kg MS	UFL /kg MS	DE (UFL/UEL)	Herbe ingérée (kg MS)	Apports UFL	PL attendue (kg)	Conc. pour couvrir PLpot.
Déprimage	0,81	0,90	1,00	1,1	19,0	18,6	28,5	1,5
RGA-TB	0,78	0,95	0,95	1,0	18,0	16,8	25,5	4,5
PP – 3° cycle	0,75	1,00	0,90	0,9	17,1	15,2	23,0	7,0
Graminées âgées	0,72	1,05	0,85	0,8	16,3	13,4	21,0	9,0

D'après le Tableau 2, pour un même troupeau et dans des conditions de pâturage identiques, la gamme possible de valeur alimentaire des prairies entraîne des écarts d'ingestion de 3-4 kg MS et des écarts de production de 7-8 kg de lait par jour. Globalement, l'ingestion d'herbe diminue en moyenne de 1 kg MS par vache et par jour pour une diminution de 0,1 de la densité énergétique. L'effet est plus grand sur la production laitière en raison de l'effet multiplicatif de la dMO sur l'ingestibilité et la digestibilité, donc sur les apports UFL. En moyenne, **perdre 1 point de dMO sur l'herbe offerte (âge de repousse, saison, variété) entraîne une diminution de production de 1 kg de lait par vache et par jour.** La digestibilité de l'herbe étant aussi inversement proportionnelle à la température moyenne pendant la repousse (- 0,6 point dMO/°C), ces simulations permettent aussi de comprendre pourquoi les performances individuelles au pâturage sont plus faibles en période estivale qu'au printemps et en automne, et plus élevées dans les régions septentrionales fraîches et arrosées que dans les régions plus méridionales. Il est ainsi plus facile au nord qu'au sud d'être économe en concentrés... En effet, **pour un objectif de production donné par vache, la quantité de concentré à apporter est très dépendante de la qualité de l'herbe** (1 à 9 kg MS dans le Tableau 2).

2.3. Effet de la gestion du pâturage par l'éleveur

La quantité d'herbe offerte aux vaches résulte des décisions de l'éleveur comme la surface offerte ou le temps de séjour par parcelle, mais n'est pas un critère de gestion possible en pratique en raison de la difficulté à l'estimer. La hauteur en sortie relative, c'est-à-dire exprimée en proportion de la hauteur en entrée, est un très bon estimateur de la quantité d'herbe offerte et de l'ingestion (DELAGARDE *et al.*, 2001a). Les effets respectifs de la hauteur en entrée et en sortie de parcelle sur l'ingestion par vache ont déjà été décrits sous forme graphique par DELAGARDE *et al.* (2006) et sous forme de tableau par FAVERDIN *et al.* (2007). A l'échelle d'une saison de pâturage, la hauteur en entrée de parcelle varie essentiellement avec la saison (croissance) et la vitesse de rotation sur les parcelles (âge de repousse). La hauteur en sortie de parcelle résulte, pour un troupeau et une parcelle donnée, du temps de séjour sur la parcelle, donc de la quantité d'herbe offerte moyenne et de la pression de pâturage imposée par l'éleveur. Le Tableau 3 simule différentes sévérités de pâturage dans le cas de 2 hauteurs en entrée de parcelle, pour illustrer le lien entre pratiques (temps de séjour, hauteur en sortie), ingestion et performances individuelles, mais aussi ingestion et valorisation de l'herbe à l'hectare.

TABLEAU 3 – Effet de la sévérité de pâturage (hauteur en sortie pour une hauteur en entrée donnée) **sur l'ingestion d'herbe et la production attendue d'un troupeau de vaches laitières au pâturage.**

Caractéristiques du troupeau : 50 VL, CI : 17 UEL, poids vif : 600 kg, PLpot : 25 kg.

Caractéristiques de la parcelle : 1 ha, 1,0 UEL et 0,9 UFL/kg MS.

Hauteur en entrée (cm)	Hauteur en sortie (cm)	Herbe ingérée kg MS	PL attendue (kg)	Conc. pour couvrir Plpot.	Temps séjour (j)	Surface offerte (m ²)	Herbe ingérée (kg MS/ha)
10	4	14,0	19,1	5,9	2,8	72	1930
10	4,5	15,4	20,3	4,7	2,2	92	1680
10	5	16,5	21,5	3,5	1,7	116	1420
16	5	13,5	18,8	6,2	5,2	38	3550
16	6	15,1	20,1	4,9	4,1	49	3070
16	7	16,3	21,3	3,7	3,2	63	2590

Pour une hauteur en entrée de 10 cm, réduire la hauteur en sortie de parcelle de 1 cm, c'est perdre environ 2,5 kg MS d'herbe ingérée et 2,5 kg de lait par vache et par jour, ce qui est obtenu en augmentant le temps de séjour de 65%, soit une réduction de 38% de la surface offerte par jour. Pour une hauteur en entrée de 16 cm, réduire la hauteur en sortie de parcelle de 1 cm, c'est perdre environ 1,3 kg MS d'herbe ingérée et 1,3 kg de lait par vache et par jour, ce qui est obtenu en augmentant le temps de séjour de 28% ou en réduisant la surface offerte chaque jour de 22%. Dans les deux cas, **réduire la hauteur en sortie de 1 cm conduit à valoriser 500 kg MS d'herbe/ha supplémentaires**, c'est-à-dire que la densité marginale du dernier centimètre consommé est double de la densité mesurée sur l'herbe avant pâturage. Sur 4 cycles de pâturage de 30 jours, c'est donc valoriser 2 t MS/ha de plus pour une perte d'ingestion de MS ou de production laitière de seulement 200 à 300 kg/vache soit un rapport proche de 1 à 8 (**+ 1 000 kg MS d'herbe valorisée/ha = - 100 à 150 kg MS ingérée par vache**). Ces chiffres sont totalement cohérents avec les résultats des études sur le chargement réalisées à long terme. En effet, selon une synthèse bibliographique récente comportant 104 comparaisons de chargement sur une durée moyenne d'essai de 162 jours, une augmentation du chargement de 1 vache/ha (+29%) entraîne une réduction de production laitière par vache de 1,1 kg /jour (-7%) et une augmentation de production laitière de 1 640 kg lait/ha (+21%) (DELABY *et al.*, non publié). Sur la durée totale de l'essai, la perte de production par vache est donc de 180 kg lait (rapport de 1 à 9). Des résultats identiques ont été observés par HODEN *et al.* (1991).

Ces simulations et ces résultats montrent que la valorisation de l'herbe au pâturage (kg MS d'herbe pâturée/ha/an), souvent estimée par défaut en retranchant aux besoins du troupeau les apports d'énergie fournis par l'ensemble des aliments distribués, n'est pas un « fait » lié aux conditions pédoclimatiques, mais qu'elle est dépendante pour une très large part des pratiques de l'éleveur. **Au pâturage, c'est l'éleveur qui doit imposer la « hauteur de coupe » à son troupeau**

pour ne pas perdre jusqu'à 20% de l'herbe produite. Qui remonte volontairement la barre de coupe de l'ensileuse pour récolter 1 t MS/ha de moins ? Le chapitre suivant traite de la question centrale au pâturage qu'est l'équilibre entre performances individuelles et valorisation de l'herbe.

3. Valoriser l'herbe par la gestion du pâturage

3.1. Valoriser l'herbe : une attention de chaque cycle ...

La valorisation de l'herbe au pâturage peut être définie comme la quantité de MS d'herbe par hectare récoltée par les vaches au cours d'une année (t MS/ha/an). Elle est souvent et à tort confondue avec la production d'herbe par hectare, qui peut lui être bien supérieure, notamment lorsque le chargement est trop faible par rapport au potentiel de production. **L'indicateur clé à privilégier en système pâturé est bien l'herbe valorisée et non l'herbe produite. En effet, au pâturage, produire de l'herbe n'est pas suffisant, encore faut-il la faire consommer...** En système de fauche plus ou moins rapide, LAISSUS (1968) sur fléole et LECONTE (2002) sur ray-grass anglais ont d'ailleurs montré que la biomasse annuelle récoltée (valorisée) était d'autant plus importante que la hauteur de coupe était basse. Le pâturage des vaches laitières en système tournant étant d'une façon schématique réalisé par strates successives (WADE *et al.*, 1989), un fort taux de prélèvement ne pourra être obtenu qu'en permettant aux vaches de pâturer le plus de strates possible, en leur laissant le temps nécessaire, donc en augmentant le temps de séjour (ou en diminuant la surface offerte chaque jour). Le problème est alors de ne pas trop pénaliser l'ingestion d'herbe et les performances par vache et par jour.

Par ailleurs, il est probable que l'herbe non consommée à un cycle donné ne le sera pas non plus aux cycles suivants, en raison de la sénescence des plantes mais aussi du développement des gaines et des tiges au cours de la saison de pâturage qui rendent de plus en plus difficile l'accès des vaches aux strates profondes du couvert végétal (PRACHE et PEYRAUD, 1997 ; DELAGARDE *et al.*, 2001a). **Maximiser la valorisation de l'herbe à l'échelle de l'année implique donc d'y veiller à chaque cycle de pâturage.**

3.2. Accepter de sous-alimenter son troupeau

Pour une parcelle donnée, comment savoir jusqu'où augmenter le temps de séjour (donc le chargement) sans trop pénaliser les performances ? Les outils INRA de calcul de l'ingestion au pâturage permettent d'examiner les variations concomitantes de l'ingestion par vache et par hectare suite à une réduction de la hauteur en sortie de parcelle ou à une augmentation du temps de séjour.

Un des points essentiels en nutrition des ruminants, indépendamment de la couverture des besoins énergétiques liés à une production, est de ne pas trop sous-alimenter les animaux, c'est-à-dire de leur permettre de couvrir l'essentiel de leur capacité d'ingestion (CI). Chez les vaches laitières en lactation alimentées à l'auge, de nombreuses études de nutrition ont été réalisées en faisant varier le niveau d'alimentation dans la gamme 70-100% de l'ingestion volontaire (CI couverte). Ces études permettent de considérer qu'**une sous-alimentation de 0 à 10% (> 90% de la CI couverte) est légère, qu'une sous-alimentation de 10 à 20% est sévère mais possible (80-90% de la CI couverte), et qu'une sous-alimentation de plus de 20% (< 80% de la CI couverte) est très sévère et doit être évitée sur le long terme.** En transposant ces résultats au pâturage, il est ainsi possible, grâce aux équations des Tables INRA 2007, de faire le lien entre pratiques de l'éleveur et sévérité du pâturage pour l'animal (proportion de CI couverte). La proportion de CI couverte peut être calculée facilement en additionnant les UEL ingérées par l'herbe (H), les fourrages complémentaires éventuels (F) et les concentrés (C), selon la formule suivante :

$$\text{Proportion de CI couverte} = [(MSI_H \times UEL_H) + (MSI_F \times UEL_F) + (MSI_C \times Sg \times UEL_H)] / CI$$

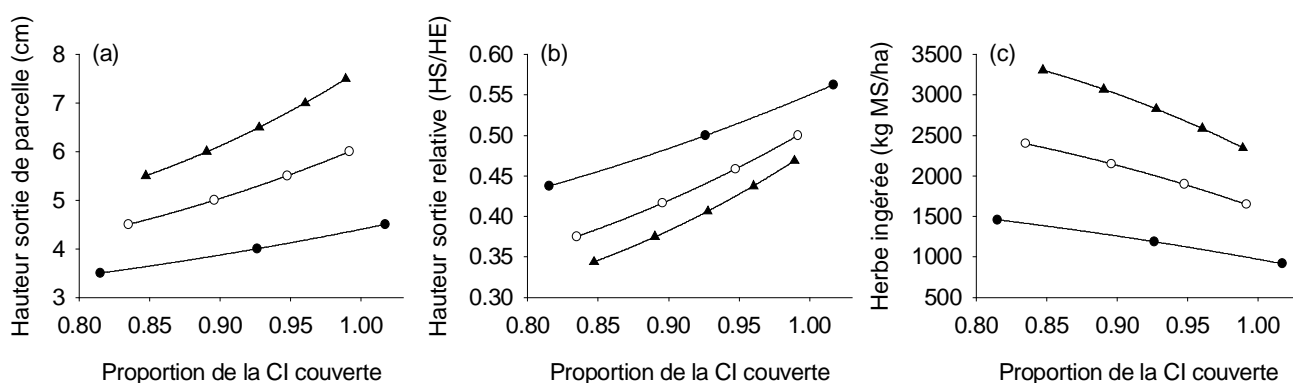
où MSI est la quantité de MS ingérée et Sg le taux de substitution global herbe-concentré.

Ces relations sont illustrées dans les Figures 2 et 3 pour trois situations de hauteur en entrée de parcelle (8, 12 et 16 cm), avec le troupeau décrit au chapitre 1.3. et une prairie « standard » (1 ha, 1,0 UEL et 0,9 UFL/kg MS). La Figure 2, reliant la proportion de CI couverte aux pratiques, reste valide quels que soient le type de prairie et les compléments utilisés. La Figure 2a montre que pour

couvrir 100% de la CI des vaches, la hauteur en sortie doit être d'environ 4,5, 6,0 et 7,5 cm pour des hauteurs en entrée de 8, 12 et 16 cm, respectivement, soit 55, 50 et 45% environ de la hauteur en entrée (Figure 2b). Une sous-alimentation du troupeau de 10% correspond à une réduction de la hauteur en sortie d'environ 0,5 cm, 1,0 cm et 1,5 cm par rapport à la situation précédente, soit des hauteurs en sortie de 4, 5 et 6 cm pour des hauteurs en entrée de 8, 12 et 16 cm, respectivement. Ainsi, une variation de 0,5 cm de la hauteur en sortie a trois fois plus d'effet sur l'ingestion par vache à 8 cm qu'à 16 cm de hauteur en entrée. En moyenne, **une sous-alimentation du troupeau de 10% permet à chaque cycle de valoriser environ 250, 450 et 650 kg MS/ha supplémentaires par rapport à une alimentation à volonté, pour des hauteurs en entrée de 8, 12 et 16 cm, respectivement** (Figure 2c). A l'échelle d'une saison de pâturage, compte tenu du fait que les cycles de rotation sont plus courts et donc plus nombreux à 8 cm qu'à 12 ou 16 cm (10-15 jours contre 20-25 jours et 30-35 jours en plein printemps), la valorisation à l'hectare mais aussi la production par vache ne semblent pas varier avec la vitesse de rotation sur les parcelles (MCFEELY *et al.*, 1975).

FIGURE 2 – Relation entre la proportion de capacité d'ingestion couverte et (a) la hauteur en sortie de parcelle, (b) la hauteur en sortie relative (hauteur en sortie/hauteur en entrée) et (c) la quantité d'herbe ingérée par hectare pour un troupeau de vaches laitières

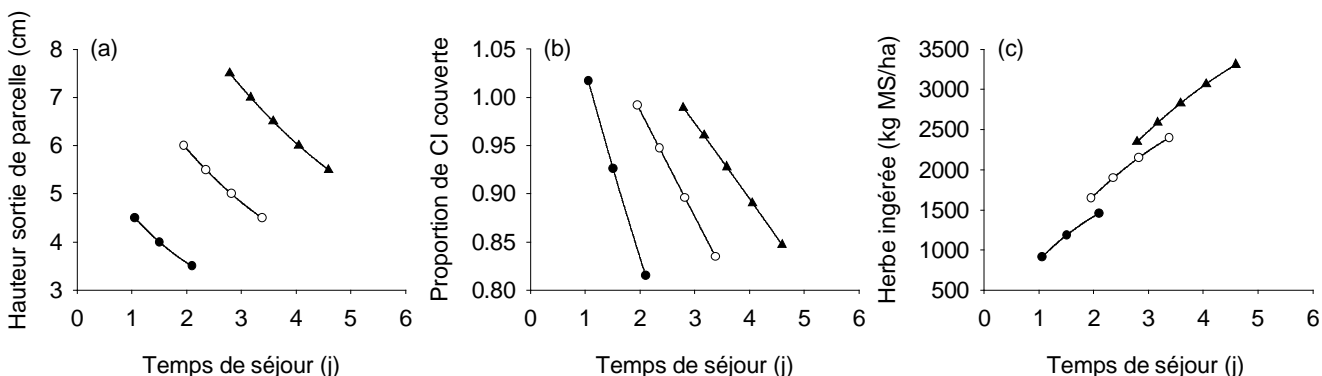
(hauteur en entrée de parcelle : ● = 8 cm, ○ = 12 cm, ▲ = 16 cm). Conditions de la simulation : voir texte.



La Figure 3 décrit l'influence du temps de séjour sur la hauteur en sortie, la proportion de CI du troupeau couverte et la valorisation à l'hectare. Les valeurs absolues des temps de séjour ne sont valides que dans le cas précis de ces simulations (parcelle de 20 ares/vache). Les pentes des relations entre temps de séjour et hauteur en sortie (Figure 3a) et entre temps de séjour et herbe ingérée/ha (Figure 3c) sont à peu près constantes quelles que soient la hauteur en entrée. En moyenne, la hauteur en sortie décroît de 1 cm par jour, et l'herbe valorisée augmente d'environ 500 kg MS/ha par jour.

FIGURE 3 – Effet d'une variation du temps de séjour sur (a) la hauteur en sortie de parcelle, (b) la proportion de capacité d'ingestion couverte, et (c) la quantité d'herbe ingérée par hectare pour un troupeau de vaches laitières

(hauteur en entrée de parcelle : ● = 8 cm, ○ = 12 cm, ▲ = 16 cm). Conditions de la simulation : voir texte.

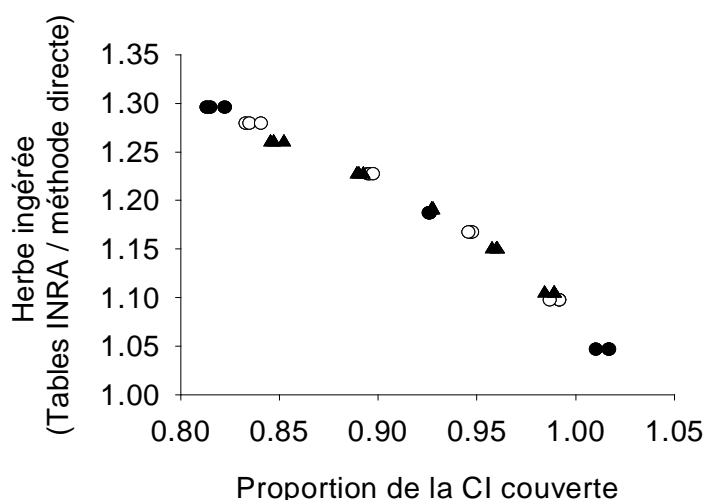


La relation entre temps de séjour et proportion de CI couverte dépend évidemment de la hauteur en entrée, c'est-à-dire qu'une variation de 1 jour du temps de séjour réduit beaucoup plus l'ingestion par vache lorsque la hauteur en entrée est faible que lorsqu'elle est élevée (Figure 3b). En revanche, lorsque le temps de séjour est exprimé en pourcentage du temps de séjour nécessaire pour couvrir 100% de la CI, la relation devient indépendante de la hauteur en entrée et reste linéaire. **Quelle que soit la hauteur en entrée, le temps de séjour nécessaire pour couvrir 90% de la CI est égal à 1,5 fois le temps de séjour nécessaire pour couvrir 100% de la CI. Et le temps de séjour nécessaire pour couvrir 80% de la CI est égal à 2 fois le temps de séjour nécessaire pour couvrir 100% de la CI.** Le fait qu'il soit nécessaire de doubler le temps de séjour pour ne réduire que de 20% l'ingestion d'herbe par animal montre probablement pourquoi il peut être en pratique « psychologiquement » difficile de bien valoriser l'herbe produite. Au cours d'un paddock, le début de la baisse de lait dans le tank peut « inquiéter » l'éleveur et l'inciter à prévoir rapidement un changement de parcelle pour ne pas pénaliser les performances, alors qu'il faudrait au contraire prévoir 50% de temps de séjour supplémentaire pour laisser aux vaches le temps de faire leur travail de récolte... Ces calculs, qui peuvent sembler théoriques mais qui reposent cependant sur un grand nombre d'expérimentations, sont en tout cas complètement confirmés par les travaux de HODEN *et al.* (1986 et 1991) qui ont bien décrit la courbe de production laitière des vaches en pâturage tournant simplifié. Pour un temps de séjour de 10 jours par parcelle, la production laitière est maximale au 3-4^e jour et ne commence à chuter significativement qu'au 5^e ou 6^e jour. Ces auteurs ont montré qu'il fallait attendre que la production laitière du dernier jour atteigne 85% du lait maximum (ou 90% du lait moyen) pour avoir un pâturage bien conduit, c'est-à-dire équivalent à la production de lait obtenue en pâturage rationné à même chargement.

3.3. Mieux estimer l'herbe valorisée à partir des Tables INRA

Dans les équations des tables INRA, l'ingestion par hectare est calculée à partir de l'ingestion par vache et de la surface offerte, l'équation de base de l'ingestion ne tenant pas compte de la hauteur en sortie mais de la quantité d'herbe offerte. L'ingestion par hectare est aussi souvent estimée par la formule $(HE - HS) \times D$, où D est la densité du couvert mesurée en entrée de parcelle. Ce calcul direct de « l'herbe disparue » revient conceptuellement à estimer la différence entre la biomasse initiale ($HE \times D$) et la biomasse résiduelle ($HS \times D$), en admettant que la densité mesurée en entrée de parcelle peut être utilisée en sortie de parcelle. Le jeu de données décrit au chapitre 1.3. permet de comparer les deux modes de calcul dans une large gamme de hauteurs en entrée et en sortie de parcelle (Figure 4).

FIGURE 4 – Relation entre la proportion de capacité d'ingestion couverte et la quantité d'herbe ingérée (par vache ou par hectare) calculée par les tables INRA 2007 et exprimée en proportion de la méthode directe « herbe disparue » (voir texte Chap. 3) (hauteur en entrée de parcelle : ● = 8 cm, ° = 12 cm, ▲ = 16 cm).



Quelle que soit la hauteur en entrée et la sévérité du pâturage exprimée par la proportion de CI couverte, l'ingestion estimée par les tables INRA est toujours supérieure à celle estimée par la méthode directe. Plus le pâturage est sévère, plus l'écart entre les deux méthodes est important, passant de 5-10, puis 20 et 30% pour des proportions de CI couvertes de 100, 90 et 80%, respectivement. Ainsi, **à l'échelle d'une saison de pâturage, la somme des ingestions estimées par la méthode directe à chaque cycle sous-estime probablement l'herbe valorisée de 10 à 20%**, soit l'équivalent d'une tonne de MS/ha pour un rendement valorisé de l'ordre de 7 t MS/ha. Cela revient à dire que la densité moyenne de l'ingéré « recalculée » est plus élevée de 10-20% que celle de l'offert, ce qui peut être lié au fait que les vaches ingèrent probablement une quantité d'herbe non négligeable sous la hauteur moyenne mesurée en sortie de parcelle, cette quantité d'herbe n'étant pas « comptabilisée » dans la méthode directe « herbe disparue ». Les simulations réalisées au chapitre 2.3. montrent que la densité marginale du dernier cm pâturé est de l'ordre de 500 kg MS/ha/cm, ce qui va dans le même sens. Il semble logique de penser que, sur les refus, le plateau de l'herbomètre soit retenu par les talles ou les tiges les plus rigides, et qu'une fraction relativement importante de la surface sous le plateau puisse avoir été pâturée sans que cela soit pris en compte par la mesure de la hauteur.

Conclusions

Les outils INRA disponibles pour calculer l'ingestion des vaches au pâturage intègrent la plupart des facteurs de variation connus de l'ingestion. Ils permettent ainsi de simuler les effets croisés de nombreuses pratiques, notamment en termes de gestion du pâturage. Les variables d'entrée sont suffisamment simples pour que ces modèles soient utilisés en ferme.

Au pâturage, et en l'absence de toute complémentation, la plage de variation possible de l'ingestion par vache est de l'ordre de 4-5 kg MS/jour entre vaches au sein du troupeau, 3-4 kg MS entre types de prairies à l'échelle de l'année, et 2-3 kg MS selon les pratiques de l'éleveur en termes de sévérité du pâturage. La plage « absolue » de variation de l'ingestion par vache varie donc d'environ 10 kg MS/jour (primipares avec un pâturage sévère sur prairies de qualité moyenne) à plus de 20 kg MS/jour (multipares avec un pâturage peu sévère sur prairies de qualité). Concernant la production laitière, les écarts possibles liés au type de prairie et à la saison sont deux à trois fois plus importants que ceux liés à la sévérité du pâturage (7-8 contre 2-3 kg lait/jour) en raison de la forte variation de la densité énergétique (UFL/UEL) entre prairies et entre saisons, alors que la valeur nutritive de l'herbe ingérée varie peu avec le chargement et la sévérité du pâturage.

La valeur alimentaire (UFL ingérées) des fourrages pâturés ne peut se raisonner uniquement à l'échelle de l'animal et du troupeau, sous peine de préconiser une gestion laxiste du pâturage qui maximise l'ingestion par vache mais qui pénalise énormément l'ingestion par hectare et donc la valorisation de l'herbe. Une sous-alimentation du troupeau de l'ordre de 10% (90% de la capacité d'ingestion du troupeau couverte) imposée par l'éleveur permet en moyenne d'augmenter la valorisation de l'herbe de 20% par rapport à une situation de pâturage qui maximise l'ingestion par vache. A l'échelle d'une saison de pâturage (5 cycles, 150 jours), accepter de perdre 200-300 kg lait par vache par une légère sous-alimentation du troupeau à chaque cycle de pâturage permet de valoriser chaque année environ 2 t MS d'herbe en plus par hectare. Les simulations permises par les outils INRA mettent donc en évidence le rôle important joué par l'éleveur dans la maîtrise de l'efficacité des systèmes laitiers basés sur le pâturage et sur la valorisation de l'herbe.

Remerciements

Je tiens ici à remercier L. Delaby, J.L Peyraud, P. Faverdin et C. Baratte (INRA, UMR Production du Lait) pour le travail collectif mené ces dernières années autour des différents modèles et outils de prévision de l'ingestion au pâturage, mes collègues de l'INRA de Theix pour le développement de INRAtion, ainsi que tous mes collègues des fermes expérimentales de Méjusseau et du Pin-au-Haras pour les nombreux essais et mesures réalisés ayant permis de valider ou de construire certaines parties des modèles INRA existants aujourd'hui.

Références bibliographiques

- AGABRIEL J., POMIÈS D., NOZIÈRES M.O., FAVERDIN P. (2007) : "Principes de rationnement des ruminants". In 'Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux - Valeurs des aliments'. pp. 9-22. (QUAE Editions: Versailles)
- DELABY L., PEYRAUD J.L., DELAGARDE R. (2003) : "Faut-il compléter les vaches laitières au pâturage", *INRA Prod. Anim.*, 16, 183-195.
- DELAGARDE R., PEYRAUD J.L., PARGA J., RIBEIRO FILHO H.M.N. (2001a) : "Caractéristiques de la prairie avant et après un pâturage: quels indicateurs de l'ingestion chez la vache laitière ?", *Renc. Rech. Rum.*, 8, 209-212.
- DELAGARDE R., PRACHE S., D'HOOR P., PETIT M. (2001b) : "Ingestion de l'herbe par les ruminants au pâturage", *Fourrages*, 166, 189-212.
- DELAGARDE R., FAVERDIN P., BARATTE C., PEYRAUD J.L. (2004) : "Prévoir l'ingestion d'herbe et la production des vaches laitières: GrazeIn, un modèle pour raisonner l'alimentation au pâturage", *Renc. Rech. Rum.*, 11, 295-298.
- DELAGARDE R., O'DONOVAN M. (2005) : "Les modèles de prévision de l'ingestion journalière d'herbe et de la production laitière des vaches au pâturage", *INRA Prod. Anim.*, 18, 241-253.
- DELAGARDE R., DELABY L., FAVERDIN P. (2006) : "Le calcul de ration pour vaches laitières au pâturage", *Renc. Rech. Rum.*, 13, 89-92.
- DILLON P., ROCHE J.R., SHALLOO L., HORAN B. (2005) : "Optimising financial return from grazing in temperate pastures", In 'Utilisation of grazed grass in temperate animal systems. Proceedings of a satellite workshop of the XXth International Grassland Congress, July 2005, Cork, Ireland'. (Ed. JJ Murphy) pp. 131-147. (Wageningen Academic Publishers: Wageningen)
- FAVERDIN P., DELAGARDE R., DELABY L., MESCHY F. (2007) : "Alimentation des vaches laitières", In 'Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux - Valeurs des aliments'. pp. 23-55. (QUAE Editions: Versailles)
- HODEN A., MULLER A., JOURNET M., FAVERDIN P. (1986) : "Pâturage pour vaches laitières. I. Comparaison des systèmes de pâturage "rationné" et "tournant simplifié" en zone normande", *Bull. Tech. CRZV Theix, INRA*, 64, 25-35.
- HODEN A., MULLER A., PEYRAUD J.L., DELABY L., FAVERDIN P. (1991) : "Pâturage pour vaches laitières. Effets du chargement et de la complémentation en pâturage tournant simplifié", *INRA Prod. Anim.*, 4, 229-239.
- INRA (2007) : "Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux - Valeurs des aliments", QUAE Editions, Versailles.
- LAISSUS R. (1968) : "Importance de la hauteur de coupe sur le rendement et la composition d'une fléole", *Fourrages*, 35, 27-38.
- LECONTE D. (2002) : "Importance du rythme et de la hauteur de défoliation du ray-grass anglais sur la composition morphologique des repousses", *Fourrages*, 169, 47-63.
- MCFEELY P.C., BROWNE D., CARTY O. (1975) : "Effect of grazing interval and stocking rate on milk production and pasture yield", *Irish J. Agric. Res.*, 14, 309-319.
- PRACHE S., PEYRAUD J.L. (1997) : "Préhensibilité de l'herbe pâturée chez les bovins et les ovins", *INRA Prod. Anim.*, 10, 377-390.
- WADE M.H., PEYRAUD J.L., LEMAIRE G., COMERÓN E.A. (1989) : "The dynamics of daily area and depth of grazing and herbage intake of cows in a five day paddock system", *Proc. 16th Int. Grassl. Cong., Nice, France*, 1111-1112.