



**Trouver sa
zone de confort!**

Le jeudi 28 octobre 2010

Best Western Hôtel Universel, Drummondville

Le pâturage des vaches laitières : comment tirer parti d'un fourrage équilibré pour assurer de bonnes performances dans des systèmes économes en intrants

Jean-Louis PEYRAUD, Ph.D.

Directeur de recherche, responsable de la coordination
de programmes de recherches pluridisciplinaires

UMR INRA Agrocampus Ouest sur la Production du Lait
INRA 35590, Saint-Gilles, France

Note : Cette conférence a été présentée lors de l'évènement
et a été publiée dans le cahier du participant.

Vous retrouverez ce
document sur le site
Agrireseau.qc.ca



Pour commander le cahier des conférences, consultez
[le catalogue des publications du CRAAQ](#)



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

Comité bovins laitiers

LE PÂTURAGE DES VACHES LAITIÈRES : COMMENT TIRER PARTI D'UN FOURRAGE ÉQUILIBRÉ POUR ASSURER DE BONNES PERFORMANCES DANS DES SYSTÈMES ÉCONOMES EN INTRANTS

Les travaux de recherche récents sur l'alimentation des vaches laitières au pâturage et la gestion des surfaces pâturées ont permis le développement de recommandations pratiques et des outils d'aide à la décision qui devraient permettre aux éleveurs de mieux valoriser cette ressource fourragère dans le cadre de systèmes laitiers plus économes.

Introduction

Ces 30 dernières années, la pratique d'un prix du lait élevé a encouragé les systèmes de production laitière à haut niveau d'intrants (fertilisation, concentrés, fourrages stockés) au détriment du pâturage. Cette évolution a été renforcée par la simplicité d'utilisation de l'ensilage de maïs et par l'incapacité du pâturage à maximiser les performances laitières individuelles. Aujourd'hui le contexte change en profondeur. Les marchés deviennent plus instables avec un prix du lait qui sera beaucoup plus fluctuant que par le passé et sans doute en moyenne moins élevé. L'élevage des ruminants est aussi de plus en plus interpellé sur le plan environnemental et la filière laitière n'échappe pas à cette analyse. En Europe, les mesures agroenvironnementales introduites dans la Politique agricole commune (PAC) seront de plus en plus strictes. Dans ce nouveau contexte, où la relation entre performances environnementales et économiques fait l'objet d'interrogations, il faut se demander si le modèle de développement des dernières décennies est toujours adapté. Dans ce nouveau contexte, le pâturage devrait constituer l'un des éléments des systèmes de production laitière plus durables. L'herbe exploitée par le pâturage est en effet l'aliment le moins onéreux, les surfaces en herbe contribuent aussi à la fourniture de biens et services environnementaux et sociétaux (qualité des eaux, stockage de carbone, maintien de la biodiversité, qualité des paysages). Le pâturage permet aussi d'accroître l'autonomie protéique des exploitations par rapport à des systèmes basés sur l'ensilage de maïs. Le pâturage constitue aussi un élément de réponse à la demande croissante des consommateurs favorables à un retour à des méthodes de production plus « naturelles », perçues comme plus sécurisantes et qui renforcent le lien entre produit et terroir. Toutefois, il est souvent admis que le pâturage ne permet pas de bons niveaux de production et que la gestion de l'alimentation des troupeaux y est difficile et incertaine. L'objectif de ce texte est de faire le point sur l'état des connaissances sur la production du lait en utilisant au maximum l'herbe pâturée.

1. La prairie pâturée offre potentiellement de nombreux atouts

1.1. Elle accroît la compétitivité des systèmes laitiers

Le pâturage contribue à la compétitivité des systèmes laitiers. Les comparaisons conduites au niveau mondial montrent que les systèmes maximisant le pâturage sont les plus compétitifs (Dillon *et al.*, 2008; Figure 1). Le coût total de production du lait est en effet d'autant plus faible que la part d'herbe pâturée dans la ration annuelle de la vache est importante. Ainsi, au sein des systèmes européens, les coûts de production d'un kg de lait sont 50 à 60 % plus élevés au Danemark et aux Pays-Bas qu'en Irlande, les systèmes les plus compétitifs étant de loin les systèmes néo-zélandais.

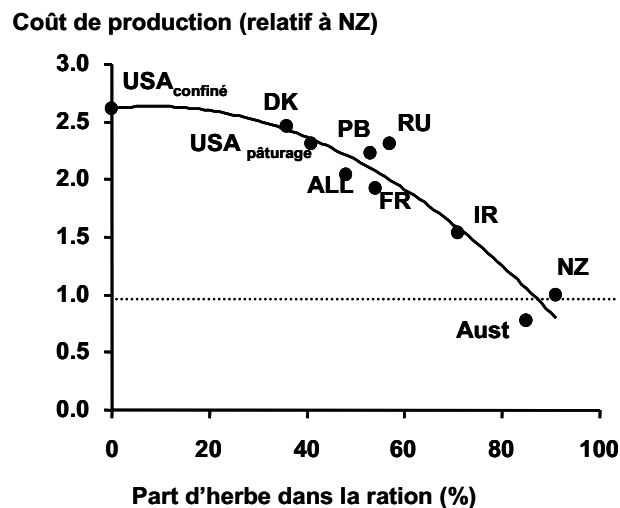


Figure 1. Coût de production (exprimé en relatif aux coûts en NZ) pour la production de lait en fonction de la part d'herbe pâturée dans la ration annuelle des vaches (Dillon *et al.*, 2008)

Dans une même région pédoclimatique, le pâturage est encore attractif d'un point de vue économique. Ainsi, aux Pays-Bas une étude récente (Van den Pol *et al.*, 2010) montre que le revenu des éleveurs s'accroît dans les exploitations pratiquant plus de pâturage et que la tendance ne s'inverse que pour des exploitations pratiquant des chargements excessivement élevés (plus de 10 vaches/ha). En France, une étude réalisée en 2004 sur 3 ans (Le Rohélec et Mouchet, 2004) et comparant 74 fermes du réseau agriculture durable et 374 conventionnelles de structures comparables (55 ha et 4200 l quota/ha) a montré que le revenu était plus élevé dans les fermes du réseau durable (17 800 vs 13 320 €/travailleur) malgré un produit lait plus faible et surtout moins de primes PAC (- 1 150 €/travailleur), mais du fait d'une bien meilleure maîtrise des charges de culture (- 4 000 €/travailleur), d'achat de concentré (- 3 300 €/travailleur) et de mécanisation (- 3 700 €/travailleur). Les fermes du réseau agriculture durable étaient caractérisées par une surface en herbe plus importante (0,63 vs 0,40 ha/vache) et moins de maïs dans la surface fourragère (11 vs 31 %).

1.2. Elle contribue à produire des services environnementaux

La prairie contribue positivement à la qualité de l'environnement par de nombreux aspects, même si le rôle et l'importance respective de ces différentes contributions varient fortement selon les contextes.

La prairie contribue à limiter le risque d'eutrophisation des cours d'eau. Elle permet de réduire la pression de produits phytosanitaires, celle-ci diminuant fortement et linéairement avec l'accroissement de la part d'herbe dans la surface agricole utile. Il est aujourd'hui bien établi que la présence de prairies, associées aux bandes enherbées permet de limiter le ruissellement de P pour un même excédent de P mesuré (Le Gall *et al.*, 2009). Le rôle de la prairie sur les fuites d'azote est à nuancer. Les pertes d'azote sous prairies pâturées restent modérées et n'excèdent pas 50 kg/ha/an tant que le niveau de fertilisation reste inférieur à 250 kg de N minéral/ha/an (Ledgard *et al.*, 2010). Les fuites sont donc très faibles sous les prairies permanentes peu intensifiées. Les risques de lessivage sont plus élevés sous les prairies utilisées de manière plus intensive surtout lorsque ces prairies sont conduites au sein de rotations pluriannuelles, comme c'est le cas dans l'ouest de la France où la prairie est introduite pour 3 ou 4 ans au sein de rotations céréalières. En effet, la minéralisation induite par retournement peut alors conduire à des fuites parfois élevées. Ceci est bien illustré par les résultats du projet GREEN DAIRY (Raison *et al.*, 2008) qui montrent que les pertes par lixivation représentent 30 et 60 kg ha/an pour des excédents (bilan entrées-sorties) de 80 à 150 kg/ha/an dans les systèmes de l'Ouest français contre seulement 10 à 20 kg/ha/an pour les prairies de longue durée d'Irlande et d'Angleterre bien que les excédents d'azote y soient 1,5 à 2 fois plus élevés.

La prairie pâturée contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et donc l'emprunte carbone du lait. Au niveau global, les émissions de gaz à effet de serre semblent plus faibles dans les systèmes herbagers, notamment ceux valorisant les légumineuses, car ils permettent de réduire très fortement les émissions liées à la production, le transport et l'utilisation des aliments et engrais azotés. Les émissions sont de 30 à 80 % plus faibles dans les systèmes néo-zélandais qui sont pour l'essentiel basés sur l'utilisation de la prairie à base de trèfle blanc pâturées toute l'année que pour des systèmes conventionnels intensifs de Suède ou d'Allemagne (0,72 vs 1,2 kg eq CO₂ par kg de lait) basés sur des fourrages concentrés et des apports élevés de concentrés (Basset Mens *et al.*, 2005). Les fermes en agriculture biologique en Suède et les systèmes extensifs allemands sont intermédiaires dans cette étude (1,0 kg esCO₂/kg lait). L'écart entre systèmes est encore plus net lorsque l'on considère le stockage de carbone permis par la prairie. Selon l'expertise collective de l'INRA (Arrouays *et al.*, 2002), ce stockage représenterait 500 kg/ha/an les 30 premières années et décroîtrait ensuite. Dans ces conditions, l'empreinte C du lait serait plus faible dans les systèmes valorisant la prairie, notamment ceux basés sur des prairies de longue durée (Dollé *et al.*, 2009).

Le pâturage contribue à réduire la consommation d'énergie au sein des systèmes laitiers. L'utilisation d'énergie par kg de lait produit est toujours beaucoup plus faible dans les systèmes valorisant l'herbe. Celle-ci diminue de 5 MJ/kg lait en moyenne dans les systèmes hollandais très intensifs à 4,0 en France, 3,1 en Irlande où les systèmes sont basés essentiellement sur le pâturage et à 1,4 en Nouvelle-Zélande (Le Gall *et al.*, 2009). L'introduction de légumineuses est d'ailleurs le levier le plus

efficace pour réduire la consommation d'énergie non renouvelable en élevage du fait de leur aptitude à valoriser l'azote de l'air alors qu'il faut 55 mégajoules (MJ) pour produire, transporter et épandre 1 kg de N minéral. L'efficacité énergétique calculée par le rapport entre l'énergie nette de fourrage produit par MJ d'énergie non renouvelable consommée est 3 fois plus élevée pour les prairies de graminées et trèfle blanc que pour les prairies à base de graminées pures (17,7 kJ EN vs 5,7 kJ NE/MJ énergie non renouvelable consommée) (Besnard *et al.*, 2006). Ledgard *et al.* (2010) ont montré que la consommation de fuel pour produire 1 kg de lait, déjà très faible dans les systèmes néo-zélandais, était réduite de 1,25 MJ à 0,5 MJ lors de l'utilisation de prairies d'association comparée à des ray-grass anglais fertilisés à raison de 150 kg N/ha/an. Cette économie d'énergie confèrera un avantage décisif aux systèmes valorisant des légumineuses lorsque le coût de l'énergie fossile et celui des engrais augmenteront.

La présence de prairie contribue à préserver la biodiversité, que l'on considère différentes composantes de cette diversité depuis la diversité spécifique de la microfaune du sol, des espèces animale ou végétale jusqu'à la diversité des écosystèmes à l'échelle des paysages. La prairie permet en particulier de limiter l'uniformisation des territoires en maintenant des habitats au sein même de la prairie et de structures associées (bord de champ, haies, talus, fossés, etc.) pour de nombreuses espèces d'insectes et d'animaux visitant les couverts herbacés. Toutefois, les pratiques de gestion influencent grandement la diversité florale (Dumont *et al.*, 2007) et aussi celle des insectes et de la petite faune (Decourtye et Bouquet, 2010) avec, en général, une réduction de la biodiversité lors de l'intensification des pratiques (faible durée d'implantation, fertilisations élevées, fauches fréquentes, etc.).

1.3. Elle permet de produire un lait d'excellente qualité nutritionnelle

La mise à l'herbe au printemps entraîne systématiquement et en moins d'une semaine une très forte réduction des teneurs en acides gras saturés des laits, notamment du C16:0 qui peut baisser de 7 à 10 points au profit des acides gras insaturés et du C18:1 *cis9* qui augmente de 7 à 10 points. Les teneurs en C18:3 n-3 (oméga-3), en ALC *cis9trans11* (acide ruménique) et en C18:1 *trans11* (acide trans-vaccénique qui est désaturé en ruménique chez l'homme) sont multipliées par un facteur 4 à 5 comparativement aux rations à base de maïs ensilage (Couvreur *et al.*, 2006). Ces acides gras peuvent alors représenter respectivement 1 % ou plus, 2,0 % et 4,5 % des acides gras totaux du lait. Dans le même temps, le rapport oméga-6/oméga-3 diminue jusqu'à des valeurs proches de 2 ou 3 et donc très inférieures aux recommandations de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) qui recommande de ne pas dépasser 5 dans notre alimentation. Des évolutions inverses sont observées lors du passage du pâturage vers une ration conservée équilibrée à base d'ensilage de maïs et de tourteau de soya. Les autres isomères *trans* du C18:1 (et en particulier le C18:1 *t10*) diminuent à l'herbe. Ces effets, observés dans tous les essais conduits en station, s'expliquent d'abord par les écarts de profils en AG entre l'herbe (riche en C18:3 n-3) et l'ensilage de maïs (riche en C18:2 n-6).

Les effets sur les proportions des AG sont linéaires en fonction de la part d'herbe verte dans la ration (Figure 2) et deviennent sensibles dès que l'herbe représente un tiers de la ration, ce qui signifie que la composition du lait peut être modulée dès que les vaches sortent quelques heures par

jour au pâturage. Le ratio n-6/n-3 est pratiquement divisé par 2 dès que l'herbe représente 30 % de la ration totale. Ainsi, l'accroissement de la saison de pâturage par la pratique d'un pâturage précoce au printemps ou plus tardif à l'automne est un levier efficace (et peu coûteux) pour améliorer la qualité des laits à l'échelle de la campagne laitière, au moins dans le Grand Ouest où les vaches peuvent pâturer de février à novembre. De même, dans les exploitations où la surface accessible en herbe est trop restreinte pour pâturer toute la journée, la solution de sortir le troupeau quelques heures par jour est à favoriser.

Ces effets de l'herbe, le plus souvent étudiés au printemps, se retrouvent lors de pâturages d'automne de bonne qualité. Les effets s'estompent sur des prairies contenant trop de matériel végétal mort ou de l'herbe contaminée par la rouille. Ils s'estompent aussi pour des pâturages sur des herbes âgées. Les teneurs en ALC *cis9trans11*, C18:1 *trans11* et C18:3 oméga-3 du lait diminuent de moitié entre des repousses de 3 ou de 6 semaines, mais restent encore supérieures à celle obtenues avec de l'ensilage de maïs. L'espèce pâturée a peu d'influence lorsque l'on considère des prairies temporaires (ray-grass, dactyle, fétuque, ou même les associations avec le trèfle blanc).

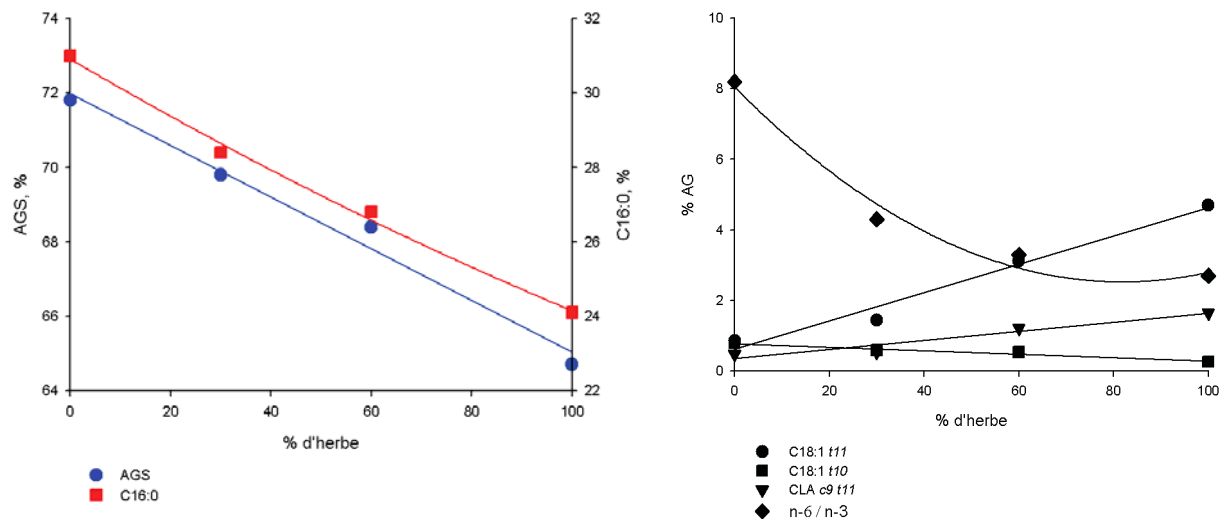


Figure 2. Effet de la part d'herbe et d'ensilage de maïs dans la ration sur le profil en Acides Gras Saturés (AGS), en en acides gras insaturés des laits (adapté de Couvreur *et al.*, 2006)

Ces effets, observés en station expérimentale, se retrouvent dans des laits de tournées de ramassage. Le suivi de 24 fermes laitières de l'Ouest français (département d'Ille et Vilaine), avec cinq prélèvements répartis sur une année laitière, montre que la teneur en C18:3 oméga-3 des laits est directement liée à la part d'herbe dans la ration du troupeau au moment des prélèvements. Elle est de ce fait en moyenne beaucoup plus élevée dans les systèmes herbagers que dans les systèmes utilisant beaucoup plus d'ensilage de maïs (0,78 vs 0,45 %). Les élevages laitiers en agriculture biologique se distinguent aussi par une utilisation importante de l'herbe et notamment des légumineuses (pour ne pas utiliser d'engrais azotés). C'est probablement pourquoi les laits issus de ces systèmes sont en général plus riches en C18:3 oméga-3 et en ALC *cis9trans11* que les laits issus des systèmes faisant une large place à l'ensilage de maïs.

2. Les facteurs affectant la production de lait sont bien connus

2.1. Une production laitière qui dépend de la vache

Les vaches à haut niveau de production ont des besoins en nutriments plus élevés qui se traduisent au pâturage par un accroissement des quantités d'herbe ingérées. Les travaux conduits à l'INRA de Saint-Gilles ont montré que l'ingestion d'herbe au printemps par des troupeaux de vêlage d'automne s'accroissait d'environ 180 g de matière sèche (MS) par kg de lait au pic, ou de 250 g de MS par kg de lait attendu durant cette période de pâturage (calculé à partir du lait au pic et d'une persistance hebdomadaire de 0,985). Comme pour l'ingestion, le potentiel des animaux joue un rôle déterminant sur la production laitière des vaches au pâturage. À partir d'une série d'expériences incluant 236 vaches, l'INRA de Saint-Gilles a montré que les vaches sont capables de produire avec de l'herbe seule, et en l'absence de toute complémentation, environ 60 % de chaque kilo de lait attendu au-dessus de 15 kg.

Ce résultat est illustré sur la figure 3. À titre d'exemple, une vache qui pourrait produire 40 kg de lait avec une ration mixte distribuée à volonté à l'intérieur produira 30 kg de lait si elle n'a que du pâturage. Il est donc possible d'avoir des niveaux de production tout à fait corrects au pâturage, pourvu que l'on ait des animaux à bon potentiel. Ces données sont confirmées par les recherches conduites en Irlande. En système herbager, les chercheurs du centre de Moorepark ont montré que la production de vaches à fort index génétique est supérieure de 800 à 1200 kg de lait par vache et par an. Ces chercheurs ont montré que des niveaux de production moyens de 7400 kg de lait par lactation peuvent être obtenus avec seulement 320 kg de concentré et une utilisation maximale du pâturage.

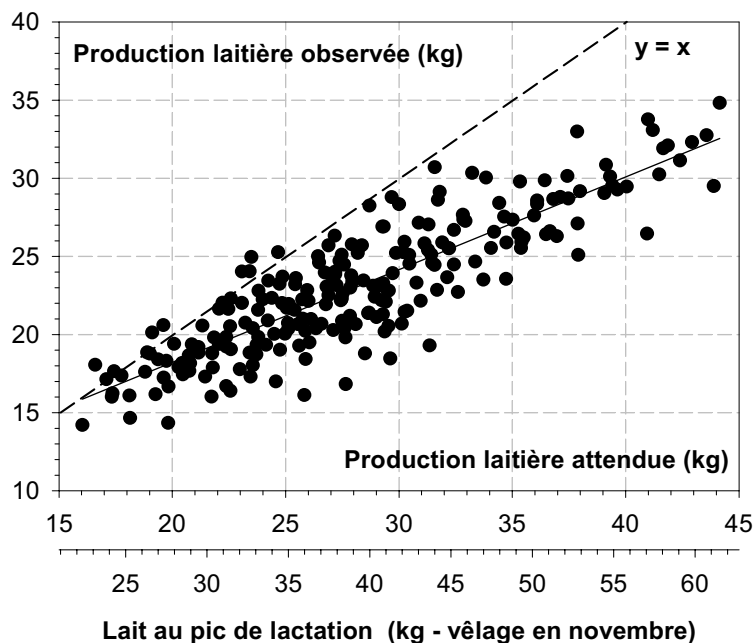


Figure 3. Relation entre la production laitière attendue et observée durant le printemps chez des vaches laitières au pâturage sans apport de concentré (adapté de Peyraud *et al.*, 2004).

Toutefois, les données de la figure 3 démontrent que l'utilisation de l'herbe pâturée comme seul aliment de la ration ne permet pas aux vaches à haut potentiel d'exprimer pleinement ce potentiel. L'écart entre le lait attendu et le lait effectivement produit est d'autant plus important que l'animal a un potentiel élevé. Au printemps, cet écart est de 4 kg de lait par jour pour une production attendue à 25 kg et atteint 10 kg chez une vache dont la production attendue est de 40 kg.

2.2. Des réponses élevées et peu variables à l'apport de concentré

L'intérêt de la complémentation en concentré au pâturage a fait l'objet de plusieurs années d'expérimentation à l'INRA. Ces travaux ont montré que l'efficacité du concentré est proche de 1 kg de lait en plus par kg de MS concentré consommé pour des doses maximales de concentré n'excédant pas 6 kg/vache/jour (Peyraud et Delaby, 2001; Delaby *et al.*, 2003). Les réponses sont linéaires avec la dose d'apport, la production d'une vache laitière s'accroîtra de 2, 4 ou 6 kg par jour avec l'apport de 2, 4 ou 6 kg de MS de concentré comparativement à la même vache non complétementée. On dispose là d'un outil très facile d'utilisation pour piloter la production individuelle des vaches. En moyenne, l'apport de concentré entraîne aussi une baisse du taux de matières grasses du lait et une augmentation du taux protéique (TP) de respectivement - 0,50 g/kg et + 0,20 g/kg pour chaque kg de MS de concentré. Enfin, l'apport de concentré a également pour effet d'accroître le gain de poids vif (entre 40 et 50 g/j par kg de MS de concentré) ou la reprise d'état corporel + 0,1 point par kg de MS de concentré) tout au long de la saison de pâturage. Ces réponses à l'apport de concentré ne varient pratiquement pas avec le chargement dans les gammes de chargement généralement rencontrées en France même si, en théorie, les réponses au concentré doivent être d'autant plus faibles que le chargement est plus faible et que les animaux ont accès à une quantité plus élevée d'herbe.

Avec des niveaux d'apport de concentré le plus souvent inférieurs à 5 kg par jour, les effets de la nature de l'énergie sur les performances restent très modérés. Lors d'une comparaison entre du blé ou un mélange de pulpes de betterave et du son de blé, l'INRA n'a mis en évidence que des effets très ténus sur la production du lait (- 0,5 kg et + 0,6 g/kg TP avec le blé). Par rapport au concentré pulpes-son, l'apport de conques de soya a accru le taux de matière grasse de 1 g/kg mais n'a pas affecté le volume de lait et le TP. Avec des quantités de concentrés plus élevées (plus de 8 kg par jour), l'effet le plus souvent observé est une chute du taux de matière grasse dans le cas de concentrés riches en amidon. La teneur en protéines de l'herbe est rarement un facteur limitant de la production du lait lorsque le pâturage est la principale source de fourrage dans la ration des vaches. La situation est toutefois différente dans le cas de prairies pauvres en matières azotées totales (moins de 130 g MAT/kg MS). De telles situations peuvent se rencontrer sur des graminées peu ou pas fertilisées, ou des prairies d'associations pauvres en légumineuses ou encore sur les prairies d'été. Dans ces cas, l'introduction de tourteaux traités au formol (principe du tannage très utilisé en France) dans le concentré permet d'accroître sensiblement la production de lait. Toutefois, ces situations restent particulières et de durées limitées. Elles ne peuvent justifier le recours systématique à des concentrés riches en protéines.

2.3. Des réponses à l'apport de fourrage beaucoup plus contrastées lorsque l'herbe n'est pas limitante

Des éleveurs maintiennent souvent un apport de fourrage complémentaire durant la saison afin d'atténuer les variations de production laitière observées au pâturage. En fait, lorsque les conditions de pâturage ne sont pas sévères, ce qui est souvent le cas au printemps, l'apport de foin, d'ensilage d'herbe ou de maïs se traduit par une réduction importante de l'ingestion d'herbe (le taux de substitution entre l'herbe et le fourrage est souvent supérieur à 1,0 dans ces conditions) et par une réponse de production de lait très faible, voire nulle ou négative. Ainsi, en moyenne de 9 essais conduits en France sur la période du printemps, l'apport quotidien de 5 kg de MS d'ensilage de maïs n'a modifié ni la production laitière ni le taux protéique (Chenais *et al.*, 2001). De même, l'apport de fourrage sec, souvent recommandé pour ralentir le transit des herbes riches en eau et en potassium, n'a aucun effet ni sur la production ni sur la teneur en MS des bouses qui restent toujours aussi liquides (Delaby et Pomies, 2004). L'apport de fourrage complémentaire contribue en outre à sous-valoriser l'herbe produite du fait de la substitution élevée et finalement à une dégradation de la qualité des prairies. L'herbe étant alors de moins bonne qualité, les éleveurs sont tentés de mettre plus de fourrages complémentaires, ce qui contribue à empirer le problème de la sous-exploitation.

À l'inverse, lors des périodes de pénuries d'herbe, ou lorsque la surface pâturage n'est pas suffisante en regard de la taille des troupeaux, l'apport de fourrages en complément se justifie totalement et comporte alors deux objectifs. Il permet de maintenir les niveaux de production des vaches puisque le taux de substitution est alors faible (moins de 0,3) et aussi d'accroître la durée des cycles de pâturage et d'accumuler de l'herbe pour les périodes de pâturage suivantes (voir section 3.4).

2.4. Adapter l'offre d'herbe pour valoriser au mieux les surfaces

L'herbe est un fourrage peu cher, ce n'est pas une raison pour le gaspiller.

La difficulté de la gestion du pâturage réside dans l'équilibre à trouver pour faire bien pâturer les parcelles sans trop pénaliser l'ingestion de l'animal. Cet antagonisme entre ingestion maximale par animal et valorisation maximale de l'herbe produit est illustré dans la figure 4. Avec des niveaux d'herbe offerte très élevés (> 60 kg/j (calculés au ras du sol) les vaches sont capables de satisfaire leur appétit. Toutefois, pour des quantités offertes comprises entre 25 et 40 kg MS/jour (calculées au ras du sol) et qui permettent une bonne gestion de la prairie, l'ingestion des vaches laitières reste inférieure à 80-90 % de leur capacité d'ingestion. Cette limitation de l'ingestion permet de comprendre pourquoi les animaux ne sont pas capables d'exprimer pleinement leur potentiel laitier avec de l'herbe seule et que les réponses au concentré sont élevées. En Nouvelle-Zélande, le souci de maximiser le lait/ha conduit à offrir à peine 20 kg d'herbe, ce qui pénalise très fortement les performances individuelles.

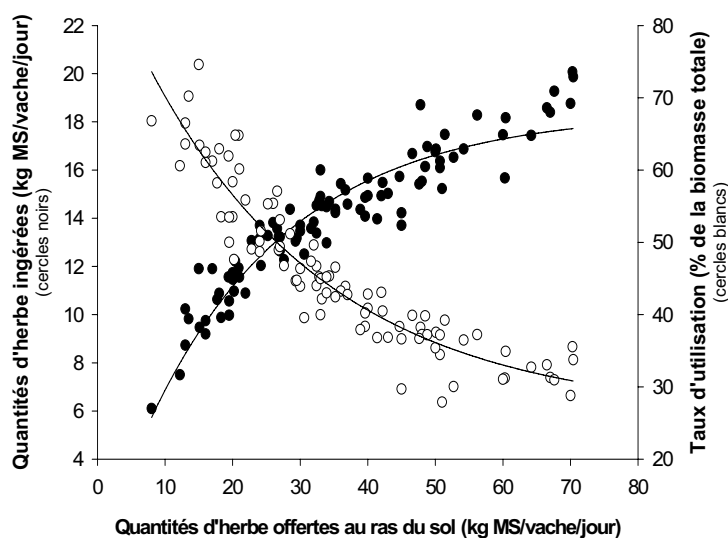


Figure 4. Influence des quantités d'herbe offertes journalières au ras du sol sur les quantités d'herbe ingérées par les vaches laitières et la valorisation de l'herbe en pâturage tournant (adapté de Delagarde *et al.*, 2001b)

Accroître l'ingestion d'herbe de 1 kg de MS/vache/jour nécessite une forte augmentation des quantités offertes (moins de 20 % de l'herbe offerte en plus sera ingéré). Ce résultat explique l'augmentation rapide de la hauteur en sortie de parcelle avec l'accroissement des quantités d'herbe offertes et les difficultés qui s'ensuivent pour gérer les couverts. En conséquence, une conduite trop libérale du pâturage en début de saison en vue d'accroître les performances des vaches laitières se traduit par une dégradation de la qualité de l'herbe en milieu et fin de saison et une baisse des performances de production de lait lors des cycles successifs de pâturage. Cette pratique est donc à éviter.

Le chargement, défini, comme le nombre d'animaux par unité de surface de prairie durant la saison de pâturage, est reconnu de longue date comme le facteur le plus important déterminant la production de lait par hectare. Une synthèse bibliographique rassemblant 131 comparaisons de chargement a montré qu'un accroissement du chargement d'une vache par hectare a augmenté la production de lait de 1650 kg/ha (soit 20 %) et la quantité de matières utiles de 113 kg/ha, tandis que la production de lait par vache diminuait de 1,3 kg/j et la teneur en protéines du lait de 0,5 g/kg (McCarthy *et al.*, 2010). À l'échelle de l'exploitation, la réduction du chargement en vue d'obtenir un accroissement des quantités d'herbe offertes favorables à l'ingestion et à la production laitière des individus n'aura donc finalement qu'un faible impact sur les performances individuelles, mais des effets majeurs sur la production à l'hectare. Plusieurs essais ont montré qu'en pratique, la réponse de production maximale que l'on peut espérer en réduisant le chargement est de 1 kg de lait par vache et par jour pour ne pas pénaliser la gestion des surfaces (O'Brien *et al.*, 1999; Delaby et Peyraud, 2003). Il ne s'agit pas d'une stratégie intéressante. Il est préférable de viser des chargements relativement élevés pour bien valoriser l'herbe, quitte à distribuer un peu de concentré si l'on souhaite aussi maintenir un niveau élevé de performances individuelles.

Pour un chargement donné, le système de pâturage « rationné » dans lequel une nouvelle surface est offerte chaque jour aux animaux et le pâturage « tournant » dans lequel une nouvelle surface est donnée pour plusieurs jours n'affectent pas les productions laitières individuelles et à l'hectare. Le système rationné occasionne plus de travail du fait du déplacement des clôtures, alors que dans le système tournant il faut accepter des variations journalières de la production (elle est maximale les premiers jours quand les animaux broutent le sommet des feuilles et minimale en fin de parcelle lorsqu'ils broutent les horizons plus profonds). De même, les travaux ayant comparé les systèmes tournant et le pâturage libre où les animaux disposent de toute la surface n'ont pas mis en évidence la supériorité de l'un ou l'autre des systèmes. Néanmoins, le pâturage continu semble plus sensible aux conditions climatiques séchantes avec notamment un risque plus important de baisse de la croissance estivale plus conséquente qu'en pâturage tournant. Ceci confère un certain avantage au pâturage tournant dans les régions où la pluviométrie et/ou la température limitent la croissance de l'herbe à certaines périodes.

3. Des pratiques innovantes pour pâturer plus et pâturer mieux

3.1. L'utilisation du trèfle blanc permet d'accroître les performances des animaux tout en améliorant le bilan environnemental du système

Les prairies d'association peuvent soutenir des performances animales élevées. Ainsi, l'ingestion d'herbe et la production laitière sont plus élevées d'en moyenne 1 à 2 kg MS par vache et par jour sur les prairies d'association ray-grass anglais-trèfle blanc que sur prairies de ray-grass pur (Ribeiro-Filho *et al.*, 2005). La différence est d'autant plus importante que la proportion de trèfle dans l'association est élevée et que l'on pâture des repousses plus âgées. Ces effets du trèfle s'expliquent principalement par son ingestibilité très élevée et qui diminue moins vite avec l'âge que celles de la graminée. Il est aussi probable que les feuilles de trèfle soient plus favorables pour la préhension que les gaines et tiges de graminées. Dans nos essais, la vitesse d'ingestion a été plus élevée sur les prairies d'association. Ces prairies d'association sont donc aussi plus souples à conduire, ce qui facilite la gestion puisqu'elles permettent des durées de rotations plus longues (35-40 j au printemps).

Le bénéfice du trèfle en termes de production d'herbe par hectare est d'environ 100 à 250 kg d'engrais azoté minéral selon la contribution du trèfle comparativement aux prairies de graminées pures. À partir d'un suivi de 400 parcelles en fermes commerciales, l'Institut de l'élevage (Le Gall, 2004) a bien montré que la productivité des prairies d'association est directement reliée à la proportion de trèfle avec une production moyenne qui augmente de 0,5 t MS/ha pour un accroissement de 10 % de la proportion de trèfle blanc dans l'association. Dans les conditions de l'Ouest de la France, les prairies produisent presque 10 t MS/ha/an pour des proportions de trèfle atteignant 40-60 % en été. En fait, la production des prairies d'association démarre toujours moins rapidement que celle des graminées fertilisées en sortie d'hiver, car la température du sol doit être d'au moins 9 °C pour que les nodosités du trèfle commencent à absorber l'azote atmosphérique. En revanche, le trèfle blanc pousse plus rapidement que les graminées lorsque les températures sont élevées. Ainsi, les prairies d'association produisent généralement plus de biomasse en été que les

prairies de graminées. Au final, dans de bonnes conditions de sol et une disponibilité en eau suffisante en été, les prairies d'association produisent quasiment autant que des prairies de graminées recevant 200 à 250 kg d'engrais (soit presque 10 t MS/ha), mais avec une courbe de production décalée vers l'été. En conditions séchantes, les prairies d'association produisent moins que les prairies de graminées fertilisées, car les différences de productivité en période estivale ne permettent alors plus de compenser leur démarrage plus tardif au début du printemps.

3.2. Allonger la durée de la saison de pâturage : une opportunité pour consommer plus d'herbe et accroître les performances animales

Compte tenu de la valeur nutritive élevée de l'herbe en regard de celle des fourrages conservés, et de son faible coût, il y a tout intérêt à étendre au maximum la durée de la saison de pâturage. Bien que faible, la croissance de l'herbe en début de printemps ou celle d'automne qui est souvent perdue par sénescence durant l'hiver, pourraient ainsi être mieux valorisées, au moins en Europe de l'Ouest où le climat est relativement doux et pluvieux. À ces périodes, les conditions climatiques, en général humides mais pas très froides, permettent de sortir les animaux quelques heures par jour pour pâturer. Une sortie à plein temps n'est toutefois pas envisageable tous les jours pour éviter les problèmes de piétinement et donc de dégradation des parcelles. Les expériences conduites tant en Irlande (Dillon et Crosse, 1994) qu'au Royaume-Uni (Sayers et Mayne, 2001) ont bien montré qu'un accès de durée limitée au pâturage (3-4 heures/jour) en février-mars ou en novembre-décembre permettait d'améliorer la production laitière de 1 à 3 kg/v/j et de réduire la consommation d'ensilage d'herbe ou de maïs de 4 à 6 kg/jour, réduisant ainsi d'autant la quantité de stocks à récolter. L'intérêt du pâturage d'automne en complément des rations à base d'ensilage de maïs a été confirmé en Bretagne (Chenais et Le Roux, 1996). Les vaches ayant accès aux prairies durant la journée (6 heures/jour) ont produit 1 kg de lait en plus et consommé 5,1 kg d'ensilage de maïs en moins que les vaches en stabulation permanente. Pendant ces périodes, il faut néanmoins veiller à adapter le temps d'accès aux parcelles et le chargement selon les conditions climatiques et le type de sol afin d'éviter le piétinement excessif des parcelles et les risques de lessivage des nitrates en automne.

3.3. Pâture le plus tôt possible en saison facilite la gestion ultérieure du pâturage

À côté des effets bénéfiques sur la production, un démarrage précoce du pâturage en début de printemps aura des effets bénéfiques sur la qualité de l'herbe jusqu'en début d'été et facilitera la gestion du pâturage. Ceci a été clairement démontré dans des essais conduits tant en Bretagne qu'en Irlande. Nous avons comparé l'effet d'un pâturage précoce en mars (à raison de 6 h/jour) ou l'absence de pâturage avant la mi-avril sur la production laitière et la valorisation de la prairie au cours du printemps. La hauteur en fin de parcelle plus élevée et le taux d'utilisation de l'herbe plus faible observés sur les prairies non pâturées en mars renforce l'idée qu'un pâturage trop tardif par rapport au démarrage de végétation entraîne une accumulation importante de biomasse qui sera difficile à valoriser et qui complique la gestion du pâturage lors des cycles suivants. Le pâturage précoce permet aussi de disposer d'une herbe plus feuillue et plus digestible durant les cycles suivants. Le nombre total de journées de pâturage réalisées par hectare avec un pâturage précoce est égal, voire supérieur à celui obtenu avec un premier pâturage plus tardif.

Tableau 1. Effet de la date du 1^{er} pâturage et du chargement ultérieur sur l'utilisation de l'herbe en mai et en juin (adapté de O'Donovan *et al.*, 2004)

Date du 1 ^{er} pâturage	Précoce (mars)		Tardif (avril)	
Chargement (vaches/ha)	4,6	4,0	4,6	4,0
Croissance de l'herbe (kg MS/ha/jour)	66	67	65	58
Herbe offerte (kg MS/vache/jour) ⁽¹⁾	34,6	42,3	40,1	48,5
Digestibilité de la matière organique	0,80	0,80	0,76	0,76
Lait (kg/vache/jour)	19,6	23,1	22,0	23,0
Utilisation de l'herbe (% de l'offert à 5 cm)	104	100	85	81
Hauteur d'herbe après pâturage (cm)	4,6	5,0	6,5	6,8
Nbre total de jours de pâturage (jour/ha)	427	366	350	284

⁽¹⁾ Quantités d'herbe offertes (QHO) estimées au ras du sol.

3.4. Du pâturage à temps partiel lorsque les surfaces accessibles ne sont pas suffisantes

Le pâturage devient plus difficile avec les grands troupeaux. Ce n'est pas la taille du troupeau en tant que telle qui pose problème puisque des grands troupeaux (plus de 400 vaches) pâturent en Nouvelle-Zélande ou en Angleterre. La difficulté vient du manque de surface accessible autour des salles de traite dans beaucoup de régions en Europe. Dans ces situations, le pâturage peut quand même être maintenu en laissant l'accès à l'herbe quelques heures par jour. Ce pâturage à temps partiel, couplé avec un apport limité de fourrages conservés à l'étable, est alors une alternative intéressante pour limiter les besoins de récolte en fourrages conservés et le besoin en complémentation puisque l'herbe est un fourrage riche en énergie et en protéines tout en bénéficiant des atouts de l'herbe pour la qualité des laits. Cette pratique peut aussi avoir de l'intérêt pour la santé et le bien être des animaux.

Nos travaux (Delaby *et al.*, 2009) ont montré que lorsque la durée d'accès au pâturage est réduite (4 ou 8 h par jour), les vaches accroissent la proportion du temps passé à pâturer et leur vitesse d'ingestion. Ces adaptations ne sont toutefois pas suffisantes pour maintenir les niveaux d'ingestion et de production. Un essai a récemment été conduit à Rennes pour examiner les courbes de réponses de la production de lait à des niveaux variables d'apport d'ensilage de maïs pour une durée d'accès de 4 h (de la traite du matin à midi) ou de 8 h par jour (entre les 2 traites). Pour des durées d'accès limitées à 4 h, 15 kg d'ensilage de maïs sont nécessaires pour maximiser la production. Pour un temps d'accès de 8 h, la production atteint un plateau dès que 10 kg d'ensilage sont distribués. L'apport de fourrages conservés doit donc être adapté au temps d'accès et ce niveau peut être choisi soit pour maximiser le lait, soit pour maximiser l'utilisation de la pâture, quitte à produire un peu moins par vache.

Tableau 2. Effet de l'apport d'ensilage de maïs sur les performances de vaches laitières ayant une durée d'accès limitée à la pâture (adapté de Delaby *et al.*, 2009)

Durée d'accès aux parcelles (h/j)	4			8		
	Ensilage de maïs ingéré (kg/j)	5,8	11,2	15,5	5,8	11,1
Lait (kg/vache/j)	22,4	24,7	26,5	23,1	25,7	26,4
Teneur en matières grasses (g/kg)	38,2	37,8	37,8	38,7	37,1	37,8
Teneur en protéines (g/kg)	27,8	28,7	29,8	28,9	29,1	29,7

4. Des outils pour aider à mieux gérer le pâturage

La gestion du pâturage consiste à trouver l'optimum entre deux objectifs : de bonnes performances animales et une bonne valorisation de l'herbe produite. Pour cela plusieurs outils de gestion ont été développés en France (Peyraud et Delaby, 2005).

4.1. Alimentation à l'échelle de la parcelle en cours de pâturage

La hauteur de l'herbe après pâturage est un critère descriptif de l'état du couvert végétal qui peut être utilisé à deux fins pour la gestion du pâturage. En termes d'alimentation de l'animal, une hauteur élevée en fin de parcelle traduit des apports nutritifs peu limitants et des quantités ingérées élevées (mais évidemment faibles lorsqu'elles sont rapportées à la surface). En termes de gestion du pâturage, ces hauteurs indiquent en revanche une accumulation d'herbe résiduelle qu'il sera difficile à valoriser aux cycles suivants. Ainsi, en Bretagne, pour faciliter les décisions de sortie de parcelle, des objectifs de hauteur ont été proposés par les organismes de développement : de 4,5 à 6,0 cm entre le début du printemps et l'été (Dequin *et al.*, 1998). Une approche similaire a été proposée il y a quelque temps en Irlande, mais avec un objectif unique de hauteur sortie de 5,5 cm (Stakelum *et al.*, 1997).

La hauteur en entrée de parcelle peut aussi être utilisée comme critère d'aide à la gestion du pâturage. Une hauteur d'herbe mesurée à l'herbomètre supérieure à 16 cm correspond à une parcelle qui sera difficile à pâturer et induit une diminution de l'ingestion (Peyraud *et al.*, 1996). L'optimum de hauteur se situe entre 12 et 14 cm en entrée de parcelle sur prairies de ray-grass anglais ou d'association ray-grass et trèfle blanc. Comme la hauteur en sortie de parcelle est en partie dépendante de celle observée en entrée de parcelle, l'ingestion d'herbe est mieux prédite lorsque la hauteur de fin de parcelle est exprimée en proportion de la hauteur entrée plutôt qu'en valeur absolue (Delagarde *et al.*, 2001a).

Afin de faciliter le rationnement du troupeau à l'échelle de la parcelle, un modèle de prévision des quantités d'herbe ingérées au pâturage a été récemment développé à Rennes (Delagarde *et al.*, 2010) dans le cadre d'un projet financé par l'Europe (projet GRAZEMORE). Il est aujourd'hui intégré au logiciel INRAtion et une version simplifiée existe sur un chiffrier électronique. Ce logiciel permet de prévoir l'ingestion d'un groupe de vaches conduit en pâturage tournant ou continu dans une

large gamme de situations concernant les animaux, les prairies, la complémentation et les pratiques de pâturage (durée de séjour sur une parcelle, objectif de hauteur sortie, etc.). Il prend en compte la capacité d'ingestion des vaches, les quantités d'herbe offertes, la biomasse/hauteur initiale en pâturage tournant et la durée d'accès journalier au pâturage.

La figure 5 illustre des simulations pour différents couples de hauteur entrée et sortie en pâturage tournant pour un animal standard (600 kg, 25 kg lait/j). L'ingestion par vache est d'autant plus élevée que, pour une même hauteur entrée, on sort de la parcelle avec une hauteur plus élevée. L'ingestion par vache diminue aussi pour une même hauteur sortie si on entre dans des parcelles plus hautes.

Photo de l'herbomètre

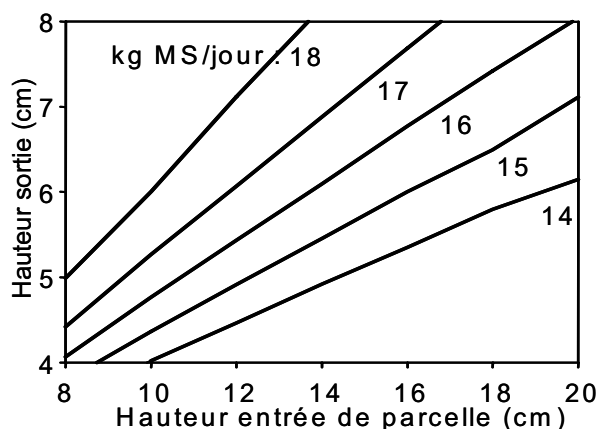


Figure 5. Effet de la hauteur d'herbe (mesurée à l'herbomètre) en entrée et en sortie de parcelle sur l'ingestion d'herbe (adapté de Delagarde *et al.*, 2010)

4.2. Alimentation à plus long terme à l'échelle de l'exploitation

Comme la notion de chargement reste peu spécifique pour chaque exploitation, une méthode basée sur des dates-clefs a été proposée afin de gérer plus précisément le pâturage (Dequin *et al.*, 1998). Elle constitue un premier progrès. Ces dates correspondent à des moments particuliers de la saison de pâturage où l'éleveur doit prendre des décisions importantes. Au printemps, il s'agit des dates de mise à l'herbe, de pâturage « jour et nuit » (les animaux ne rentrent plus à l'étable) et de fermeture du silo. Durant la saison de pâturage, ces dates concernent la réouverture du silo, le retour en stabulation la nuit ou la fin de la saison de pâturage. En Bretagne, six stratégies de gestion du pâturage pour les vaches laitières ont été proposées par les ingénieurs de développement. Ces stratégies ont été adaptées au contexte local breton pour tenir compte de la surface accessible (de 0,23 à 0,70 ha), de la zone pédoclimatique et de la durée de la saison de pâturage seul (de 0 à 210 jours). Les croissances moyennes sont en effet très différentes selon les zones. La Bretagne est la première région française à disposer de référentiels sur la pousse de l'herbe (Figure 6), mais des travaux se poursuivent dans d'autres régions pour établir ce type de références. Cette connaissance de la dynamique moyenne de croissance de l'herbe au cours de l'année est essentielle pour déterminer des stratégies de conduite du pâturage. La détermination de ces courbes doit être la première étape à franchir dans toutes les régions où l'on souhaite développer la pratique du pâturage.

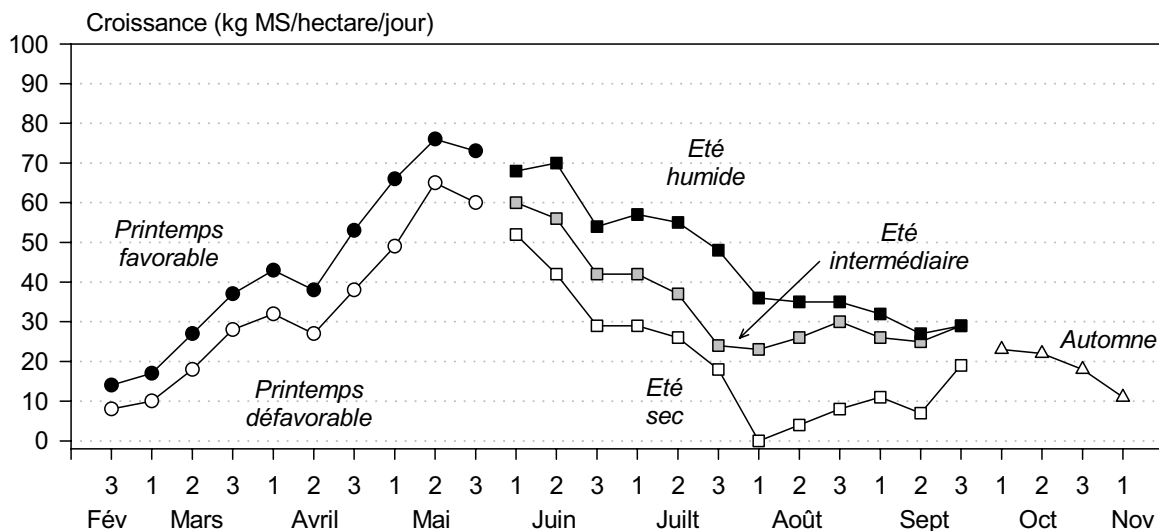


Figure 6. Profil décadaire de croissance de l'herbe en Bretagne selon les conditions pédoclimatiques au cours du printemps, de l'été et de l'automne (Defrance *et al.*, 2005; source Agroturf Bretagne)

Le concept de trésorerie fourragère permet d'évaluer les variations et l'évolution de la quantité d'herbe accumulée au cours du temps. Ce concept a été proposé initialement par Duru *et al.* (1988). Le stock d'herbe disponible (SHD en kg MS) correspond à la biomasse (au-dessus de 5 cm) présente un jour donné sur l'ensemble des parcelles. Cette valeur peut ensuite être exprimée en jours d'avance en divisant le SHD par le nombre de vaches du troupeau et une évaluation des quantités d'herbe ingérées (par exemple, 15 kg/vache/jour). Les recommandations en matière de jours d'avance varient en fonction de la surface accessible par vache, de la saison et du potentiel de production de l'herbe. Elles évoluent de 8-10 jours à la mise à l'herbe (mars-avril) à 10-15 jours au printemps pour atteindre la valeur de 25 à 50 jours en été selon la croissance estivale escomptée. L'évaluation de la biomasse présente sur chaque parcelle est réalisée chaque semaine par l'éleveur, soit par estimation visuelle, soit grâce à la mesure de hauteurs réalisée à l'herbomètre en parcourant l'ensemble des parcelles et à une estimation de la densité exprimée en kg de MS par cm et par hectare. Celle-ci est par défaut prise à 250 kg/ha/cm mais en Bretagne. Une méthode similaire a été développée en Irlande, mais le stock d'herbe est ici exprimé par la quantité totale d'herbe (au-dessus de 4 cm) présente par hectare (Farm Cover - FC, Stakelum *et al.*, 1997).

Les méthodes et outils décrits précédemment présentent le défaut de rester statiques et de ne pas prendre en compte toute la complexité des interactions entre les décisions du moment et les réactions en chaîne induites à plus long terme sur la croissance de l'herbe et l'ingestion. Un modèle (Pâtur'IN) a été développé afin de simuler, sur plusieurs mois et dans différents contextes de climat, les conséquences des différentes stratégies de gestion de l'alimentation et du pâturage (Delaby *et al.*, 2001). Il intègre un sous modèle 'Plante' pour simuler la croissance et l'accumulation de biomasse, un sous modèle 'Troupeau' pour simuler l'ingestion et la production laitière et un sous modèle 'Décision' afin de reproduire les différentes stratégies (système de pâturage, chargement, fertilisation, fauche et complémentation). Les sous modèles 'Plante' et

'Animal' permettent d'intégrer les interactions entre ces deux composantes des systèmes pâturés. Cet outil permet de réfléchir à des stratégies de conduite. À titre d'illustration, il a été utilisé (Delaby et Le Gall, 2001) pour étudier l'influence de la surface disponible pour le pâturage et de la date de mise à l'herbe sur le déroulement du pâturage au cours du printemps. Les simulations montrent toute l'importance de la prise des bonnes décisions en début de saison sur le déroulement de la saison. Une sortie trop précoce (au 1^{er} mars), alors que la surface disponible est faible, conduit à une production d'herbe insuffisante pour nourrir le troupeau ce qui, au final, conduit à utiliser plus de fourrages conservés, alors qu'une sortie à l'herbe plus tardive (1^{er} avril) permet d'utiliser moins d'ensilage pendant la même période. En revanche, lorsque la surface disponible est importante, une sortie précoce permet de valoriser un maximum d'herbe au pâturage et de réduire les besoins en fourrages conservés.

Tableau 3. Effet de la date de mise à l'herbe et de la surface disponible sur le déroulement du pâturage de printemps (entre le 1^{er} mars et le 4 juillet) (adapté de Delaby et Le Gall, 2001)

Surface disponible (ha/vache)	0,25	0,25	0,40
Date de mise à l'herbe	1 ^{er} mars	1 ^{er} avril	1 ^{er} mars
Date de fermeture du silo	10 mai	20 avril	10 avril
Ingestion d'ensilage (kg MS/vache)	700	630	400
Ingestion d'herbe au pâturage (kg MS/vache)	1300	1370	1600
Jours de pâturage à plein temps	55	75	85

Ce logiciel peut aussi être utilisé pour enseigner le pâturage aux étudiants. Un cahier d'exercices pratiques a été proposé en collaboration avec des formateurs (Delaby et al., 2002). Toutefois, ce logiciel reste trop complexe pour une gestion au quotidien en exploitation. Des outils d'aide à la gestion du pâturage plus simples, efficaces et peu exigeant en temps en vue d'une utilisation en exploitation ont été développés et sont aujourd'hui utilisés par les techniciens et contrôleurs laitiers.

5. Conclusion

Le pâturage peut être à la base de systèmes laitiers performants tant du point de vue économique qu'environnemental et produisant un lait de qualité. Les connaissances accumulées ces dernières années permettent de mieux connaître les facteurs affectant les performances animales et à l'hectare et d'imaginer des pistes de progrès.

Il est possible d'atteindre de bons niveaux de production, mais il n'est pas possible d'extérioriser le potentiel génétique laitier qu'avec de l'herbe. L'apport de concentré est sans conteste le facteur le plus facile à mettre en œuvre pour accroître les performances individuelles. C'est aussi un outil de pilotage du pâturage facile à utiliser, car il permet d'accroître les performances des animaux tout en assurant un pâturage suffisamment ras pour maintenir la qualité de l'herbe tout au long de la

saison. En revanche, l'apport de fourrages en complément du pâturage est à réserver aux situations où la production d'herbe n'est pas suffisante pour nourrir le troupeau, c'est-à-dire lorsqu'on cherche à étendre les périodes de pâturage en dehors des périodes classiques pour tirer parti de toute la production annuelle d'herbe, ou durant le trou estival de croissance ou encore lorsque les surfaces disponibles ne sont pas suffisantes pour nourrir le troupeau et qu'on souhaite faire du pâturage à temps partiel. L'utilisation des prairies d'association, et plus généralement les prairies multi-espèces, est à encourager, car elles permettent de bonnes performances des animaux et de réduire l'utilisation d'engrais minéraux. Elles permettent aussi de mieux étaler la production d'herbe sur l'année.

La gestion du pâturage reste toujours difficile ce qui souvent rebute les éleveurs. Des premiers outils et méthodes d'aide à la décision qui peuvent encourager les éleveurs à utiliser le pâturage en améliorant leur confiance dans son utilisation ont été développés. Pour être opérationnels en exploitation, ces méthodes et outils doivent être simples d'utilisation, nécessiter un temps d'enregistrement limité et des variables d'entrée facilement disponibles. Un renforcement des collaborations entre la recherche et les organismes de développement agricole s'avère nécessaire pour la mise au point d'outils conviviaux réellement destinés à la prise de décision au quotidien en exploitation agricole. Le développement de tels outils passe toujours par l'élaboration de référentiels de croissance d'herbe adaptés à chaque région. Ces référentiels sont indispensables à acquérir mais demandent du temps.

6. Bibliographie

- Arrouays., D., J. Balesdent, J.C. Germon, P.A. Jayet, J.F. Soussana et P. Stengel. 2002. *Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France?* Expertise scientifique collective. Rapport INRA, 332 p.
- Basset-Mens C., S. Ledgard et A. Carran. (2005) *First life cycle assessment of milk production from new Zealand dairy farm systems.* www.anzsee.org/anzsee2005papers/Basset-Mens_LCA_NZ_milk_production.pdf.
- Besnard A., A. Montarges-llellahi et A. Hardy. 2006. *Systèmes de culture et nutrition azotée. Effets sur les émissions de GES et le bilan énergétique.* Fourrages 187, 311-320.
- Chenais F. et M. Le Roux. 1996. *Réduction de la part de maïs dans les systèmes d'alimentation des vaches laitières. Résultats expérimentaux obtenus en Bretagne.* Document EDE-Chambre d'Agriculture de Bretagne, Rennes, 12-15.
- Chenais F., J.M. Seuret, P. Brunshwig et J.L. Fiorelli. 2001. *Pour un rôle croissant du pâturage dans les systèmes bovins laitiers.* Fourrages, 166, 257-277.
- Couvreur S., C. Hurtaud, C. Lopez, L. Delaby et J.L. Peyraud. 2006. *The linear relationship between the proportion of fresh grass in the cow diet and milk fat characteristics and butter properties.* J. Dairy Sci. 89, 1956-1969.

- Decourtye A. et C. Bouquet. 2010. *Une gestion des couverts herbacés favorable aux abeilles et à la petite faune de plaine*. Fourrages, 202, 117-124.
- Defrance P., J.M. Seuret et L. Delaby. 2005. *Grass growth profiles in Brittany. In utilisation of grazed grass in temperate animal systems*, J.J. Murphy (ed). Proceeding of a satellite workshop on the XXth International Grassland Congress, Cork, Ireland.
- Delaby L., R. Delagarde et J.L. Peyraud. 2009. *Quelle quantité de complément distribuer aux vaches laitières lors de temps d'accès limité au pâturage?* Renc. Rech. Rum., 16, 50.
- Delaby L., S. Fontirroig, S. Granger, P. Pierret et J.M. Pillet. 2002. *Pâtur'In expliqué aux élèves*. CNERTA (eds). Livret pédagogique, 95 pp.
- Delaby L., A. Le Gall. 2001. *Influence de la surface en herbe disponible et de la date de mise à l'herbe sur les principales caractéristiques du pâturage des vaches laitières au printemps*. Renc. Rech. Rum., 8, 223.
- Delaby L. et J.L. Peyraud. 2003. *The effect of two contrasting grazing managements and level of concentrate supplementation on the performance of grazing dairy cows*. Anim. Res., 52, 437-460.
- Delaby L., J.L. Peyraud et R. Delagarde. 2003. *Faut-il compléter les vaches laitières au pâturage?* Prod. Anim., 16 (3), 183-195.
- Delaby L., J.L. Peyraud et P. Faverdin. 2001. *Pâtur'In : Le pâturage des vaches laitières assisté par ordinateur*. Fourrages, 167, 385-398.
- Delaby L., J.L. Peyraud et R. Delagarde. 2001. *Effect of the level of concentrate supplementation, herbage allowance and milk yield at turn-out on the performances of dairy cows in mid lactation at grazing*. Anim. Prod. 73, 171-181.
- Delaby L. et J.L. Peyraud. 2003. *The effect of two contrasting grazing managements and level of concentrate supplementation of the performance of grazing dairy cows*. Anim. Res. 52, 437-460.
- Delaby L. et D. Pomies. 2004. *Intérêt d'un apport de concentré ou de foin chez les vaches laitières au pâturage en zone de demi-montagne*. Renc. Rech. Rum., 11, 300.
- Delagarde R., J.L. Peyraud, J. Parga et H. Ribeiro. 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., S. Prache, P. D'Hour et M. Petit. 2001b. *Ingestion de l'herbe par les ruminants au pâturage*. Fourrages, 166, 189-212.
- Delagarde R., P. Faverdin, C. Baratte et J.L. Peyraud. 2010 *GrazeIn: a model of herbage intake and milk production for grazing dairy cows. 2. Prediction of intake under rotational and continuously-stocked grazing management*. Grass and For. Sci., (in press).

- Dequin A., D. Follet, M. Grasset, A. Le Gall, P. Roger et M. Thebault. 1998. *Cinq menus pour vaches laitières au pâturage*. Document EDE-Chambres d'Agriculture de Bretagne.
- Dillon P. et S. Crosse. 1994. *Summer milk production. The role of grazed grass*. Ir. Grass. Anim. Prod. Association J. 28, 23-25.
- Dillon P., T. Hennessy, L. Shalloo, F. Thorne et B. Horan. 2008. *Future outlook for the Irish dairy industry: a study of international competitiveness, influence of international trade reform and requirement for change*. International Journal of Dairy Technology 61, 16-29.
- Dollé J.B., A. Gac et A. Le Gall. 2009. *L'empreinte carbone du lait et de la viande bovine*. Renc. Rech. Rum., 16, 233-236.
- Dumont B., A. Farruggia et J.P. Garell. 2007. *Pâturage et biodiversité des prairies permanentes*. Renc. Rech. Rum. 14, 17-24.
- Duru M., J.L. Fiorelli et P.L. Osty. 1988. *Proposition pour le choix et la maîtrise du système fourrager*. I. Notion de trésorerie fourragère. Fourrages, 113, 37-56.
- Ledgard S., R. Schils, J. Eriksen et J. Luo. 2009. *Environmental impacts of grazed clover/grass pastures*. Irish Journal of Agricultural Research 91, 91-107.
- Le Gall A., E. Bèguin, J.B. Dollé, V. Manneville et A. Pflimlin. 2009. *Nouveaux compromis techniques pour concilier efficacité économique et environnementale en élevage herbivore*. Fourrages 198, 131-151.
- Le Gall A. et J.M. Guernion. 2004. *Associations graminées trèfle blanc*. Collection Synthèse. Institut de l'élevage publications, Paris, 64 pp.
- Le Rohellec C. et C. Mouchet. 2004. *Évaluation de l'efficacité économique d'exploitations laitières en agriculture durable*. Une comparaison aux références du RICA Colloque SFER novembre 2004. 17 p.
- McCarthy B., L. Delaby, K.M. Pierce, F. Journot et B. Horan. 2010. *Meta-analysis of the impact of stocking rate on the productivity of pasture-based milk production systems*. Animal (in press).
- O'Brien B., P. Dillon, J.J. Murphy, R.J. Mehra, T.P. Guinee, J.F. Connolly, A. Kelly et P. Joyce. 1999. *Effect of stocking density and concentrate supplementation of grazing dairy cows on milk production, composition and processing characteristics*. J. Dairy Res., 66, 165-176.
- O'Donovan M., L. Delaby, J.L. Peyraud. 2004. *Effect of time of initial grazing date and subsequent stocking rate on pasture production and dairy cow performance*. Anim. Res. 53, 489-502.
- Peyraud J.L., R. Delagarde et L. Delaby. 1995. *Influence des conditions d'exploitation du pâturage et des caractéristiques animales sur les quantités ingérées par les vaches laitières : analyse et prédiction*. Renc. Rech. Ruminants 2, 37-44.

- Peyraud J.L. et L. Delaby. 2001. *Ideal concentrate feeds for grazing dairy cows – Response to concentrates in interaction with grazing management and grass quality*. In P.G. Garnsworthy and J. Wiseman (Edts), 'Recent Advances in Animal Nutrition', University of Nottingham University Press, 203-220.
- Peyraud J.L., et L. Delaby. 2005. *Combiner la gestion optimale du pâturage et les performances des vaches laitières : enjeux et outils*. Prod. Anim. 18 (4), 231-240.
- Peyraud J.L., A. Le Gall, L. Delaby, P. Faverdin, P. Brunschwig et D. Caillaud. 2009. *Quels systèmes fourragers et quels types de vaches laitières demain?* Fourrages. 197, 47-70.
- Peyraud J.L., A. Le Gall et A. Lüscher. 2009. *Potential food production from forage legume-based-systems in Europe: an overview*. Ir. J. Agric. Food Res. 48: 115–135.
- Peyraud J.L., R. Mosquera-Losada et L. Delaby. 2004. *Challenges and tools to develop efficient dairy systems based on grazing: how to meet animal performances and grazing management*. In A. Lüscher, B Jeangros, W. Kessker, O. Huguemin, M. Lobsiger, N. Millar and D. Suter (Edts), "Land Use Systems in Grassland dominated Regions", 20th EGF Meeting, 373-384.
- Raison C., H. Chambault, A. Le Gall et A. Pflimlin. 2008. *Impact du système fourrager sur la qualité des eaux*. Enseignements issus du projet Green Dairy. Fourrages 193, 3-18.
- Ribeiro-Filho H.M.N., R. Delagarde et J.L. Peyraud. 2005. *Herbage intake and milk yield of dairy cows grazing perennial ryegrass swards or white-clover/perennial rye grass swards at low and medium herbage allowance*. Anim. Feed Sci. Technol., 119, 13-27
- Sayers H.J. et C.S. Mayne. 2001. *Effect of early turnout to grass in spring on dairy cows performance*. Grass For. Sc. 56, 259-267.
- Stakelum G., M. O'Donovan et J. Maher. 1997. *Simplified grazing management for high performances from the cows*. In Technology for profitable farming. National Dairy Conference, Fermoy 20th March, Teagasc, 33-53.
- Van den Pol-van Dasselaar A., M. De Haan et A.P. Philipsen. 2010. *Simulation of the effect of grass intake on the farmer's income*. EGF meeting in Kiel. Grassland Science in Europe 15, 100-103.