

Dynamilk : un modèle à l'échelle de l'exploitation bovine laitière herbagère pour explorer l'adéquation entre les dynamiques des productions d'herbe et de lait

JACQUOT A.L. (1, 2), BAUMONT R. (2, 1), DELABY L. (3), POMIÈS D. (2, 1), LAMADON A. (2, 1), BRUNSCHWIG G. (1, 2)

(1) Clermont Université, VetAgro Sup, UMR Herbivores, BP 10448, F-63000, Clermont-Ferrand, France

(2) INRA, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

(3) INRA, UMR1348 INRA-AgroCampus PEGASE, Domaine de la Prise, 35590 Saint-Gilles, France

RESUME - Améliorer l'autonomie alimentaire et fourragère permet d'améliorer la compétitivité des systèmes laitiers herbagers et leur capacité à résister à des changements ou aléas climatiques. Une meilleure adéquation entre les dynamiques de besoins des animaux et d'offre herbagère permettrait à ces systèmes d'atteindre un meilleur degré d'autonomie. Pour explorer des stratégies de conduite contrastées et comprendre les compromis qu'il est possible d'atteindre entre production, autonomie fourragère et utilisation des prairies, Dynamilk, un modèle de simulation déterministe à l'échelle de l'exploitation a été construit. Deux systèmes contrastés par leur dynamique annuelle de production ont été comparés sur leurs performances de production : GA (vêlages groupés en automne-hiver) et GP (vêlages en hiver-printemps). Pour chaque système, l'impact de la diminution des apports de concentrés, de l'augmentation du chargement et la réponse du système sur une série climatique longue comportant plusieurs aléas ont été simulés selon un plan d'expérience informatique. Les résultats montrent que : i) bien qu'ayant des niveaux de performances proches à faible chargement, le système GP est moins sensible aux aléas climatiques que GA ; ii) les performances des systèmes répondent positivement à une intensification de la production par hectare du fait d'une sous-utilisation de l'herbe à faible chargement ; iii) les effets de la réduction des apports de concentrés sont amortis par une meilleure valorisation de l'herbe.

Dynamilk: a farm-scale model to explore the balance between forage and milk production in grass based systems

JACQUOT A.L. (1), BAUMONT R. (2), DELABY L. (3), POMIÈS D. (2), LAMADON A. (2), BRUNSCHWIG G. (1)

(1) VetAgro Sup, UMR Herbivores, BP 10443, 63000 Clermont-Ferrand, France

SUMMARY

Leaning towards a better feed and forage self-sufficiency enables to improve dairy farm competitiveness and their ability to cope with climatic events and production constraint changes. A better match between the dynamics of dairy cattle needs and herbage supply could allow the farming system to enhance forage self-sufficiency at the farm scale. Building a farm-scale model enables to explore different dairy systems with contrasting production strategies in order to understand what are the possible trade-offs between animal production, feed and forage self-sufficiency and sustainable grassland use. Such a dynamic model, called Dynamilk, has been developed. Two systems were simulated, the first one based on calving distribution from August to February, called GA, and the second one from March to June, called GP. Several simulations were accomplished to evaluate the impact of stocking rate increase and concentrate decrease on animal production, herbage utilization and forage self-sufficiency.

INTRODUCTION

L'autonomie alimentaire est un élément déterminant de la compétitivité des élevages bovins herbagers en particulier pour mieux résister aux aléas climatiques et s'adapter à des changements de contraintes de production (Nettier et al., 2010). En zone de montagne, cette sensibilité est d'autant plus marquée que le système est soumis à de fortes contraintes : i) géographiques et pédoclimatiques limitant les usages possibles des parcelles (forte dominante, voire exclusivité de prairies permanentes); ii) réglementaires en cas d'adhésion à un cahier des charges de type AOP limitant les types de fourrages ou les niveaux d'aliments concentrés autorisés. Dans ces conditions, une meilleure adéquation entre les dynamiques de besoins des animaux et d'offre herbagère permettrait à ces systèmes d'atteindre un meilleur degré d'autonomie fourragère et alimentaire, et d'être plus résilients face à des variations de l'environnement. Les besoins varient selon les caractéristiques zootechniques et la conduite du troupeau avec notamment la répartition des vêlages. La dynamique de l'offre herbagère dépend des caractéristiques du couvert végétal (la composition botanique), des conditions climatiques et de la gestion du système fourrager. Nous avons donc construit un modèle de simulation déterministe à l'échelle de l'exploitation (Dynamilk) afin d'explorer des stratégies de conduite contrastées qui permettent de décrire et analyser les compromis possibles

entre niveau de production, autonomie fourragère et utilisation durable des prairies.

Selon un plan d'expérimentation informatique, des simulations ont été effectuées afin de tester deux systèmes de production ont été représentés dans Dynamilk par deux sous-modèles biotechniques : i) les « ressources », composées du parcellaire et des stocks fourragers ; ii) le « troupeau laitier ». Les deux éléments biotechniques sont pilotés par le sous-modèle « conduite » qui représente l'éleveur et ses décisions. L'architecture de Dynamilk est présentée dans la Figure 1. Les principales entrées du modèle sont : les données climatiques quotidiennes, la description du système de production avec les caractéristiques des parcelles et du troupeau laitier. Les éléments de stratégie de production et le paramétrage du pilotage sont définis dans le fichier « scénario ». Ces entrées permettent de décrire et simuler des situations réelles ou créées *de novo*. Dynamilk prédit la production laitière quotidienne en réponse à l'offre herbagère

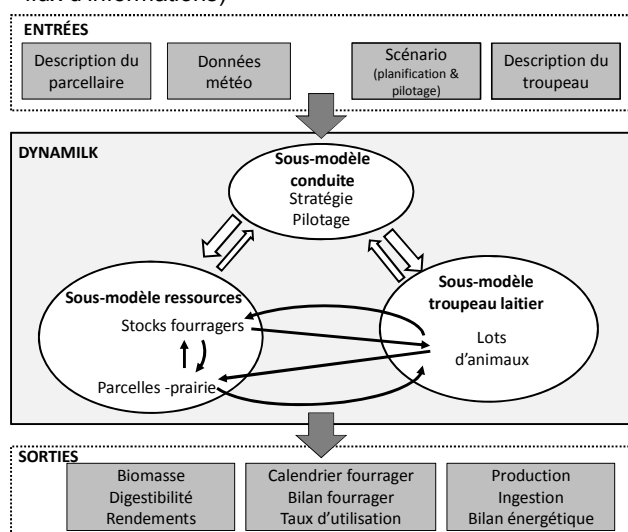
1. MATERIEL ET METHODES

1.1. DYNAMILK : UN MODELE A L'ECHELLE DE L'EXPLOITATION

Dynamilk est un modèle dynamique qui simule jour après jour les interrelations entre le troupeau laitier, les ressources alimentaires et les choix de l'éleveur. Le système de production est représenté dans Dynamilk par deux sous-modèles biotechniques : i) les « ressources », composées du parcellaire et des stocks fourragers ; ii) le « troupeau laitier ». Les deux éléments biotechniques sont pilotés par le sous-modèle « conduite » qui représente l'éleveur et ses décisions. L'architecture de Dynamilk est présentée dans la Figure 1. Les principales entrées du modèle sont : les données climatiques quotidiennes, la description du système de production avec les caractéristiques des parcelles et du troupeau laitier. Les éléments de stratégie de production et le paramétrage du pilotage sont définis dans le fichier « scénario ». Ces entrées permettent de décrire et simuler des situations réelles ou créées *de novo*. Dynamilk prédit la production laitière quotidienne en réponse à l'offre herbagère

ou fourragère et aux quantités d'aliments concentrés autorisés. Par conséquent, l'énergie offerte par la ration, en hiver comme au pâturage, ne couvre pas toujours les besoins des animaux, déterminés par leurs statuts physiologiques (stades de lactation et gestation, âge...). Dynamilk prévoit également les productions annuelles de biomasse du couvert herbacé, les rendements fourragers et leur digestibilité, les taux annuels d'utilisation de la biomasse produite, les niveaux d'ingestion et la variation quotidienne du poids vif et de la note d'état corporelle des animaux. A partir de ces éléments le degré d'autonomie fourragère et alimentaire, les variations de productions laitières annuelles, saisonnières et quotidiennes peuvent être calculées.

Figure 1 : Architecture de Dynamilk comportant trois sous-modèles en interaction et les principales entrées et sorties de Dynamilk (→ flux de biomasse et matière, ⇌ flux d'informations)



Le modèle de « conduite » applique les règles de pilotage des principales pratiques : fauche, tri et stockage des fourrages, conduite alimentaire et du pâturage des lots d'animaux. La croissance et la qualité de chaque parcelle du modèle « ressources » est simulée selon le modèle de Joven et al. (2006). Le modèle du « troupeau laitier » est composé de la structure démographique du troupeau calculée à partir de la distribution des vêlages et d'un modèle dynamique qui simule l'ingestion et la production quotidiennes pour chaque lot d'animaux, les vaches tarées, les génisses et les vaches en lactation. Pour ces dernières, le modèle distingue les primipares des multipares et le début de la suite de lactation. La production laitière est simulée selon les principes des équations de l'Inra (Faverdin et al., 2007) et du logiciel Patur'in (Delaby et al., 2001). Par construction, au cours des simulations, le système animal est réinitialisé chaque année à la date du début des vêlages. En revanche, les effets du climat sur les prairies, et par conséquent sur le bilan fourrager, se cumulent d'années en années.

Le modèle animal a été validé avec des données expérimentales issues de l'Unité Expérimentale des Monts d'Auvergne (Jacquot, 2012) et le modèle global avec les données modélisées du cas-type Bovin Lait n°15 (BL15), illustratif des systèmes laitiers spécialisés de la zone volcanique tout herbe (Réseaux d'Élevage, Auvergne). Avec les données climatiques de la station météorologique de Marcenat (Cantal, 1 060 m d'altitude) de 2005 à 2010, Dynamilk fournit des résultats de simulation cohérents avec les données du BL15 et permet également d'évaluer les variations interannuelles (Tableau 1).

Tableau 1 : Comparaison des données du cas-type BL15 (Réseaux d'élevage) et des résultats des simulations avec Dynamilk (moyenne et plage de variation pour 5 années)

	Données BL15	BL15 simulé
Production laitière annuelle (kg de lait)	313 241	311 882 (308 005–318 747)
Fourrages récoltés (t MS/UGB)	2,9	2,5 (1,9 – 3,1)
Bilan fourrager (t MS/UGB)	0	0,07 (-0,44 – +0,62)
Valeur énergétique Ensilage (UFL)	0,82	0,80 (0,76 – 0,83)
Valeur énergétique Regain (UFL)	0,75	0,80 (0,75 – 0,83)

1.2. SIMULATIONS

Les principaux leviers pour améliorer le degré d'autonomie alimentaire à l'échelle de l'exploitation sont : i) une meilleure adéquation entre les besoins des animaux et l'offre alimentaire (Dillon et al., 1995 ; Steinwider et al., 2010); ii) une réduction des intrants (Potsch, 2007); iii) une meilleure valorisation de l'herbe pâturée (Peyraud et Delaby, 2005; Martin et al., 2011). Afin d'étudier l'effet de l'adéquation entre les besoins alimentaires et l'offre herbagère, nous avons exploré deux systèmes de production contrastés, l'un réalisant la majorité de sa production laitière en période hivernale et l'autre en période de pâturage. Les deux systèmes diffèrent par la période de vêlages, soit groupés en automne (GA, de sept à fév), soit au printemps (GP, de mars à mai). La SAU, les caractéristiques du parcellaire et du troupeau (potentiel de 7 000 kg de lait par lactation), le chargement (0,94 UGB/ha) et les apports de concentrés (1 200 kg/VL/an) étaient identiques entre les deux systèmes (basés sur des données d'enquêtes, Jacquot et al., 2010). Seul le rapport entre surface de fauche et surface pâturée au printemps varie (48% de fauche pour GA et 38% pour GP). Pour les deux systèmes, nous avons ensuite étudié les effets de la diminution des apports d'aliments concentrés de 1 200 à 800, 400 et 0 kg/VL (afin d'améliorer le degré d'autonomie alimentaire) et de l'augmentation du chargement de 0,94 à 1,14, 1,34 et 1,54 UGB/ha à l'échelle de l'exploitation (en vue d'accroître la valorisation de l'herbe pâturable), toutes choses égales par ailleurs. Ensuite, nous avons étudié l'évolution des performances de GA et GP sur une série climatique longue et la capacité des deux systèmes à faire face à des aléas et/ou tendances climatiques. Les performances sont évaluées, entre autres, par la production laitière annuelle, le bilan fourrager (ventes de fourrages moins achats plus la variation annuelle du stock ramené au nombre d'UGB), les calculs d'autonomie alimentaire et fourragère (Lherm et Benoit, 2003) et le taux d'utilisation des parcelles (rapport entre le prélèvement de biomasse par les animaux et le cumul annuel de la biomasse produite quotidiennement, estimé au ras du sol). Les séries de données climatiques de Marcenat utilisées pour les simulations sont celles des années 2007 à 2011 pour les trois premières questions et de 1995 à 2011 pour la série longue.

2. RESULTATS

2.1. ETUDE DE DEUX DYNAMIQUES CONTRASTÉES DE BESOINS ALIMENTAIRES

Les productions laitières moyennes annuelles par animal des deux systèmes diffèrent de façon significative, le système GP produisant plus que le système GA avec une variation interannuelle moindre (Tableau 2). L'autonomie fourragère est totale pour le système GA et quasi-totale pour le système GP qui achète en moyenne 1 t de MS de fourrages par an pour nourrir le troupeau soit 12 kg par UGB et par an. Les bilans fourragers annuels moyens sont excédentaires ou équilibrés pour les deux systèmes, si l'on tient compte des ventes. Toutefois, le bilan fourrager du système GP pâtit

d'une moindre surface récoltée en première coupe. Les deux systèmes présentent un taux d'utilisation de la biomasse produite quotidiennement sur les parcelles pâturées par les vaches laitières relativement faible, d'environ 24% (le cumul de la biomasse produite quotidiennement sur une parcelle ne tient pas compte de l'abscission ni de la sénescence, Jouven et al., 2008). La quantité d'herbe ingérée en moyenne au

pâturage est significativement plus importante pour le système GP puisque les vaches laitières effectuent la majeure partie de leur lactation au pâturage, contrairement à celles de GA qui sont en fin de lactation ou tarées. Les valeurs énergétiques moyennes de l'herbe ingérée au cours du pâturage sont comparables entre les deux systèmes.

Tableau 2 : Comparaison des performances annuelles moyennes des deux systèmes contrastés GA et GP sur la série climatique 2007-2011 (moyenne et écart-type)

	GA	GP	ANOVA (p-value)
Production laitière annuelle (kg de lait/VL)	6 600 78	6 759 56	0,006
Bilan fourrager (t MS/UGB)	0,52 0,51	0,34 0,37	NS
Fourrages achetés (t MS)	0 0	1,1 2,5	NS
Taux d'utilisation de la biomasse - pâtures (%)	25 3	23 3	0,401
Quantité d'herbe ingérée (kg MS/VL/j)	13,7 0,2	15,0 0,1	<0,0001
Valeur énergétique herbe ingérée (UFL)	0,84 0,01	0,83 0,02	0,700

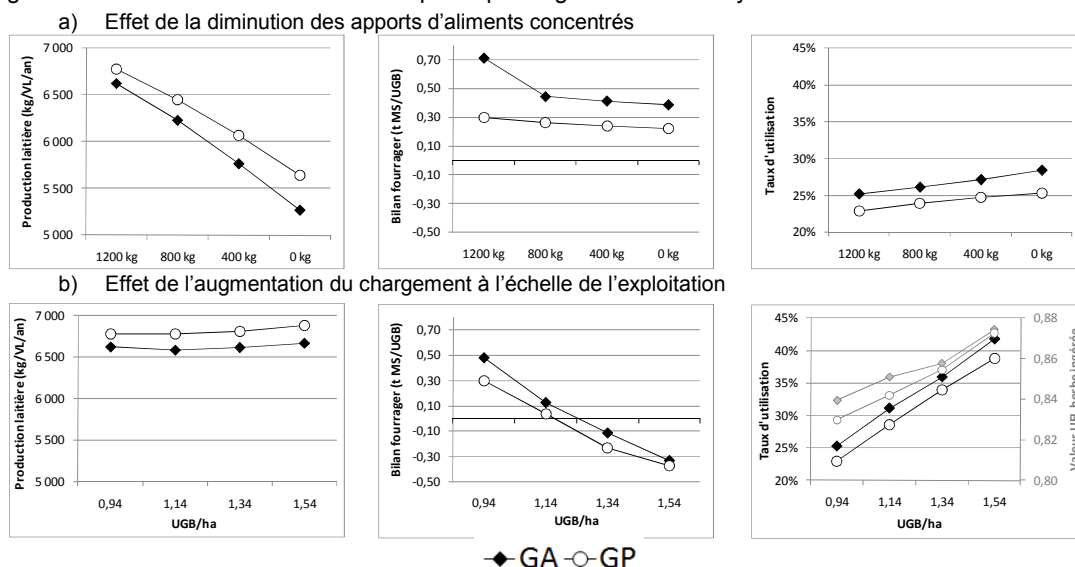
2.2. IMPACTS DE LA DIMINUTION DES APPORTS D'ALIMENTS CONCENTRÉS

La diminution des apports d'aliments concentrés dégrade sensiblement les performances laitières avec une baisse de la production laitière non linéaire selon la réduction des apports de concentrés avec un rapport de 0,90 à 1,17 kg de lait en moins par kg de concentré économisé pour GA et 0,83 à 1,05 kg pour GP (Figure 2 a). Malgré la substitution entre le concentré économisé et les fourrages consommés, le bilan fourrager reste excédentaire pour les deux systèmes, l'autonomie fourragère est toujours atteinte et l'autonomie alimentaire augmente proportionnellement à la diminution du concentré. Cette réduction permet d'améliorer la valorisation de l'herbe pâturée avec une augmentation légère de 3 et 2% des taux d'utilisation de la biomasse produite pâturées par les vaches laitières pour GA et GP entre les deux niveaux extrêmes de concentrés apportés.

2.3. EFFETS DE L'AUGMENTATION DU CHARGEMENT

Comme le montre le graphique des taux d'utilisation de la biomasse produite (Figure 2 b), l'augmentation du chargement à l'échelle de l'exploitation permet d'améliorer la valorisation de la biomasse offerte des pâtures (+16% de biomasse utilisée entre 0,94 et 1,34 UGB/ha). Cette amélioration s'accompagne d'un maintien des performances laitières pour GA (+46 kg/VL/an) et même d'une amélioration pour GP (+109 kg/VL/an entre les deux chargements extrêmes). Ces performances sont dues, notamment pour le système GP, à l'amélioration de la valeur énergétique moyenne de l'herbe ingérée au cours du pâturage qui atteint plus de 0,87 UFL. Cependant, le maintien et/ou l'amélioration des performances laitières et d'utilisation des ressources herbacées s'effectuent au détriment du bilan fourrager, notamment pour GA, puisque la surface fauchable reste identique quels que soient les niveaux de chargements et que le modèle compense les manques par des achats de fourrages. Pour les deux systèmes, les bilans fourragers restent excédentaires ou à l'équilibre jusqu'au chargement de 1,14 UGB/ha, soit un troupeau constitué de 62 vaches laitières et de leur suite sur 72 ha.

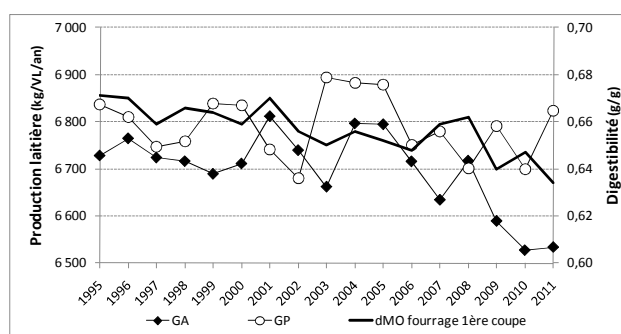
Figure 1 : Effets de la diminution des apports de concentrés et de l'augmentation du chargement sur les performances laitières, bilan fourrager et taux d'utilisation de la biomasse par le pâturage sur les deux systèmes



2.4. VARIATIONS ET ALÉAS CLIMATIQUES

Au cours de la série climatique longue simulée, la variation interannuelle de la production laitière des deux systèmes est respectivement de 284 et 211 kg/VL/an pour, respectivement, GA et GP entre les deux années les plus extrêmes. Les performances laitières de GP semblent se maintenir alors que celles de GA accusent une dégradation dès 2004 et qui s'amplifie à partir de 2007. Le système GA effectuant la majeure partie de la production laitière en période hivernale, donc à partir de fourrages conservés, cette dégradation pourrait s'expliquer par une baisse de la qualité des fourrages récoltés en première coupe. En effet, la valeur UFL moyenne de ces fourrages est de 0,79 entre 1995 et 2003 contre 0,75 entre 2003 et 2011. La corrélation entre la digestibilité des fourrages récoltés en première coupe et la production annuelle des vaches est de 0,47 pour GA et de 0,00 pour GP. Le système GA semble ainsi plus sensible à la variation des conditions climatiques que le système GP.

Figure 2 : Evolution de la production laitière annuelle (en kg/VL/an) de GA et GP et de la digestibilité du fourrage récolté en première coupe



3. DISCUSSION

Les deux systèmes de production GA et GP, avec un faible chargement (0,94 UGB/ha) et 1 200kg d'aliments concentrés par vache et par an, sont tous deux autonomes d'un point de vue fourrager. Le système GP présente de meilleures performances laitières que GA, mais valorise moins l'offre herbagère sur les prairies pâturées par les vaches laitières. En effet, la surface attribuée au pâturage de ces dernières est encore plus grande pour GP que GA et n'est pas compensée par des animaux ayant de plus forts besoins. Cependant, les deux taux d'utilisation de la biomasse sont bien inférieurs aux taux optimum entre utilisation et maintien de la biodiversité proposés par Jouven et Baumont (2008) pour de telles pâtures. A faible chargement, les deux systèmes ne valorisent pas complètement l'herbe disponible. Selon les simulations, compte-tenu de la conduite en pâturage tournant simplifié, les deux systèmes présentent une marge de manœuvre pour : i) rechercher une plus grande autonomie alimentaire par la diminution des apports d'aliments concentrés ; ii) intensifier la production par hectare pâturé par l'augmentation du chargement global. Par rapport à ces deux objectifs, un meilleur ajustement des besoins alimentaires du troupeau à la dynamique de croissance de l'herbe en groupant les vêlages au printemps (GP) semble permettre d'obtenir des performances laitières légèrement plus élevées. De plus, ce système semble mieux résister aux aléas climatiques car la production laitière dépend peu de la qualité des fourrages récoltés au printemps qui semble avoir diminué dans les dernières années de la simulation du fait de récoltes réalisées à un niveau de somme de températures plus élevé. Cependant, ces résultats sont à nuancer puisque deux expérimentations étudiant un système avec vêlages de printemps sur plusieurs années ont dû faire face à des problèmes de reproduction importants (Fiorelli et al., 2010 ; Steinwider et al., 2010).

Le système initial, construit à partir de données d'enquêtes, présente un chargement légèrement plus faible que celui du cas-type BL15 (0,94 UGB/ha contre 0,99). Ces systèmes observés dans le Massif central semblent s'être constitués en réaction aux sécheresses survenues dans le début des années 2000 afin d'assurer avant tout le stock fourrager. Il en découle une sous utilisation de l'herbe pâturée et donc une baisse de sa valeur alimentaire, d'où l'accroissement de la production laitière par vache décrite par Dynamilk en lien avec l'augmentation du chargement qui va à l'inverse de ce qui est *a priori* attendu. Avec des systèmes initialement plus équilibrés, comme le cas-type BL15, il est probable que l'évolution de la production laitière liée à une élévation du chargement serait plus atténuée. Enfin, dans ce travail, nous n'avons pas fait varier la productivité et la qualité des prairies. Celles-ci constituent un autre levier qu'il est possible d'explorer avec Dynamilk.

CONCLUSION

Dynamilk est un modèle dynamique reproduisant le fonctionnement d'une exploitation laitière herbagère. Il permet d'acquérir des données sur l'évolution de chaque élément du système de production, mais aussi sur les variations de productions laitières interannuelles et de rendre compte de l'effet de la variation des conditions climatiques, à travers notamment la qualité des fourrages conservés, et de l'offre herbagère, variables d'une année sur l'autre. Dynamilk permet ainsi d'effectuer un grand nombre de simulations afin d'explorer des systèmes de production contrastés ou innovants, d'étudier l'impact d'aléas, de changements de contraintes ou de pratiques et de confronter les résultats à des expérimentations ou des systèmes réels.

Nous remercions toutes les personnes ayant participé à l'élaboration du simulateur Dynamilk.

Delaby L., Peyraud J.L., Faverdin P., 2001. Fourrages, 167, 385-398

Dillon P., Crosse S. et al., 1995. Grass Forage Sci., 50, 3, 286-299

Faverdin P., Delagarde R. et al., 2007. In Quae (Editor), Alimentation des bovins, ovins et caprins, Table INRA, Versailles, France, 9-58

Fiorelli J.L., Coquil X. et al., 2010. Ren. Rech. Ruminants, 17, 45-48

Jacquot A.L., Blanc F. et al., 2010. Ren. Rech. Ruminants, 17, 61

Jacquot A.L., 2012. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 251p

Lherm M., Benoit M., 2003. Fourrages, 176, 411-423

Martin G., Martin-Clouaire R., et al., 2009. Environ. Modell. Softw., 26, 4, 371-385

Nettier B., Dobremez L., et al., 2010. Revue Géographie Alpine, 98, 383-400

Jouven M., Carrère P., Baumont R., 2006. Grass Forage Sci., 61, 125-133

Jouven M., Baumont R., 2008. Agricultural Systems., 96, 260-272

Réseaux d'élevages, 2011. In Institut de l'élevage (Editor), Référentiel 2011 Auvergne, Lozère, Aveyron, 89p

Peyraud J.L., Delaby L., 2005. INRA Prod. Anim., 18, 4, 231-240

Potsch E.M., 2007. In Low Input Farming Systems: an opportunity to develop sustainable agriculture, JRC European Commission, 127p

Steinwider A., Starz W. et al., 2010. European Grassland Federation, 23, 1012-1014