

Prévision de la teneur en matières grasses et de la composition en acides gras des fourrages

MAXIN G. (1, 2), GLASSER F. (1, 2), DOREAU M. (1, 2), BAUMONT R. (1, 2)

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

(2) Clermont Université, VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, F-63000, Clermont-Ferrand, France

RÉSUMÉ Les fourrages représentent une part importante de la ration des ruminants et peuvent parfois contenir des teneurs élevées en acides gras (AG) polyinsaturés. Ils constituent donc une source importante d'AG permettant d'améliorer la qualité du lait et de la viande. Afin d'optimiser les rations des ruminants en fonction de la composition en AG, il est nécessaire de connaître la teneur et la composition en AG des fourrages. Cependant, les tables de valeurs des aliments utilisées aujourd'hui n'incluent pas la composition en AG des fourrages. L'objectif de ce travail était donc d'établir des modèles de prévision de la teneur en matières grasses (MG) et en AG totaux des fourrages, ainsi que leur profil en AG majeurs afin d'intégrer ces valeurs dans les tables de la valeur alimentaire des fourrages. Pour cela, une base de données a été constituée à partir de compositions chimiques de fourrages publiées dans la littérature entre 1970 et 2011. La composition incluait obligatoirement soit le profil en AG, la teneur en AG totaux ou la teneur en MG du fourrage. Des équations de prévision de la teneur en MG, en AG totaux et de la composition en AG majeurs ont été établies en fonction des principaux facteurs de variation de ces variables : famille botanique (graminées, légumineuses, prairies permanentes et mélanges semés), stade de récolte, mode de conservation. Pour les fourrages verts, des équations ont ainsi pu être établies, par famille botanique pour estimer leur teneur en AG totaux à partir de la teneur en MAT et pour estimer leur composition en C16:0, C18:0, C18:1, C18:2 et C18:3 à partir de la teneur en AG totaux. Pour les fourrages conservés, les valeurs d'AG totaux et les profils sont estimés à partir des valeurs du fourrage vert correspondant en utilisant des équations de passage tenant compte de la technique de conservation et des conditions de récolte. D'autres équations ont également été établies pour estimer directement la teneur en AG totaux et le profil en AG des fourrages conservés à partir de leur teneur en MAT. Les données disponibles pour l'ensilage de maïs n'ont pas mis en évidence de facteurs de variation de la teneur et de la composition en AG, des valeurs moyennes sont donc proposées. Ces nouvelles équations permettent de prévoir la teneur et la composition en AG pour différents types de fourrages et modes de conservation à partir de caractéristiques simples des fourrages. Les équations obtenues ont été appliquées aux fourrages des tables INRA pour renseigner leurs valeurs.

Prediction of fat and fatty acid content and composition of forages

MAXIN G. (1, 2), GLASSER F. (1, 2), DOREAU M. (1, 2), BAUMONT R. (1, 2)

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

SUMMARY Forages, through the amount and composition of their fatty acids (FA) and because they represent a major part of ruminant diets, can help improve the nutritional quality of milk and meat. To optimize diet composition for a target milk or meat FA composition, we need to know the FA content and composition of dietary feedstuffs. However, no fat content or FA composition of forages is available in feed tables. The objective of this study was to develop predictive models to estimate fat and FA content and composition of forages. To this end, a database was built from publications post-dated 1970 and reporting chemical composition of forages. Publications were included only when one of the following measurements was reported: FA composition, total FA content or fat content. For fresh forage, models were obtained, by forage categories, to estimate total FA content from crude protein (CP) content; and to estimate FA composition (C16:0, C18:0, C18:1, C18:2 and C18:3, expressed in % total FA) from total FA content. For conserved forages, total FA content and profile were estimated from values of the corresponding fresh forage using models integrating the effects of conservation and harvest conditions. Other models were also established to directly estimate FA content and profile of conserved forages from their CP content. Overall, these models enable estimating FA content and composition for different categories of forages using simple variables. These models were applied to complete the characterization of the forages in the INRA feed tables.

INTRODUCTION

Les fourrages représentent une part importante de la ration des ruminants et peuvent parfois contenir des teneurs élevées en acides gras (AG) polyinsaturés : l'herbe fraîche contient de 10 à 30 g/kg MS d'AG totaux, composés de 35 à 70 % d'acide linoléique (C18:3). Les rations à base de fourrages pâturés ou d'ensilage d'herbe permettent d'améliorer la qualité du lait et de la viande en augmentant leur teneur en AG polyinsaturés (Dewhurst *et al.*, 2006 ; Scollan *et al.*, 2006). Ainsi, une augmentation de la part de pâturage dans la ration de bovins a permis d'augmenter les teneurs en AG polyinsaturés $n-3$; et de diminuer les teneurs en AG saturés dans le lait (Couvreur *et al.*, 2006) ou le muscle (Alfaia *et al.*, 2009). Pour améliorer le profil en AG des produits de ruminants à partir de la composition des

ration, il est nécessaire de connaître la composition en AG des aliments. La teneur en matières grasses (MG) et la composition en AG majeurs des matières premières sont disponibles dans des tables d'alimentation (Sauvant *et al.*, 2004). Mais aucune table, à l'exception de celle des pays nordiques (NORFOR, 2011), n'inclut la composition en AG des fourrages ; et la teneur en MG proposée (extrait éthéré le plus souvent), est imprécise car basée sur des moyennes de données anciennes. De nombreux facteurs influencent la teneur et la composition en AG des fourrages (Dewhurst *et al.*, 2006 ; Khan *et al.*, 2012) : l'espèce végétale, le stade de récolte, les conditions de conservation et la fertilisation azotée. Nous avons récemment quantifié par méta-analyse (Glasser *et al.*, 2013) et comparé les effets de certains de ces facteurs sur la teneur et la composition en AG des fourrages. Le facteur prédominant était le stade de végétation : le

vieillessement de la plante a entraîné une diminution des teneurs en AG totaux (jusqu'à -9 g/kg MS) et en C18:3 (jusqu'à -14%), et une augmentation des teneurs en acides palmitique (C16:0), stéarique (C18:0), oléique (C18:1) et linoléique (C18:2). Le second facteur était le fanage, qui diminuait fortement la teneur en C18:3 : de -7 à -14 % lorsque le fanage était réalisé dans de mauvaises conditions climatiques. L'ensilage, au contraire, modifie peu la teneur et la composition en AG des fourrages verts. Ces résultats permettaient d'envisager la mise en place d'équations de prévision de la teneur et de la composition en AG des fourrages intégrant les effets de ces facteurs. L'objectif de ce travail est donc d'établir, par méta-analyse, des modèles de prévision de la teneur en MG et en AG totaux des fourrages, ainsi que leur profil en AG majeurs afin d'intégrer ces valeurs dans les tables INRA de la valeur alimentaire des fourrages.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. BASE DE DONNEES UTILISEE

Une base de données a été constituée à partir de publications scientifiques postérieures à 1970. Pour être retenue, une publication devait obligatoirement inclure soit le profil en AG, la teneur en AG totaux ou la teneur en MG du fourrage. Au final, la base de données contient 722 fourrages issus de 196 publications dédiées à l'étude des facteurs de variation de la composition en AG des fourrages (60 publications) ; ou non dédiées mais rapportant la teneur et la composition en AG d'un ou plusieurs fourrages (136 publications). Les références des articles rassemblés et les valeurs moyennes de teneur et de composition en AG pour les principales catégories de fourrages ont été données par Glasser *et al.* (2013). Brièvement, les principales espèces végétales présentes dans la base de données étaient pour les graminées : ray-grass, dactyle, fléole, fétuque ; pour les légumineuses : trèfle violet, trèfle blanc et luzerne. Les prairies permanentes ou semées, et les associations d'une ou plusieurs espèces ont été regroupées dans une même catégorie de fourrages intitulée « prairies ». Les fourrages verts représentaient 53 % des fourrages de la base de données, les ensilages d'herbe 28 %, les ensilages de maïs 7 % et les foin 12 %.

1.2. CHOIX DES VARIABLES EXPLICATIVES ET METHODES STATISTIQUES

Différentes méthodes sont utilisées pour déterminer la teneur en MG des fourrages. L'extrait éthéré (EE) a été retenu dans cette étude pour caractériser les fourrages car c'est la méthode classiquement utilisée pour les aliments destinés aux animaux et celle majoritairement mentionnée dans les tables d'alimentation. L'extraction à l'éther était utilisée dans 53% des publications de la base de données et était réalisée soit avec de l'éther, du diéthyl éther ou de l'éther de pétrole. Les valeurs d'EE obtenues après une hydrolyse acide n'ont pas été utilisées dans cette étude car elles sont supérieures aux valeurs d'EE obtenues par extraction seule (Palmquist et Jenkins, 2003 ; Glasser *et al.*, 2013). Pour les AG, la

méthode d'extraction principalement utilisée dans les publications était la méthode de Folch *et al.* (1957, extraction au chloroforme/méthanol). Des équations de prévision ont été établies pour la teneur en MG (estimée par l'EE en g/kg MS), la teneur en AG totaux (en g/kg MS) et pour la composition en cinq AG majeurs (C16:0, C18:0, C18:1, C18:2 et C18:3, exprimés en % AG totaux), qui représentent plus de 90 % des AG totaux. Les variables explicatives candidates pour les équations de prévision étaient l'espèce végétale, la famille botanique (graminées, légumineuses, prairies), le mode de conservation (foin, ensilage direct, ensilage préfané ou mi-fané) et le stade de végétation. Tenir compte de l'effet du stade de végétation n'était pas simple à partir des données de la base car l'information reportée était très variable entre publications : date de récolte, intervalle de coupe, nombre de coupes... La corrélation entre le stade de végétation et des caractéristiques chimiques des fourrages (teneurs en matières azotées totales, MAT ; en matières organiques, MO ou en fibres) a donc été testée avec un sous-jeu de données de fourrages verts récoltés à différents stades afin d'identifier un critère simple reflétant l'effet du stade de végétation. Les équations ont été établies à partir de modèles mixtes sous SAS (2008) avec le facteur expérience en effet aléatoire et les autres facteurs (espèce, famille botanique...) en effet fixe. Si plusieurs équations étaient disponibles pour prévoir une même variable, l'équation retenue l'a été en fonction de sa précision basée sur l'écart-type résiduel (ETR) et le nombre de données utilisées. Les données d'ensilage de maïs ont été analysées séparément.

2. RESULTATS

2.1. PREVISION DE LA TENEUR ET DE LA COMPOSITION EN ACIDES GRAS

L'analyse du sous-jeu de données fourrages verts récoltés à différents stades de végétation a montré une bonne corrélation (0,79) entre la teneur en MAT et la teneur en AG totaux de ces fourrages ($N_{\text{données}} = 61$, ETR = 2,9 g/kg MS), les autres critères chimiques des fourrages testés (teneurs en MO et en fibres) étaient peu corrélés avec la teneur en AG totaux. La teneur en MAT constitue donc un indicateur pertinent de l'effet du stade de végétation sur la teneur en AG totaux.

Pour les fourrages verts, une relation a été obtenue, par famille botanique pour estimer leur teneur en AG totaux (en g/kg MS) à partir de leur teneur en MAT (en g/kg MS) :

$$AG \text{ totaux} = 1,78 + 0,105 \times MAT + \Delta_1,$$

$$(N_{\text{exp}} = 20, N_{\text{données}} = 50, ETR = 2,6 \text{ g/kg MS})$$

avec $\Delta_1 = 0$ pour les prairies, $\Delta_1 = + 5,45$ pour les graminées et $\Delta_1 = - 2,12$ pour les légumineuses. Cette équation est valide pour des teneurs en MAT jusqu'à 200 g/kg MS pour les prairies, 220 g/kg MS pour les graminées et 250 g/kg MS pour les légumineuses. A même teneur en MAT, les graminées ont une teneur en AG totaux plus élevée que les prairies et les légumineuses.

Tableau 1 Équations de prévision de la composition en acides gras majeurs (C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3, exprimés en % AG totaux) des fourrages verts à partir de leur teneur en acides gras totaux (AGt en g/kg MS).

Acides gras	Équations de prévision	Valeurs de Δ_2			
		Prairies	Graminées	Légumineuses	Luzerne
16:0	$23,24 - 0,445 \times AGt + 0,005 \times AGt^2 + \Delta_2$ ($N_{\text{exp}} = 44, N_{\text{données}} = 143, ETR = 1,52 \% AGt$)	0	+ 1,44	+ 1,60	+ 5,65
18:0	$2,92 - 0,027 \times AGt + \Delta_2$ ($N_{\text{exp}} = 36, N_{\text{données}} = 118, ETR = 0,56 \% AGt$)	0	- 0,57	+ 0,60	+ 1,64
18:1	$5,23 - 0,052 \times AGt + \Delta_2$ ($N_{\text{exp}} = 41, N_{\text{données}} = 132, ETR = 0,91 \% AGt$)	0	- 1,19	- 0,25	- 0,68
18:2	$20,59 - 0,186 \times AGt + \Delta_2$ ($N_{\text{exp}} = 47, N_{\text{données}} = 161, ETR = 1,78 \% AGt$)	0	- 1,81	+ 2,04	+ 1,09
18:3	$35,47 + 1,107 \times AGt - 0,012 \times AGt^2 + \Delta_2$ ($N_{\text{exp}} = 47, N_{\text{données}} = 161, ETR = 3,48 \% AGt$)	0	+ 3,44	- 3,10	- 6,71

La composition en AG majeurs (C16:0, C18:0, C18:1, C18:2 et C18:3) des fourrages verts a été estimée à partir de la teneur en AG totaux en tenant compte de la famille botanique : prairies, graminées, légumineuses et luzerne (Tableau 1). L'analyse des données a montré que le profil en AG de la luzerne est significativement différent de celui des autres légumineuses : la luzerne contient plus de C16:0 et moins de C18:3, justifiant de la séparer des autres légumineuses dans l'équation. A même teneur en AG totaux, les graminées et les prairies contiennent plus de C18:3 que les légumineuses. La teneur en AG totaux et le profil en AG des fourrages conservés qui seront inclus dans les nouvelles tables INRA ont été calculés à partir des valeurs du fourrage vert correspondant en utilisant les équations de passage établies par Glasser *et al.* (2013). Ces équations tiennent compte de la technique de conservation (foin, ensilage direct, préfané ou mi-fané) et des conditions climatiques de récolte pour les foin. Elles sont applicables à toutes les espèces végétales excepté la luzerne. Les teneurs en AG totaux et en C18:3 des luzernes de la base de données chutent très fortement lors du fanage ou de l'ensilage par rapport aux autres fourrages. À des fins de prévision, lorsqu'une analyse chimique est disponible pour le fourrage conservé, nous avons établi des équations directes pour estimer la teneur et la composition en AG de tous les fourrages conservés (dont la luzerne) à partir de leur teneur en MAT (en g/kg MS) et en fonction de la famille botanique et du mode de conservation (Δ_3 , Tableau 2).

$$AGt = 5,68 + 0,083 \times MAT + \Delta_3, \\ (N_{\text{expé}} = 48, N_{\text{données}} = 146, ETR = 2,4 \text{ g/kg MS})$$

$$C16:0 = 18,90 - 0,011 \times MAT + \Delta_3, \\ (N_{\text{expé}} = 67, N_{\text{données}} = 176, ETR = 1,89 \% \text{ AGt})$$

$$C18:1 = 4,64 - 0,006 \times MAT + \Delta_3, \\ (N_{\text{expé}} = 62, N_{\text{données}} = 160, ETR = 0,71 \% \text{ AGt})$$

$$C18:2 = 18,92 - 0,020 \times MAT + \Delta_3, \\ (N_{\text{expé}} = 70, N_{\text{données}} = 188, ETR = 1,42 \% \text{ AGt})$$

$$C18:3 = 42,18 + 0,057 \times MAT + \Delta_3, \\ (N_{\text{expé}} = 71, N_{\text{données}} = 189, ETR = 4,31 \% \text{ AGt})$$

Tableau 2 Valeurs de Δ_3 en fonction de la famille botanique et du mode de conservation pour les équations de prévision de la teneur et de la composition en AG totaux (AGt) des fourrages conservés à partir de leur teneur en MAT.

	Valeurs de Δ_3				
	AGt	C16:0	C18:1	C18:2	C18:3
Prairies					
Ensilage	+1,40	+1,41	-0,25	+0,86	-2,78
Foin	-2,81	+5,26	+0,37	+1,01	-7,15
Graminées					
Ensilage	+3,02	+1,64	-0,13	+0,14	-0,80
Foin	+1,95	+1,99	-1,05	-0,11	-1,30
Légumineuses					
Ensilage	-0,70	+1,75	+0,44	+4,08	-8,15
Foin	-3,98	+7,40	+2,11	+2,99	-24,04

La proportion de C18:0 des fourrages conservés ne variait pas avec la teneur en MAT ($P = 0,15$), mais était influencée par la famille botanique et le mode de conservation. Des valeurs moyennes de C18:0 seront proposées.

2.2. PREVISION DE LA TENEUR EN EXTRAIT ETHERE

Une équation a été obtenue, par famille botanique et mode de conservation (Δ_4 , Tableau 3), pour estimer la teneur en EE (en g/kg MS) des fourrages à partir de leur teneur en AG totaux (en g/kg MS).

$$EE = 8,43 + 1,069 \times AG \text{ totaux} + \Delta_4, \\ (N_{\text{expé}} = 22, N_{\text{données}} = 77, ETR = 3,3 \text{ g/kg MS})$$

Tableau 3 Valeurs de Δ_4 en fonction de la famille botanique et du mode de conservation pour l'équation de prévision de la teneur en EE à partir de la teneur en AG totaux des fourrages.

	Valeurs de Δ_4		
	Prairies	Graminées	Légumineuses
Vert	0	+4,22	-2,70
Ensilage	+2,47	+6,93	+7,90
Foin	-0,48	+3,63	-0,09

2.3. ENSILAGES DE MAÏS, PAILLE ET AUTRES FOURRAGES

Les données disponibles pour l'ensilage de maïs n'ont pas mis en évidence de facteurs de variation significatifs des teneurs en EE et en AG totaux et de la composition en AG, ne permettant pas d'établir d'équations de prévision. Des valeurs moyennes seront proposées dans les tables d'alimentation : EE = 31 g/kg MS ($N_{\text{données}} = 17$), AG totaux = 24 g/kg MS ($N_{\text{données}} = 27$), C16:0 = 15,9 % ($N_{\text{données}} = 40$), C18:0 = 2,3 % ($N_{\text{données}} = 39$), C18:1 = 21,4 % ($N_{\text{données}} = 44$), C18:2 = 45,8 % ($N_{\text{données}} = 44$) et C18:3 = 5,0 % ($N_{\text{données}} = 42$).

Pour les autres fourrages moins courants figurant dans les tables INRA (céréales en plante entière, composées, crucifères) pour lesquels les équations ne peuvent s'appliquer, des moyennes de valeurs de teneur et de composition en AG issues de la littérature ont été calculées et seront reportées dans les tables. Pour les pailles et en raison de l'absence de données de composition en AG, seules les valeurs de teneur en EE et en AG totaux seront présentées dans les tables d'alimentation.

3. DISCUSSION

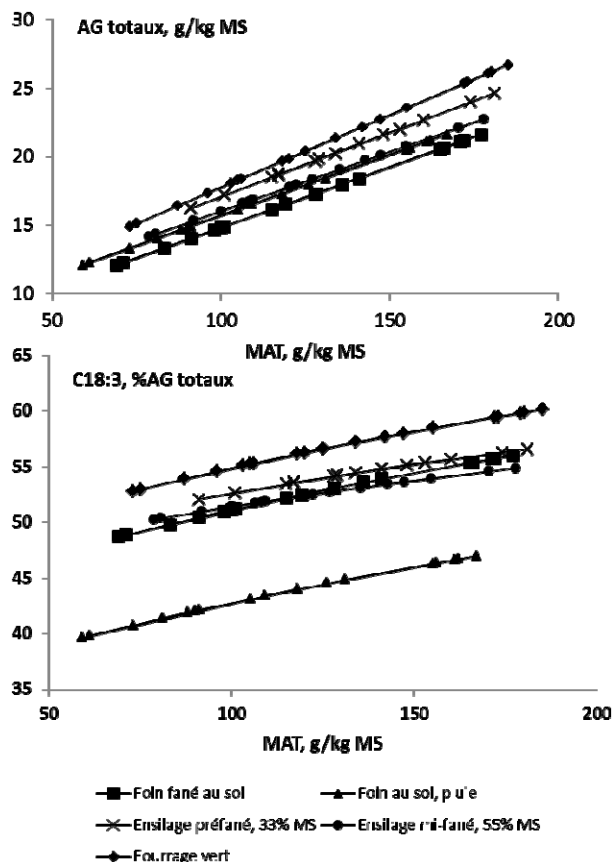
Les équations présentées permettent de prévoir la teneur en MG (estimée par l'EE) et en AG, ainsi que la composition en AG des principaux types de fourrages à partir de critères simples. Malgré l'hétérogénéité des données disponibles dans la base de données, ces équations prennent en compte les effets des principaux facteurs connus pour modifier la composition en AG des fourrages (famille botanique, stade de végétation, mode de conservation). En effet, même si le nombre total de données était important, une fois la base de données découpée par espèce, famille botanique ou mode de conservation, le nombre de données était faible pour certaines modalités des facteurs. Par exemple, il y avait seulement 7 valeurs de C18:3 pour la luzerne en vert vs. 51 valeurs pour le ray-grass anglais.

De plus, les fourrages n'étaient pas toujours décrits très précisément dans les publications, notamment pour le stade de végétation. La teneur en MAT du fourrage a été identifiée comme le critère le plus pertinent pour tenir compte de l'effet du stade de végétation. La teneur en MAT des fourrages est corrélée à leur teneur en AG totaux. Cette relation s'explique par la présence de ces deux composés dans les feuilles plutôt que dans la tige des plantes, une diminution de la proportion de feuilles avec l'âge du fourrage entraîne donc une diminution conjointe des teneurs en MAT et en AG totaux (Boufaïed *et al.*, 2003).

Ces équations ont été appliquées aux fourrages des tables INRA de la valeur alimentaire des fourrages. La Figure 1 illustre les valeurs prévues de teneurs en AG totaux et en C18:3 du ray-grass anglais en fonction de la teneur en MAT et du mode de conservation. Les teneurs en AG totaux et C18:3 sont maximales lorsque la plante est jeune (stade feuillu, MAT élevée). Les teneurs en AG totaux du ray-grass diminuent en moyenne de 4,0 g/kg MS avec le fanage et de 2,0 g/kg MS avec l'ensilage mi-fané (balles rondes enrubannées, 55 % MS), mais ne varient pas avec les ensilages préfanés (33 % MS). Les teneurs en C18:3 diminuent peu avec la conservation sous forme d'ensilage (en moyenne 54 % vs. 57 % en vert), mais diminuent avec le fanage (beau temps : 51 % de C18:3), et notamment lorsque

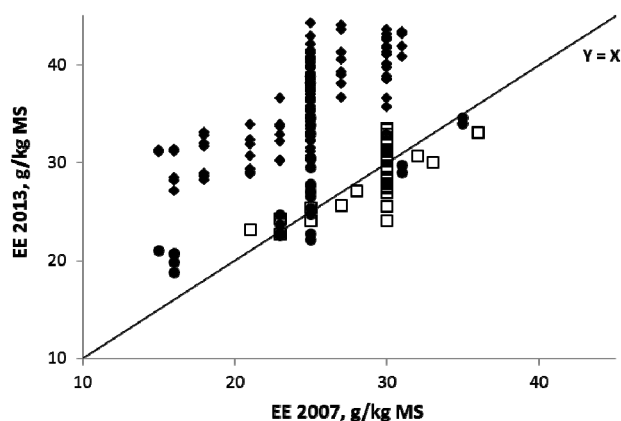
la récolte est réalisée dans de mauvaises conditions climatiques (43 % de C18:3).

Figure 1 Évolution de la teneur en AG totaux (en g/kg MS) et en C18:3 (en % AG totaux) du ray-grass anglais au 1^{er} cycle en fonction de la teneur en MAT et du mode de conservation (données des Tables INRA, 2007).



Les nouvelles tables INRA seront les seules à proposer une caractérisation aussi détaillée de la teneur et la composition en AG des fourrages. Les systèmes américain (NRC, 2001) et hollandais (CBV, 2011) proposent seulement les teneurs en MG. Seul le système des pays du nord de l'Europe (NORFOR, 2011) propose des valeurs de teneur et de composition en AG des principaux fourrages. Cependant, ces valeurs sont basées sur des valeurs moyennes issues de 3 publications scientifiques et n'intègrent pas l'effet des différents facteurs de variation via des équations de prévision.

Figure 2 Comparaison des valeurs d'extrait étheré (EE) version 2013 et version 2007 pour les fourrages verts des tables INRA (● : prairies, ◆ : graminées et □ : légumineuses).



La teneur en EE des fourrages est estimée à partir de la teneur en AG totaux. L'effet de la teneur en MAT n'était pas

significatif sur la teneur en EE des fourrages ($P = 0,34$) suggérant que la teneur en AG totaux varie plus avec le stade de végétation que la teneur en EE, le ratio AG/EE diminuant avec celui-ci.

Les valeurs d'EE estimées avec la nouvelle équation sont supérieures aux valeurs des Tables INRA 2007 (Figure 2), mais elles sont cohérentes avec celles rapportées dans d'autres tables d'alimentation (CBV, 2011 ; NORFOR, 2011). Comparées aux valeurs 2007, les valeurs 2013 intègrent plus précisément et plus en détails les effets de la famille botanique, du stade de végétation et du mode de conservation. Ainsi, par exemple, les valeurs des repousses qui étaient considérées comme constantes quels que soient l'âge et le cycle, intègrent maintenant les effets de ces facteurs via les équations de prévision proposées.

CONCLUSION

Ce travail a permis d'établir des équations pour prévoir la teneur en MG (estimée par l'EE) et en AG totaux, ainsi que le profil en AG majeurs des principaux types de fourrages et modes de conservation. Pour les fourrages conservés, deux jeux d'équations sont proposées : 1) prévision à partir des valeurs du fourrage vert, c'est la démarche utilisée pour renseigner les Tables ; et 2) prévision directe à partir de la teneur en MAT du fourrage conservé lorsqu'une analyse chimique est disponible.

Dans les nouveaux systèmes d'alimentation INRA (Sauvant et Nozière, 2013), les teneurs en AG totaux seront utilisées à la place des teneurs en EE pour le calcul de la matière organique fermentescible. Les données de teneur et de composition en AG pourront également être utilisées pour estimer la quantité d'AG ingérée par les ruminants, et les effets potentiels sur la composition en AG des produits animaux.

Alfaia, C.P., Alves, S.P., Martins, S.I., Costa, A.S., Fontes, C.M., Lemos, J.P., Bessa, R.J., Prates, J.A. 2009. Food Chem. 114, 939-946.

Boufaïed, H., Chouinard, P.Y., Tremblay, G.F., Petit, H.V., Michaud, R., Bélanger, G. 2003. Can. J. Anim. Sci. 83, 501-511.

CVB, 2011. Feed Tables. Zoetermeer, The Netherlands.

Couvreur, S., Hurtaud, C., Lopez, C., Delaby, L., Peyraud, J.L. 2006. J. Dairy Sci. 89, 1956-1969.

Dewhurst, R.J., Shingfield, K.J., Lee, M.R.F., Scollan, N.D. 2006. Anim. Feed Sci. Technol. 131, 168-206.

Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G.H. 1957. J. Biol. Chem. 226, 497-509.

Glasser, F., Doreau, M., Maxin, G., Baumont, R. 2013. Anim. Feed Sci. Technol. 185, 19-34.

INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux et valeurs des aliments, ed. Quae, Versailles, France.

Khan, N.A., Cone, J.W., Fievez, V., Hendriks, W.H. 2012. Anim. Feed Sci. Technol. 174, 36-45.

NRC, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle 7th rev. National Academy Press ed., Washington, DC.

NORFOR, 2011. The Nordic feed evaluation system. <http://feedstuffs.norfor.info/>

Palmquist, D.L. et Jenkins, T.C. 2003. J. Anim. Sci. 81, 3250-3254.

Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G. (Eds.) 2004. Tables de composition et de valeurs nutritives des matières premières destinées aux animaux d'élevage. INRA Editions, France.

Sauvant, D., Nozière, P. 2013. Renc. Rech. Ruminants, 20, cet ouvrage.

SAS Institute. 2008. Version 9.2. SAS Institute Inc., NC, USA.

Scollan, N., Hocquette, J.F., Nuernberg, K., Dannenberger, D., Richardson, I., Moloney, A. 2006. Meat Sci. 74, 17-33.