

Teneur en oligo-éléments des fourrages

SCHLEGEL P. (1), WYSS U. (1)

(1) AGROSCOPE - Institut des sciences en production animale, Tioleyre 4, 1725 Posieux, Suisse

RESUME

Le but de cette étude consistait, à analyser la teneur en cuivre, cobalt, fer, manganèse, zinc et sélénium de l'herbe en fonction de la composition botanique, du cycle de végétation, du stade de développement et de la forme de conservation. L'objectif était de proposer des valeurs de références sur la base de modèles. Entre 2008 et 2011, 188 échantillons d'herbe ont été prélevés sur les prés et les pâturages de deux sites expérimentaux. Lors des récoltes pour conservation (n = 50) un échantillon était prélevé avant la fauche, un lors de la mise en conservation et un sous forme conservée (foin / regain séché au sol, foin / regain ventilé ou ensilage). L'influence de la technique de récolte (hauteur de coupe et préfanage) a été étudiée dans l'ensilage d'herbe. Les teneurs en Cu et en Zn étaient réduites par la présence abondante en graminées (P < 0,001). Les prairies riches en raygrass avaient 10% de Cu et 47 % de Mn en moins que les prairies sans prédominance en raygrass (P < 0,001). Le vieillissement a progressivement réduit les teneurs en Cu (P < 0,001 linéaire et quadratique), Fe (P < 0,001 linéaire et P < 0,05 quadratique), Mn (P < 0,01 linéaire et P < 0,05 quadratique) et Zn (P < 0,001 linéaire et P < 0,01 quadratique), surtout durant les stades précoces. Le 1^{er} cycle de végétation avait des teneurs en Cu (P < 0,001), Mn (P < 0,05) et Zn (P < 0,001) réduites de respectivement 37, 19 et 15 % par rapport aux repousses. Les teneurs en Co et Se étaient faibles et n'étaient pas expliquées par les variables étudiées. Une coupe basse augmentait de respectivement 95, 96, 37 et 7 % les teneurs en Co (P < 0,01), Fe (P < 0,01), Mn (P < 0,01) et Zn (P < 0,05). Le fait de préfaner l'herbe fauchée avec une coupe basse permettait de réduire les teneurs en Co, Fe et Mn, qui s'explique par une réduction des contaminations de terre. L'absence de préfanage augmentait la teneur en Zn de 7 %. Les pertes durant les travaux de fenaison s'élevaient à 9 % de Cu (P < 0,10) et à 11 % de Zn (P < 0,05) pour le foin séché en grange et même à 18 % de Zn (P < 0,001) pour le foin séché au sol. Les teneurs minérales n'ont pas évolués durant la conservation du foin / regain. Les travaux de récolte d'ensilage tendaient à augmenter les teneurs en Fe de 138 % et en Mn de 30 %, mais la principale concentration s'est faite lors du processus de fermentation, car au final, l'ensilage avait des teneurs accrues de 240, 65 et 13 % respectivement en Fe (P < 0,01), Mn (P < 0,001) et Zn (P < 0,001) par rapport à l'herbe fraîche initiale. La présente étude permet de proposer des valeurs de références pour la teneur en oligo-éléments des fourrages en fonction de la composition botanique, du cycle de végétation, du stade de développement et du mode de conservation. Ceci visant à une meilleure prise en compte des teneurs en oligo-éléments de l'herbage lors de l'optimisation des apports minéraux des herbivores.

Trace mineral content in forages

SCHLEGEL P. (1), WYSS U. (1)

(1) AGROSCOPE - Institut des sciences en production animale, Tioleyre 4, 1725 Posieux, Suisse

SUMMARY

The aim of this study consisted in analyzing copper, cobalt, iron, manganese, zinc and selenium contents in forage, as a function of the commonly used classification parameters of forages : botanical composition, vegetation cycle, development stage and conservation type. The objective was to calculate models and suggest reference values. Between 2008 and 2011, 188 fresh grass samples (from pasture and cut grassland) were collected on two experimental sites. During cuts meant for conservation (n = 50), samples were taken before the cut, at harvesting and as conserves (balled hay, hay on stack or silage). The influence of the harvesting technique (cutting height and pre-wilting) was also studied in silage. Copper and Zn contents were reduced when the presence of gramineae was increased (P < 0.001). Ryegrass rich forage had 10% less Cu and 47 % less Mn than forage without high proportions of ryegrass (P < 0.001). With the aging of the plants Cu (P < 0.001 linear and quadratic), Fe (P < 0.001 linear and P < 0.05 quadratic), Mn (P < 0.01 linear and P < 0.05 quadratic) and Zn (P < 0.001 linear and P < 0.01 quadratic) contents progressively decreased, especially in the young stages. Forage from the 1st cut had respectively 37, 19 and 15 % lower Cu (P < 0.001), Mn (P < 0.05) and Zn (P < 0.001) contents than the following cuts. The contents of Co and Se were low and were not influenced by the variables considered. A low cutting height increased Co (P < 0.01), Fe (P < 0.01), Mn (P < 0.01) and Zn (P < 0.05) contents in grass silage by respectively 95, 96, 37 and 7 %. When low cut forage was pre-wilted, this increase in Co, Fe and Mn contents could be limited. Zinc content was increased by 7 % when grass silage was not pre-wilted. During harvesting for air dried hay, 9 % of Cu (P < 0.10) and 11 % of Zn (P < 0.05) contents were lost and 18 % of Zn (P < 0.001) was lost when hay was balled. During conservation, however, no effect on trace mineral contents was observed in hay. At silage harvesting, Fe and Mn contents tended to increase by respectively 138 and 30 %, but the fermentation process finally resulted in increased Fe (P < 0.01), Mn (P < 0.001) and Zn (P < 0.001) contents (respectively 240, 65 and 13 %) compared to the fresh form. The present study suggests reference values for trace mineral contents in forage based on its botanical composition, vegetation cycle, development stage and conservation type. These results provide a more precise consideration of trace minerals in forage when optimizing trace mineral supplementation in herbivores.

INTRODUCTION

La complémentation minérale, consiste à couvrir les besoins des animaux qui ne peuvent être comblés par la ration de base et les aliments complémentaires. Cette dernière peut être réalisée pour autant que les teneurs des autres composants de la ration soient connus. Les teneurs en minéraux des fourrages dépendent de nombreux facteurs climatiques, pédologiques et agronomiques qui sont, en partie, représentés dans les facteurs usuellement utilisés en Suisse pour la caractérisation d'un fourrage : la composition botanique, le cycle végétatif, le stade de développement ou la conservation. Dès lors, il est intéressant de mieux connaître l'influence de ces facteurs agronomiques pour évaluer au mieux la teneur en minéraux. La connaissance des teneurs en oligo-éléments des fourrages permet une complémentation suffisante, sans être excessive. Un excès représente une perte financière, un risque de pollution environnemental (cuivre et zinc notamment) et peut mener à une carence d'autres minéraux (antagonisme). Une carence minérale peut engendrer des dysfonctionnements physiologiques dépendants de l'élément déficient.

Le but de cette étude consistait, à étudier la teneur en cuivre (Cu), cobalt (Co), fer (Fe), manganèse (Mn), zinc (Zn) et sélénium (Se) de l'herbe fraîche et conservée en fonction des paramètres utilisés pour la classification des herbages (Daccord *et al.*, 2006) afin de calculer des modèles pour proposer des valeurs de références.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

Entre 2008 et 2011, des échantillons d'herbe ont été prélevés sur les prés et les pâturages de deux sites de recherche agricole (exploitation Agroscope de Posieux, 650 m d'altitude, et ferme de l'Abbaye de Sorens, 820 m d'altitude). Les herbages sont issus soit des prairies artificielles (semis de mélanges standards de type 430 et 440 selon Mosimann *et al.*, 2012) ou des prairies permanentes. Les échantillons ont été prélevés respectivement, le jour de fauche (prés, 70 – 80 mm au-dessus du sol) et les jours avant la pâture (pâturage, 40 – 50 mm au-dessus du sol). Les échantillons d'herbes destinés à la conservation (séchage en grange, séchage au sol, ensilage en silo tour) ont été prélevés avant la fauche, durant la mise à la conservation (déchargement de l'auto-chargeuse) et sous forme conservée durant l'affouragement hivernal.

1.2. CARACTERISATION ET ANALYSE DES ECHANTILLONS

Le stade de développement (selon la dactyle et le ray-grass):

- 1 : tallage – début montaison ;
- 2 : montaison ;
- 3 : début épiaison ;
- 4 : pleine épiaison ;
- 5 : fin épiaison ;
- 6 : floraison ;
- 7 : fructification

et la composition botanique :

- G : > 70 % graminées ;
G_R : > 70 % graminées dont > 50 % ray-grass ;
E : 50 – 70% graminées ;
E_R : 50 – 70 % graminées dont > 50% ray-grass ;
D_F : > 50 % autres plantes que graminées et légumineuses, à feuilles et tiges fines

ont été déterminés selon Daccord *et al* (2006) lors du prélèvement de l'échantillon.

Les échantillons ont été séchés (15 h à 60 °C puis 3 h à 105 °C) et leur matière sèche (MS) déterminée. La mouture des échantillons a été effectuée à l'aide de couteaux en titane, pour éviter toute contamination en Fe depuis le laboratoire.

Les teneurs en matière azotée (MA), cellulose brute (CB), cendres (CE), minéraux (Cu, Co, Fe, Mn, Zn et Se) ont été déterminées par le laboratoire Agroscope à Posieux. Le Cu, Fe, Mn et Zn ont été analysés, après leur calcination (550 °C), par spectrométrie d'émission optique (ICP-EOS). Le Co et Se ont été analysés par absorption atomique par four à graphite (GF-AAS), après leur mise en solution en présence d'acide nitrique et d'eau oxygénée dans un minéralisateur à micro-ondes (Co) ou en présence seule d'acide nitrique, puis d'acide chlorhydrique (Se).

1.3. TRAITEMENT DES DONNEES

Les données ont été soumises à une analyse de variances, suivie d'une comparaison de moyennes (GLM, Systat 13). Les effets de la composition botanique (Bota ; G_R, G, E_R, E et D_F), du stade de développement (Stade ; 1 - 7) et du cycle de végétation (Cycle ; 1^{er} et suivants) sur les teneurs en oligo-éléments (Y) ont été analysés sur les 188 échantillons d'herbe non conservée.

Equation 1 : $Y = a + b * Bota + c * Cycle + Stade + Stade^2 + e$

L'effet de la technique de récolte (hauteur de coupe de 3-4 ou de 7-8 cm, sans ou avec préfanage) a été étudié sur une parcelle lors du 5^e cycle de végétation (Wyss, 2011).

Equation 2 : $Y = a + b * hauteur\ de\ coupe + c * préfanage + d * hauteur\ de\ coupe * préfanage + e$

Les effets de la conservation de l'herbe (Conserve ; récolte séchée, conserve séchée, récolte ensilage, conserve ensilage) ont été étudiés, séparément, à l'aide de 16 lots de 3 échantillons prélevés au moment de la fauche, lors de la mise en conserve et la sortie de séchage en grange (foin ventilé), de 19 lots de deux échantillons prélevés lors de la fauche et de la mise en conserve (foin séché au sol) et de 15 lots de 3 échantillons prélevés au moment de la fauche, de la mise en conserve et à la sortie du silo (ensilage).

Equation 3 : $Y = a + b * Conserve + c * Lot + e$

2. RESULTATS

2.1. INFLUENCE DE LA COMPOSITION BOTANIQUE, DU STADE DE DEVELOPPEMENT ET DU CYCLE

Les teneurs en oligo-éléments de l'herbe fraîche en fonction de la composition botanique, du stade de développement et du cycle (Equation 1) sont présentées dans le Tableau 1.

La composition botanique a influencé les teneurs en Cu ($P < 0,001$), Mn ($P < 0,001$) et Zn ($P < 0,01$). Les teneurs en Cu et en Zn étaient réduites par la présence abondante de graminées. Les prairies riches en raygrass (types G_R et E_R) avaient 10 % de Cu et 47 % de Mn de moins que les prairies sans prédominance de raygrass (types G et E).

Le stade de développement a influencé les teneurs en Cu ($P < 0,001$ linéaire et quadratique), Fe ($P < 0,001$ linéaire et $P < 0,05$ quadratique) Mn ($P < 0,01$ linéaire et $P < 0,05$ quadratique) et Zn ($P < 0,001$ linéaire et $P < 0,01$ quadratique). Le vieillissement a progressivement fait baisser ces teneurs, surtout durant les stades précoces.

Le 1^{er} cycle présentait des teneurs en Cu ($P < 0,001$), Mn ($P < 0,05$) et Zn ($P < 0,001$) de respectivement 37, 19 et 15 % plus faible que les teneurs des repousses.

Les teneurs en Co et Se étaient faibles et variables (médiane de respectivement $0,063 \pm 0,017$ et $0,016 \pm 0,021$ mg / kg MS) qui ne pouvaient être expliquées par les variables étudiées.

Tableau 1 Teneurs en Cu, Fe, Mn et Zn (mg / kg MS) de l'herbe fraîche en fonction de la composition botanique, du stade de développement et du cycle (Equation 1)

Modèle	Cu		Fe		Mn		Zn	
	Coeff.	Prob. ³⁾	Coeff.	Prob. ³⁾	Coeff.	Prob. ³⁾	Coeff.	Prob. ³⁾
Intercept	11,6		514,8		100,8		34,8	
Bota ¹⁾		***		n.s.		***		***
G	-0,415	bc	22,921		20,917	a	-0,543	b
G _R	-0,893	c	43,493		-18,449	b	-2,021	b
E	0,620	ab	70,993		26,377	a	0,608	ab
E _R	-0,316	bc	-80,134		-18,140	b	-1,459	b
D _F	1,004	a	-57,273		-10,705	b	3,415	a
Cycle		***		n.s.		*		***
1 ^{er}	-1,264	b	-58,680		-8,091	b	-1,915	b
suiv.	1,264	a	58,680		8,091	a	1,915	a
Stade ²⁾	-1,819	***	170,155	***	-18,295	**	-3,396	***
Stade ^{2,2)}	0,148	***	15,455	*	2,234	*	0,302	**
R ²	0,65		0,19		0,25		0,42	
r.m.s.e.	1,6		284,1		36,6		4,5	

¹⁾G : > 70 % graminées ; G_R : > 70 % graminées dont > 50 % ray-grass ; E : 50 - 70% graminées ; E_R : 50 - 70 % graminées dont > 50% ray-grass ; D_F : > 50 % autres plantes (à feuilles et tiges fines) que graminées et légumineuses

²⁾Selon dactyle et ray-grass 1 : tallage - début montaison ; 2 : montaison ; 3 : début épiaison ; 4 : pleine épiaison ; 5 : fin épiaison ; 6 : floraison ; 7 : fructification

³⁾*** P < 0,001 ; ** P < 0,01 ; * P < 0,05 ; n.s. non significatif ; r.m.s.e. root mean square error

2.2. EFFET DE LA TECHNIQUE DE RECOLTE ET DE LA CONSERVATION

Une coupe basse augmentait la teneur en Co, Fe, Mn et Zn de l'ensilage de respectivement 95 % (P < 0,01), 96 % (P < 0,01), 37 % (P < 0,01) et 7 % (P < 0,05). Le fait de préfaner cette herbe permettait de limiter l'accroissement des teneurs en Co (P < 0,05), Fe (P < 0,05) et Mn (P < 0,05). L'absence de préfanage augmentait la teneur en Zn de 7 % (P < 0,05).

Tableau 2 Teneurs en oligo-éléments (mg / kg MS) d'ensilage d'herbe en fonction de la technique de récolte (Equation 2).

Coupe Préfa- nage	Haute		Basse		Probabilité ¹⁾			
	non	oui	non	oui	ETR	C	P	C*P
Cu	9,9	9,6	9,6	9,7	0,2	n.s.	n.s.	n.s.
Co	0,4	0,4	1,0	0,5	0,1	**	*	*
Fe	1002	978	2657	1228	178	**	*	*
Mn	118	109	181	131	5	**	**	*
Zn	37,0	34,5	39,5	37,0	0,8	*	*	n.s.

¹⁾** P < 0,01 ; * P < 0,05 ; n.s. non significatif ; ETR écart type résiduel

La conservation de l'herbe en foin ventilé et en foin séché au sol a, en général, réduit les teneurs en oligo-éléments durant les travaux de récolte, tandis que l'ensilage a plutôt concentré ces dernières durant les travaux de récolte et / ou durant la fermentation (Tableau 3). Les pertes durant la fenaison s'élevaient à 9 % de Cu (P < 0,10), à 11 % de Zn avec le séchage en grange (P < 0,05) et même à 18 % de Zn (P < 0,001) avec le foin / regain séché au sol. Les teneurs n'ont pas évolués durant la conservation du foin / regain. Durant la récolte de l'ensilage d'herbe les teneurs en Fe et Mn augmentaient de respectivement 138 % et 30 % (P < 0,10). Mais la principale concentration s'est faite dans le silo car au final, l'ensilage d'herbe présentait des teneurs accrues en Fe (P < 0,01), Mn (P < 0,001) et Zn (P < 0,001) par rapport à l'herbe fraîche de respectivement 240, 65 et 13 %. La teneur en Co de l'ensilage doublait également mais n'a pas été statistiquement confirmé.

Tableau 3 Changement relatif des teneurs en oligo-éléments des fourrages lors de la conservation (Equation 3)

		Cu	Fe	Mn	Zn
Foin ventilé	F à R	-9%	-19%	-6%	-11%
	R à C	1%	15%	8%	5%
	F à C	-8%	-6%	2%	-6%
	ETR	0,23	84	3	0,84
	P ²⁾	+	n.s.	n.s.	*
Foin séché au sol	F à R	-10%	-14%	-11%	-18%
	ETR	0,33	88	6	0,78
	P ²⁾	n.s.	n.s.	n.s.	***
Ensilage d'herbe	F à R	0%	138%	30%	0%
	R à C	9%	43%	27%	13%
	F à C	9%	240%	65%	13%
	ETR	0,32	154	6	0,61
	P ²⁾	n.s.	**	***	***

¹⁾F : frais ; R : récolte ; C : conserve

²⁾*** P < 0,001 ; ** P < 0,01 ; * P < 0,05 ; + P < 0,10 ; n.s. non significatif ; ETR écart type résiduel en mg / kg MS

3. DISCUSSION

Les influences de la composition botanique sur les teneurs en oligo-éléments observées ici corroborent celles de Hasler et Besson (1972) et Stünzi (1998), qui ont constaté que la teneur en Cu était nettement plus faible dans les graminées que dans les autres plantes issues d'un herbage de population mixte. Stünzi (1998) a aussi constaté que les raygrass italien et anglais contenaient moins de Cu, mais pas moins de Zn que le dactyle. Les influences du stade de développement sur les teneurs en oligo-éléments observées ici avaient été observées par Hasler et Besson (1972) pour le Cu, par Kirchgessner (1957) pour le Cu, Mn et Zn, par

Kirchgessner *et al* (1968) pour le Cu sur le trèfle violet et la luzerne et Stünzi (1973) pour le Zn. La différence entre la 1^{ère} pousse et les repousses a son importance pour le Cu et Zn ce qui confirme les observations faites par Wyss et Kessler (2002).

La teneur en Fe était fortement liée à celle en cendres (CE) (Fe [mg / kg MS] = 436 + 15,1 * CE [g / kg MS] + 0,139 * CE², R² = 0,85, SEM = 184). Dès 10% de CE, la relation entre CE et Fe est linéaire (Fe [mg / kg MS] = -2500 + 26,8 * CE [g / kg MS], R² = 0,87, SEM = 218). Les teneurs élevées en Fe se situaient principalement dans l'herbe avec un stade de développement précoce et dans les ensilages accentués par une coupe basse et sans préfanage. Ces herbages présentaient un risque accru de contaminations terreuses, d'où une teneur élevée en CE et Fe. L'influence du stade de développement, avec une réduction en Fe, suivi d'une augmentation durant les stades tardifs, est en adéquation avec les observations sur trèfle rouge et luzerne de Kirchgessner *et al* (1968).

Sur pâturages, une teneur en Co accrue était observée durant les mois d'automne (Schlegel et Bracher, 2012). Comme constaté avec le Fe, le Co semble augmenter lorsque l'herbe est contaminé par la terre. Co [mg / kg MS] = 0,255 + -0,0076 * CE [g / kg MS] + 0,00006 * CE², R² = 0,70, SEM = 0,12). Dès 10% de CE, la relation entre CE et Co est linéaire (Co [mg / kg MS] = -1,124 + 0,0117 * CE [g / kg MS], R² = 0,77, SEM = 0,14).

Sur la base des 188 échantillons utilisés dans l'équation 1 et des 52 échantillons utilisés dans l'équation 3, des teneurs sont déclinées pour les tables de valeurs nutritives.

A titre d'exemple, les teneurs en Cu du fourrage sont issus du modèle de calcul suivant (Figure 1):

$$\begin{aligned} \text{Cu [mg / kg MS]} = & (12,0 - 1,82 * \text{Stade} + 0,15 * \text{Stade}^2 \\ & + (-1,26 \text{ pour } 1^{\text{er}} \text{ cycle} ; 1,26 \text{ pour cycles suivants}) \\ & + (-0,54 \text{ pour G, G}_R \text{ et E}_R ; 0,62 \text{ pour E} ; 1,0 \text{ pour D}_F) \\ & * (0,9 \text{ pour foin ventilé et foin séché au sol} ; 1,1 \text{ pour ensilage conservé}) \end{aligned}$$

Sur la base de 266 échantillons, le modèle permet d'expliquer 60 % (SE = 1,3) de la variabilité entre Cu analysé et Cu calculé (Figure 2).

Figure 1 Modèle proposé de la teneur en Cu de l'herbage non conservé

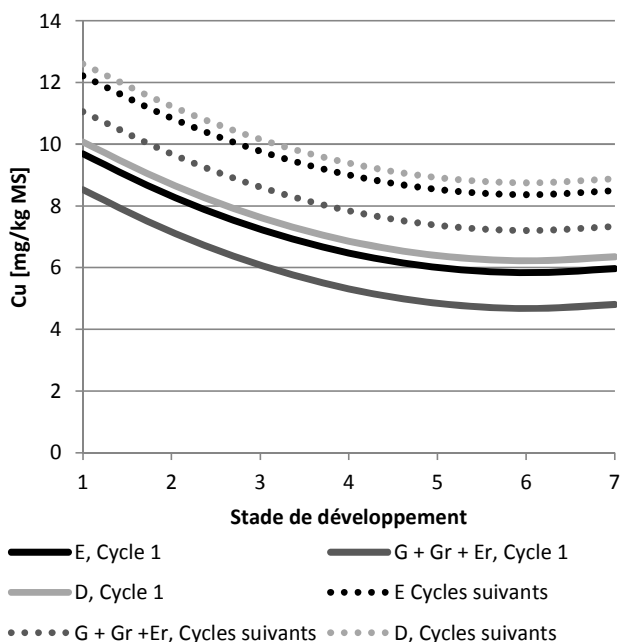
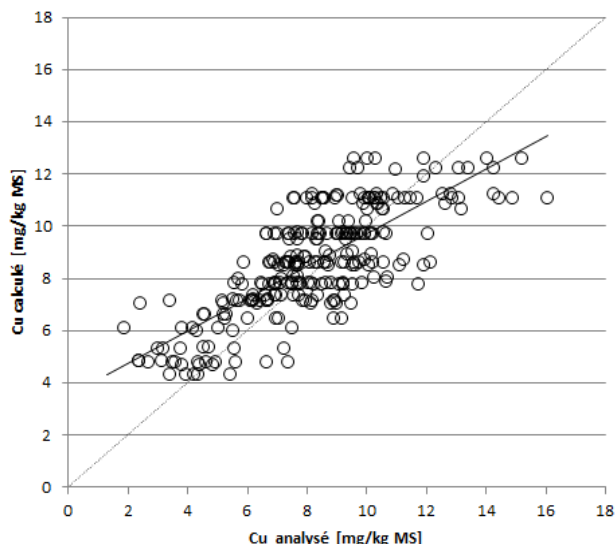


Figure 2 Corrélation entre les teneurs en Cu analysés et calculés



CONCLUSION

Toutes les variables étudiées ont eu une influence sur les teneurs en oligo-éléments excepté le cobalt et le sélénium. La concentration de ces deux derniers éléments était très faible. La présente étude permet de proposer des valeurs de référence pour les teneurs en oligo-éléments de fourrages en fonction de la composition botanique, du cycle de végétation, du stade de développement et du mode de conservation. Ceci visant à une meilleure prise en compte des teneurs en oligo-éléments de l'herbage lors de l'optimisation des apports minéraux des herbivores.

Les auteurs remercient P. Janona et K. Roussilhes, stagiaires de l'ENSAT, pour le travail fourni dans la préparation de la mise en valeur des données.

Daccord R., Wyss U., Kessler J., Arrigo Y., Rouel M., Lehmann J., Jeangros B. et Meisser M., 2006. www.agroscope.ch/futtermitteldatenbank/04834/index.html?lang=fr
 Hasler A. et Besson J.M., 1972. Schweiz. Landw. Forsch. 11, 313-332
 Kirchgessner M., 1957. Zeitsch. Tierern. Futtermittelk. 12, 304-314
 Kirchgessner M., Voigtländer G., Maier D.A., Pahl E., 1968. Das Wirtschaftseigene Futter 14, 112-122
 Mosimann E., Frick R., Suter D. et Rosenberg E., 2012. Rev. Suisse Agric., 10, 3-12.
 Schlegel P. et Bracher A., 2012. Renc. Rech. Rumin., 213
 Stünzi, 1973. Schweiz. Landw. Forsch. 21, 61-70
 Stünzi, 1989. Landw. Schweiz 2, 437-441
 Stünzi, 1998. Rev. Suisse Agric., 5, 69-72.
 Wyss U., 2011. Fourrages, 206, 119-124
 Wyss U. et Kessler J., 2002. Rev. Suisse Agric., 9, 292-299