

Valeur nutritive des prairies mesurée par spectrométrie dans le proche infrarouge

Geert Kleijer¹, Carine Oberson², Eric Mosimann³, Marco Meisser³ et Cécile Brabant²

¹Chemin de la Croisette 44, 1260 Nyon

²Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 1260 Nyon, Suisse

³Agroscope, Institut des sciences en production animale IPA, 1260 Nyon, Suisse

Renseignements: Cécile Brabant, e-mail: cecile.brabant@agroscope.admin.ch



La connaissance de la valeur nutritive de l'herbe est essentielle pour optimiser les productions qui en sont issues.

La valeur nutritive des fourrages consommés par les ruminants détermine en grande partie leur production de lait et de viande. Les analyses chimiques requises pour déterminer cette valeur nutritive sont laborieuses. La spectrométrie dans le proche infrarouge (NIRS) offre une alternative non destructive et rapide pour analyser les principaux paramètres déterminant la valeur nutritive d'un fourrage. Cette étude compare les résultats d'analyses chimiques et de mesures NIRS effectuées sur 169 échantillons de fourrages issus de prairies permanentes et temporaires.

Introduction

La Suisse est un pays de prairies et d'élevage et le bétail y est en grande partie nourri à l'herbe. Pour assurer une production laitière de qualité, il est important de

connaître la valeur nutritive des fourrages consommés par les ruminants. Cette valeur nutritive est complexe à déterminer; elle peut être estimée à partir des teneurs en différentes substances ou groupes de substances, comme la matière azotée, la matière sèche, la matière organique, la ligno-cellulose, la lignine, la cellulose vraie et la fraction insoluble des composés phénoliques. Schovich (1975, 1976, 1979, 1990, 1995 et 1999) a développé des méthodes d'analyse chimique permettant de mesurer la plupart de ces paramètres. Il a également mis au point des indices décrivant l'effet potentiellement négatif et l'action fermentaire potentielle du fourrage (Schovich 1999). La digestibilité de la matière organique, c'est-à-dire le degré de digestion de la matière organique par l'animal, est le paramètre le plus représentatif de la qualité du fourrage. La DMOL est basée sur la teneur des fourrages en ligno-cellulose, en lignine, en

Encadré | Lexique

CPFI – Fraction insoluble des composés phénoliques
CV – Cellulose vraie
DMO – Digestibilité matière organique
DMOiafp – Digestibilité matière organique basée sur l'indice d'action fermentaire potentielle
DMOianp – Digestibilité matière organique basée sur l'indice d'action potentiellement négatif
DMOI – Digestibilité matière organique basée sur la teneur en lignine, ligno-cellulose, cellulose vraie et fraction insoluble des composés phénoliques
IAFP – Indice action fermentaire potentielle
IANP – Indice action potentiellement négatif
L – Lignine
LC – Ligno-cellulose
MAT – matière azoté
MO – Matière organique
MS – Matière sèche
NIRS – Spectrométrie dans le proche infrarouge
PP – Prairie permanente
PT – prairie temporaire
SEC – erreur standard de l'ensemble de calibration
SEL – Erreur standard des analyses de référence
SEP – Erreur standard de l'ensemble de validation

cellulose et en acides phénoliques fixés aux parois (Scehovic 1991). La prise en compte des valeurs de l'IANP (DMOianp, calculé à partir de DMOL et IANP) et de l'IAFP (DMOiafp, calculé à partir de LC, IANP et IAFP) améliore considérablement la corrélation entre les valeurs de DMO estimées et celles mesurées *in vivo* (Scehovic 1995 et 2001).

Depuis 2001, la spectroscopie dans le proche infrarouge (NIRS) est utilisée avec succès dans le laboratoire d'Agroscope IPV pour mesurer la matière azotée des végétaux (validation: $r=0,96$, SEP 1,7). Cette méthode rapide et non destructive peut être appliquée à des quantités de matériel relativement faibles (au minimum 100 ml) sur des échantillons séchés et moulus. Dans de nombreux pays, la valeur nutritive des plantes fourragères est de plus en plus analysée avec le NIRS (Givens et

Deville 1999; Andrès *et al* 2005a et 2005b). Agroscope utilise cette technologie, notamment pour évaluer la valeur nutritive du fourrage des prairies permanentes et temporaires composées de différentes espèces botaniques. La présente étude porte sur les corrélations entre les analyses chimiques, laborieuses, et celles réalisées avec le NIRS. L'objectif est d'identifier les paramètres pouvant être analysés avec le NIRS, en particulier pour estimer correctement la DMO.

Matériel et méthodes

Le matériel analysé dans cette étude provient d'essais réalisés sur des prairies permanentes (PP) riches en espèces ($n=84$) et sur des prairies temporaires (PT) de composition botanique moins diversifiée ($n=85$). Les paramètres suivants ont été mesurés: CPFI, CV, IANP, L, LC, MS et MO pour les PP, CPFI, IAFP, IANP, LC, MS et MO pour les PT. Ces paramètres ont permis de calculer DMOianp et DMOL pour les PP et DMOiafp pour les PT. Les analyses chimiques ont été effectuées d'après les méthodes développées par Scehovic (1975, 1976, 1979, 1990, 1995 et 1999). Les analyses NIRS ont été effectuées avec un Nirflex N500 de Büchi. Ampuero et Wyss (2014) ont décrit l'appareil Nirflex N500 et les critères permettant d'évaluer la qualité du calibrage. Les calibrations pour tous les paramètres ont été développées par Agroscope IPV et ont été régulièrement améliorées en introduisant dans les modèles de nouvelles données de référence, déterminées par analyse chimique. ➤

Tableau 1 | Coefficients de détermination (r^2) entre analyses chimiques et mesures NIRS et répétabilité des analyses de référence (SEC, SEP, SEL) pour les différents paramètres

Paramètre	r^2	SEC	SEP	SEL
CPFI	0,64	0,1	0,1	0,0
CV	0,87	0,8	0,9	0,1
DMOianp	0,95	1	1	0,8
DMOiafp	0,94	2	2	1
DMOL	0,94	2	2	0,7
IAFP	0,77	5	6	7
IANP	0,91	10	14	5
L	0,87	0,7	0,7	0,4
LC	0,93	1	1	0,3
MO	0,66	0,9	1	0,2
MS	0,68	0,2	0,3	0,1

SEC: erreur standard de l'ensemble de calibration

SEP: erreur standard de l'ensemble de validation

SEL: erreur standard de la méthode de référence

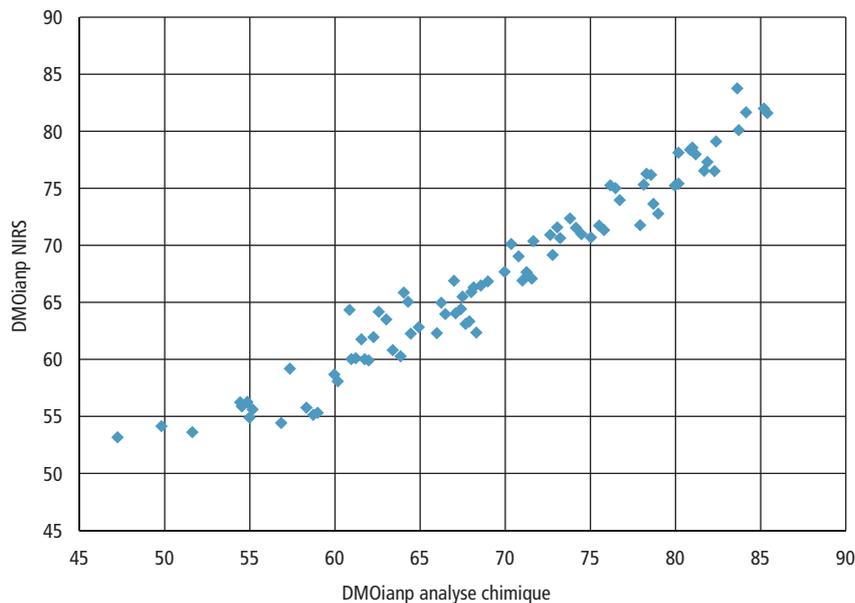


Figure 1 | Coefficient de détermination ($r^2=0,95$) entre DMOianp calculé et mesuré par NIRS.

L'erreur standard des analyses de référence, SEL ($SEL = [\text{somme}(y_1 - y_2)^2 / 2M]^{1/2}$, où M est le nombre d'échantillons analysés à double) a été déterminée en répétant deux fois l'analyse de 35 échantillons. Elle permet d'évaluer la précision des analyses NIRS pour les différents paramètres.

Résultats et discussion

Les résultats des coefficients de détermination et les différentes erreurs standards NIRS – SEC, SEP (prédiction) ainsi que SEL –) sont présentés dans le tableau 1. Les coefficients de détermination obtenus varient beaucoup d'un paramètre à l'autre. Les valeurs les plus élevées ont été obtenues pour la ligno-cellulose (0,93), l'indice d'action potentiellement négatif (0,91), la lignine (0,87), ainsi que la cellulose vraie (0,87). Le coefficient de détermination (r^2) pour la matière sèche est bas (0,68). D'après Corrolino et Labandera (2002), le NIRS est une méthode efficace pour mesurer la matière sèche sur du matériel frais, mais nos analyses ont été effectuées sur des échantillons séchés. Le coefficient pour la matière organique ($r^2 = 0,66$) et les composés phénoliques ($r^2 = 0,64$) sont également faibles. Les indices de digestibilité calculés (DMOiafp, DMOianp et DMOL) montrent des coefficients très élevés, $r^2 =$ respectivement de 0,94, 0,95 et 0,94 (tabl. 1 et fig. 1).

Les résultats de la répétabilité des analyses de référence sont également présentés dans le tableau 1. Il est en général admis qu'une calibration donne une bonne

prédiction lorsque l'erreur standard des mesures NIRS (SEP) ne dépasse pas deux fois l'erreur standard de l'analyse manuelle SEL. Le tableau 1 montre que c'est le cas pour DMOianp, DMOiapf, IAFP et L. Pour les autres paramètres, la calibration doit encore être améliorée. Le coefficient de corrélation (r , tabl. 2) entre les prédictions NIRS et les données de référence pour l'ensemble des échantillons de validation est en général très bon, c'est-à-dire supérieur ou égal à 0,90, sauf pour CPFI et MS. Pour les trois paramètres de digestibilité de la matière

Tableau 2 | Coefficient de corrélation (r) entre les prédictions NIRS et les données de référence pour les différents paramètres

Paramètre	r	Nombre de spectres ou points en calibration	Nombre d'échantillons en calibration
CPFI	0,89	443	111
CV	0,99	1044	849
DMOianp	0,98	1079	837
DMOiapf	0,97	881	673
DMOL	0,97	949	745
IAFP	0,90	386	103
IANP	0,96	513	126
L	0,97	1049	828
LC	0,98	1059	765
MO	0,90	795	232
MS	0,89	669	209

organique, DMOiafp, DMOianp et DMOL, le biais est respectivement de 0,14, -0,03 et 0,26. Le biais correspond à la déviation moyenne entre les valeurs de la prédiction NIRS et les valeurs de référence. Il nous indique la qualité de la calibration. Plus celui-ci est proche de 0 et meilleure est la calibration.

La bonne prédiction de la digestibilité par le NIRS a déjà été démontrée par d'autres auteurs. Andrès *et al.* (2005a) ont trouvé un $r^2 = 0,89$ pour la digestibilité *in vitro* de la matière sèche des herbages des prairies permanentes. Le même r^2 a été trouvé par DeBoever *et al.* (1996) pour prédire la digestibilité de la matière organique *in vivo* des ensilages d'herbe. Ces deux recherches ont utilisé des méthodes différentes pour déterminer la digestibilité. La méthode utilisée et développée dans notre laboratoire est spécifique et adaptée à nos besoins (Scehovic 1979, 1994, 1995, 2001). Mika *et al.* (1998) ont trouvé un coefficient de détermination de 0,92 pour l'IANP basé sur 69 échantillons de trois différentes espèces, ce qui correspond à nos résultats obtenus avec des échantillons composés d'un mélange d'espèces.

Conclusions

- La digestibilité de la matière organique (DMOianp, DMOiafp et DMOL) calculée sur la base de plusieurs paramètres chimiques peut être aussi déterminée par NIRS. Les modèles NIRS montrent un bon pouvoir de prédiction, illustré ici par des r^2 supérieur à 0,95.
- La prédiction des teneurs en ligno-cellulose, lignine et cellulose vraie est aussi bonne (r^2 supérieur à 0,86) et ces teneurs peuvent être mesurées par NIRS.
- Pour les autres paramètres, les calibrations NIRS doivent être améliorées pour que les mesures NIRS puissent remplacer les analyses chimiques.

Bibliographie

- Ampuero Kragten S. & Wyss U., 2014. Les fourrages à la lumière du proche infrarouge (NIRS). *Recherche Agronomique Suisse* **5**, 204–211
- Andrès S., Giraldez, F. J., Lopez S., Mantecon A. R. & Calleja A., 2005a. Nutritive evaluation of herbage from permanent meadows by near-infrared reflectance spectroscopy: 1. Prediction of chemical composition and *in vitro* digestibility. *J. Sci. Food Agric.* **85**, 1564–1571.
- Andrès S., Calleja A., Lopez S., Mantecon A. R. & Giraldez F. J., 2005b. Nutritive evaluation of herbage from permanent meadows by near-infrared reflectance spectroscopy: 2. Prediction of crude protein and dry matter degradability. *J. Sci. Food Agric.* **85**, 1572–1579
- Corrolino D. & Labandera M., 2002. Determination of dry matter and crude protein contents of undried forages by near infrared spectroscopy. *J. Sci. Food Agric.* **82**, 380–384.
- DeBoever J. L., Cottyn B. G., DeBrabander D. L., Vanacker J. M. & Boucque C. V., 1996. Prediction of the feeding value of grass silages by chemical parameters, *in vitro* digestibility and near-infrared reflectance spectroscopy. *Animal Feed Sci and Techn.* **60**, 103–115.
- Givens D. I. & Deaville E. R. 1999. The current and future role of near infrared reflectance spectroscopy in animal nutrition: a review. *Aust. J. Agric. Res.* **50**, 1131–1145.
- Mika V., Kohoutek A., Pozdisek J., Smital F. & Nerusil P., 1998. Index of negative action of phenols (IANP) and its prediction in meadow plants using spectroscopy in near infrared region (NIRS). *Rostlinna Vyroba* **44**, 561–564
- Scehovic J., 1975. Evaluation de la qualité des fourrages sur la base de leur composition chimique. *Rech. Agron. en Suisse* **14**, 137–152.
- Scehovic J., 1976. Prévion de la quantité de matière sèche ingérée des fourrages sur la base de leur composition chimique. *Rech. Agron. en Suisse* **15**, 113–127.
- Scehovic J., 1979. Prévion de la digestibilité de la matière organique et de la qualité de matière sèche volontairement ingérée des graminées, sur la base de leur composition chimique. *Fourrages* **79**, 57–79.
- Scehovic J., 1990. Tanins et autres polymères phénoliques dans les plantes de prairies: détermination de leur teneur et de leur activité biologique. *Revue suisse Agric.* **23**, 305–310.
- Scehovic J., 1991. Considération sur la composition chimique dans l'évaluation de la qualité des fourrages des prairies naturelles. *Revue suisse Agric.* **23**, 305–310.
- Scehovic J., 1995. Etude de l'effet de diverses espèces de plantes des prairies permanentes sur l'hydrolyse enzymatique des constituants pariétaux. *Ann. Zootech.* **44**, 87–96.
- Scehovic J., 1999. Evaluation *in vitro* de l'activité de la population microbienne du rumen en présence d'extraits végétaux. *Revue suisse Agric.* **31**, 89–93.
- Scehovic J., 2001. Mesure *in vitro* de l'activité microbienne du rumen pour mieux estimer la qualité des fourrages. *Revue suisse Agric.* **33**, 239–244.