

Prévoir la valeur alimentaire des fourrages issus d'intercultures et de mélanges céréales-protéagineux ensilés

A. Férard¹, V. Decruyenaere², R. Baumont³, G. Maxin³

1 : ARVALIS-Institut du Végétal, station expérimentale de la Jaillière, F-44370 La Chapelle-Saint-Sauveur (France) ; a.ferard@arvalis.fr

2 : Centre wallon de Recherches Agronomiques, Département Productions et filières, Rue de Liroux 8, B-5030 Gembloux (Belgique)

3 : Université Clermont Auvergne, INRA, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle (France)

Résumé

La prévision de la valeur alimentaire des fourrages issus de mélanges céréales-protéagineux récoltés immatures est délicate car les données disponibles à l'INRA ne permettent pas de proposer des équations spécifiques pour toutes les composantes du calcul de la valeur alimentaire de ces fourrages. Les résultats de l'enquête menée en 2018 auprès de laboratoires français montrent que différentes méthodes de calculs sont utilisées, ce qui peut aboutir à des résultats contrastés en termes de valeurs énergétique et azotée pour un même fourrage. Parmi les bonnes pratiques à rappeler, la première consiste à remplir de façon précise la fiche de demande d'analyse en décrivant le fourrage à analyser ; c'est la responsabilité du préleveur de l'échantillon qui est aussi souvent le client de l'analyse. La mesure (ou, à défaut, une expertise à l'arrivée au laboratoire), du pourcentage de présence de chacune des familles botaniques dans un mélange est par ailleurs une étape indispensable qui permet d'utiliser les équations INRA en les pondérant par le taux de présence des espèces. Les autres choix d'équations de calcul de valeur alimentaire à réaliser pour des espèces ou familles peu communes sont proposés dans ce texte. Le respect des bonnes pratiques de laboratoire dans l'évaluation de la composition chimique et dans le calcul de la valeur alimentaire des fourrages permettront de mieux informer les éleveurs sur la qualité de leurs fourrages issus d'intercultures. Ces propositions seront à valider par la mise en place de travaux d'expérimentation *in vivo* afin d'aboutir à un référentiel complet pour les fourrages encore peu étudiés.

Introduction

Les fourrages produits à partir des intercultures et des mélanges céréales-protéagineux immatures (MCPI) sont de plus en plus utilisés par les agriculteurs pour sécuriser les bilans fourragers. La diversité des fourrages obtenus mêlant différentes espèces végétales en proportions variables reste un frein majeur à la constitution de référentiels permettant aux agriculteurs d'évaluer correctement la valeur alimentaire de ces fourrages (EMILE *et al.*, 2016). La prévision de la valeur alimentaire à partir de la composition chimique est cependant délicate du fait qu'il existe peu ou pas de mesures de références de digestibilité et d'ingestibilité *in vivo* existantes pour ces fourrages particuliers. Il est alors nécessaire de choisir, parmi les équations disponibles, celles qui sont les mieux adaptées pour apporter une information de valeur alimentaire à l'agriculteur. L'estimation précise de la valeur alimentaire d'un fourrage permet de le valoriser au mieux dans un calcul de ration en l'associant avec d'autres fourrages et compléments pour satisfaire les besoins des animaux.

L'objectif de ce texte est de i) dresser un état des lieux des pratiques actuelles d'analyses et de calculs de la valeur alimentaire des mélanges d'espèces fourragères dans les laboratoires d'analyses, et ii) de proposer une méthodologie qui permette d'harmoniser les méthodes de calcul de la valeur alimentaire des fourrages issus de mélanges d'espèces pour lesquels il n'existe pas d'équations spécifiques pour toutes les étapes du calcul.

1. Rappels sur les concepts, variables et recommandations de l'INRA pour prévoir la valeur alimentaire des fourrages à une ou plusieurs espèces

La caractérisation visuelle du fourrage par l'agriculteur au moment de la récolte (humidité, présence de plus ou moins de feuilles, etc.) ou après conservation (couleur, odeur : cf. grille de MAHANNA (1997) cité par LEDUC et FOURNIER (1998)) apporte des informations essentielles pour obtenir une première approche de la qualité du fourrage, mais n'est pas suffisante. Pour obtenir des informations quantifiées, l'analyse du fourrage dans un laboratoire est une étape indispensable pour déterminer sa composition chimique, ce qui permet ensuite la prévision de la valeur alimentaire.

– Analyse de la composition en chimie humide

Les analyses biochimiques nécessaires au calcul de valeur alimentaire d'un échantillon de fourrage sont :

- la teneur en matière sèche (MS),
- la teneur en cendres ou matière minérale afin de déterminer la teneur en matière organique (MO) (en g kg MS) = 1 000 – cendres),
- la teneur en azote (MAT = 6,25 × N),
- les constituants pariétaux soit par analyse de la teneur en cellulose brute (CB), soit par les teneurs en NDF et ADF,
- la digestibilité pepsine-cellulase (DCS) : optionnel mais fortement conseillé,
- et, en option, la teneur en matières grasses et les produits de fermentation.

Pour chacune de ces analyses, il existe une méthode de référence fixée par l'AFNOR et par le règlement européen sur l'analyse des aliments pour les animaux (CE 152/2009). Cependant, d'autres méthodes que les méthodes de référence sont parfois utilisées par les laboratoires. Le détail des méthodes d'analyse de référence utilisées pour déterminer les caractéristiques chimiques mentionnées dans les *Tables INRA* de valeurs des aliments ont été décrites (BAUMONT *et al.*, 2018).

Le contrôle de la fiabilité (répétabilité, reproductibilité, justesse...) des résultats d'analyses peut être réalisé en interne au laboratoire (cartes de contrôle, échantillons témoins internes aux séries) et par le biais d'essais interlaboratoires comme ceux proposés au sein d'un réseau tel que le Bureau InterProfessionnel d'Etudes Analytiques (BIPEA).

L'analyse chimique est la méthode de référence car la plus fiable et précise. Elle est indispensable aussi pour développer les calibrations SPIR et est nécessaire pour les échantillons qui sortent des populations de calibrations utilisées en SPIR. Elle est toutefois plus onéreuse et moins rapide que la méthode SPIR.

– Prévision de la composition chimique par spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR)

La SPIR est une méthode indirecte qui nécessite le développement de calibrations pour relier les données spectrales d'échantillons aux valeurs obtenues par les méthodes de référence (chimie humide ; DECRUYENAERE *et al.*, 2006). La démarche classique consiste à établir un modèle mathématique pour chaque type de fourrage (graminée, légumineuse, mélange d'espèces, maïs plante entière, prairie permanente...), chaque mode de récolte ou conservation du fourrage (pâturage, ensilage, mi-fané, foin), chaque mode de présentation des fourrages (sec, broyé ou frais) et chaque paramètre à estimer. Une calibration SPIR est donc caractérisée par un coefficient de corrélation (R^2) et une erreur de prédiction (SEC, SECV). Lors d'une analyse par SPIR, le spectre obtenu à partir de l'échantillon « inconnu » peut alors être comparé à une base de données de référence. Pour les fourrages simples et courants, les bases de données de référence sont généralement suffisamment référencées et permettent une bonne qualité de prévision de la composition biochimique du fourrage (ANDUEZA *et al.*, 2011 et 2016). Par exemple, les calibrations SPIR utilisées en routine par les laboratoires permettent ainsi d'estimer la teneur en protéines des fourrages avec une précision (SEC) variant de 0,42 à 0,76 % de la MS respectivement pour des ensilages de maïs et des ensilages d'herbe.

De même, la précision de la prédiction de la teneur cellulose est de l'ordre de 1 % de la MS (MINET *et al.*, 2016).

Pour autant que les spectromètres fonctionnent correctement et que la préparation des échantillons soit standardisée, **la fiabilité d'une détermination obtenue par SPIR est essentiellement liée à la qualité de la calibration**, à la connaissance et au respect de ses limites (DECRUYENAERE *et al.*, 2006). **Le spectre d'un nouvel échantillon doit être proche de ceux des échantillons ayant servi à l'établissement du calibrage**. Les calibrations des outils SPIR doivent être régulièrement contrôlées et remises à jour par l'analyse chimique de nouveaux échantillons avec les méthodes de référence en parallèle.

– Calcul de valeur alimentaire : les équations existant dans le système INRA

La prévision des composantes de la valeur alimentaire d'un fourrage repose avant tout sur celle de la digestibilité de la matière organique (dMO). La dMO est le premier facteur de variation de la valeur énergétique (UFL, UFV) et des valeurs d'encombrement (JEM, UEB, UEL) mais aussi, dans une moindre mesure, de la valeur PDIE (PDI dans le nouveau système INRA 2018). **La prévision de la dMO est plus précise à partir de la digestibilité enzymatique pepsine-cellulase (DCS) qu'à partir de la composition biochimique (CB ou ADF et MAT)** (AUFRERE *et al.*, 2007). **Pour les fourrages issus de mélanges d'espèces cultivées en intercultures, donc non référencés dans les Tables INRA, il est fortement conseillé de calculer la dMO en faisant intervenir la DCS.**

Pour aboutir à la valeur alimentaire, de nombreuses étapes de calculs restent cependant nécessaires (BAUMONT *et al.*, 2007 et 2018). Celles-ci font intervenir des caractéristiques telles que : teneurs en MS, en MAT, en CB ou en parois végétales (NDF ou ADF), et en cendres. A cela s'ajoutent quelques informations de description des fourrages (type de matrice analysée : vert ou après conservation, famille botanique, numéro de coupe, mode de conservation) permettant de choisir les équations appropriées. **Les valeurs de composition chimique permettent de calculer des critères qui interviennent dans le calcul des UF, PDI et UE tels que : l'énergie brute (EB), la digestibilité de l'énergie (dE), la digestibilité de la matière organique (dMO), la dégradabilité de la MAT (DT)**. Pour le calcul de ces derniers critères, il n'existe pas ou peu d'équations spécifiques aux fourrages issus d'intercultures et de mélanges céréales-protéagineux ensilés. Il est donc nécessaire d'utiliser les équations qui seraient les plus appropriées par expertise (cf. §5.). **Pour les mélanges d'espèces fourragères associant graminées et légumineuses (et/ou crucifères), à défaut de disposer d'équations spécifiques, la recommandation est d'appliquer les équations INRA de chaque famille botanique en utilisant la valeur de composition chimique du mélange puis en pondérant les valeurs obtenues du taux de présence des espèces dans le mélange fourrager**. Cette méthode est une approximation car il n'existe pas ou peu de mesures *in vivo* étudiant des mélanges d'espèces. Il est donc fait l'**hypothèse de l'additivité des valeurs alimentaires**. **Le pourcentage de chaque famille botanique (sur la base MS) devra être mentionné** par la personne chargée de l'échantillonnage chez l'agriculteur ou, à défaut, par le technicien du laboratoire par expertise à partir d'un examen visuel du fourrage réceptionné. Pour être plus précis dans le calcul de la valeur alimentaire de ces mélanges, notamment dans le cas d'essais, des analyses de valeur alimentaire de chacune des familles botaniques séparément seront privilégiées.

2. Quelles pratiques dans les laboratoires en France ?

Un questionnaire envoyé en janvier 2018 à une vingtaine de laboratoires a permis de connaître les pratiques de ces laboratoires lorsque ceux-ci reçoivent des échantillons de fourrages issus de mélanges d'espèces fourragères (intercultures ou MCPI). Il s'agissait de préciser le type d'échantillon traité et de décrire brièvement le type d'analyses réalisées. Douze laboratoires ont répondu à l'ensemble du questionnaire qui comportait 17 questions ouvertes ou à choix multiples.

– Réception des échantillons et types d'analyses effectuées

Les résultats de l'enquête montrent que ces laboratoires réalisent tous des analyses de fourrages issus de mélanges d'espèces. Un laboratoire traite moins de 100 analyses/an, 5 laboratoires entre 100 et 600 analyses/an, et 6 laboratoires réalisent plus de 600 analyses/an de mélanges d'espèces. La part des échantillons reçus « en vert » (= avant entreposage du fourrage) est toujours inférieure à 66%,

voire inférieure à 33% (6 laboratoires), le reste étant essentiellement constitué d'échantillons prélevés au moment de l'utilisation des fourrages après conservation. Parmi les entreprises enquêtées, aucune n'effectue d'analyses en ferme sur des fourrages bruts non séchés (via un outil type AgriNIR). **La gestion des échantillons issus de mélanges d'espèces fourragères est anticipée par 10 laboratoires sur 12 qui demandent au client (agriculteur ou technicien) de préciser le type de fourrage et la part de légumineuses qu'il comporte.** Ces informations ne sont cependant pas fournies dans tous les cas par le client, ce qui nécessite de réaliser une expertise visuelle sur les échantillons à leur arrivée au laboratoire pour déterminer s'il s'agit ou non d'un fourrage issu d'un mélange d'espèces fourragères tel que de nombreuses intercultures ou les MCPI (Tableau 1).

TABLEAU 1 – Résultats portant sur la partie réception des échantillons lors de l'enquête auprès de laboratoires effectuant des analyses de fourrages issus de mélanges d'espèces fourragères. MAT : matières azotées totales, CB : cellulose brute, DCS : digestibilité pepsine cellulase

| Questions posées | Réponses enquêtes laboratoires (nombre de cas / total) |
|---|---|
| Au laboratoire : y a-t-il un séchage en étuve préalable à l'analyse des échantillons ? | <ul style="list-style-type: none"> • séchage à 80°C durant 48h (8/12) • séchage à 80°C durant 24h (2/12) • séchage à 70°C durant 16h (1/12) • séchage à 80°C : i/ 48h pour les échantillons arrivant en début et milieu de semaine ou à 60°C, ii/ 72h pour les éch. qui passent le week-end en étuve (1/12) |
| Quelle méthodologie d'analyse est réalisée par votre laboratoire ? | <ul style="list-style-type: none"> • 100 % chimie humide (2/12) • 75-100 % chimie humide – le reste en SPIR (1/12) • 50-75 % chimie humide – le reste en SPIR (2/12) • 0-25% chimie humide – le reste en SPIR (3/12) • 100% SPIR (4/12) |
| Dans le cas d'une chimie humide, quels critères sont systématiquement analysés ? | <ul style="list-style-type: none"> • Cendres, MAT, CB (5/8) • Cendres, MAT, CB, DCS (2/8) • DCS, glucides solubles (1/8) |
| Pour les fourrages qui sont classés comme des « mélanges d'espèces fourragères » au laboratoire, comment ce classement est-il déterminé ? | <ul style="list-style-type: none"> • toujours indiqué par l'agriculteur (3/12) • parfois indiqué par l'agriculteur et renseigné par expertise par le technicien du laboratoire sinon (9/12) |
| L'information du pourcentage de légumineuses (ou graminées) est-elle demandée sur le bordereau de demande d'analyse ? | <ul style="list-style-type: none"> • oui (10/12) • non (2/12) |
| Information du pourcentage de légumineuses renseigné par le client | <ul style="list-style-type: none"> • Jamais (1/12) • Oui dans moins de 25 % des cas (2/12) • Oui dans 25-50 % des cas (2/12) • Oui dans 50-75 % des cas (4/12) • Oui dans plus de 75 % des cas (3/12) |

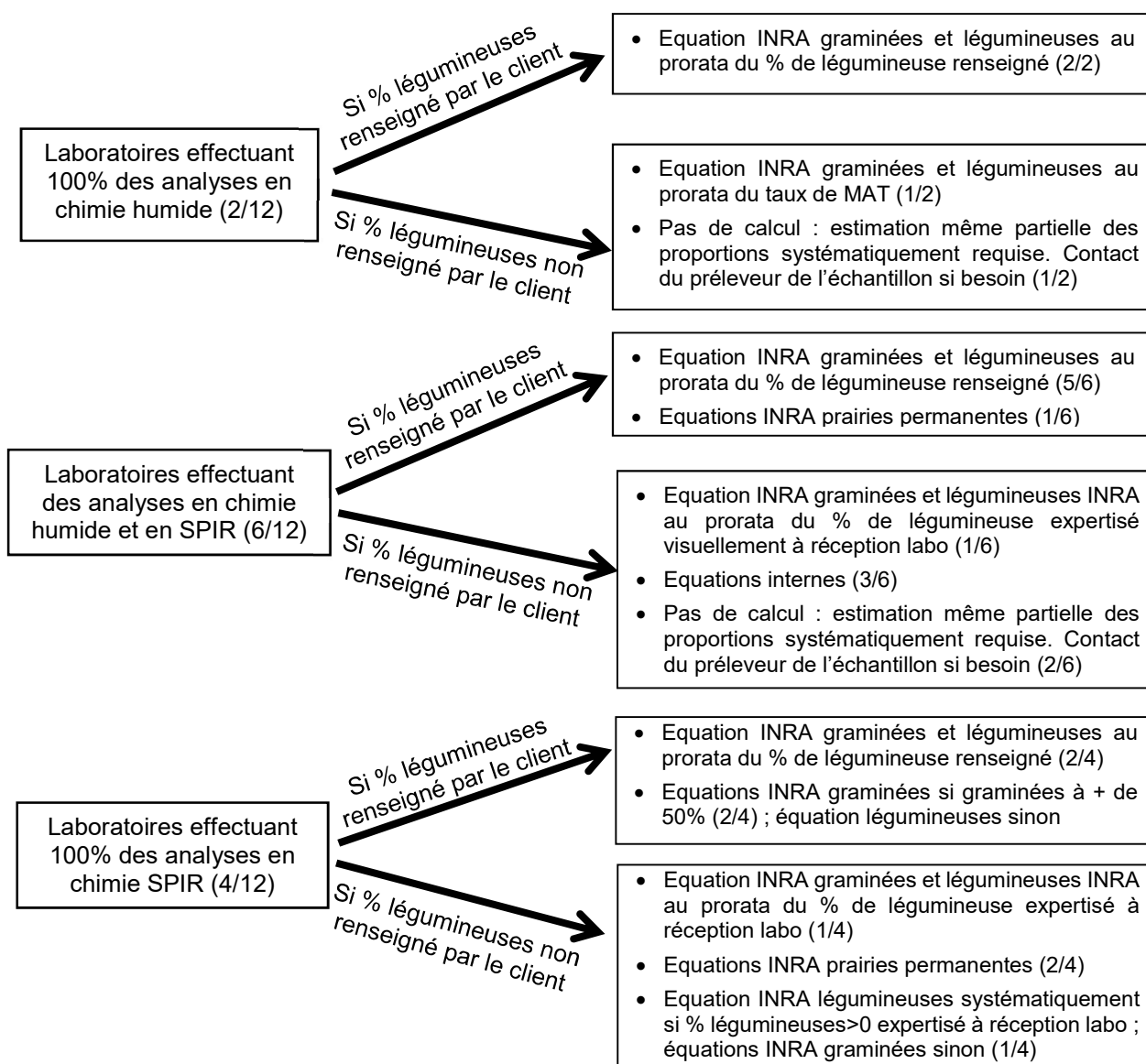
– Le calcul de la valeur alimentaire

Le calcul de la valeur alimentaire des fourrages issus d'un mélange d'espèces de différentes familles botaniques est réalisé en utilisant les compositions chimiques pour appliquer des équations de prévision des UF, PDI et UE. Les résultats de l'enquête (cf §1.4) auprès des différents laboratoires d'analyse a montré qu'au sein d'un même laboratoire, le choix des équations retenues peut être différent suivant que la teneur en légumineuses a été ou non renseignée par le client (Figure 1). Il existe aussi une très grande diversité entre laboratoires dans les méthodologies de calculs retenues.

L'approche « équation INRA graminées et légumineuses au prorata du % de légumineuses renseigné » semble la plus pragmatique et la moins risquée, surtout si la prévision de la dMO est obtenue par la méthode pepsine-cellulase. L'utilisation des équations prairies permanentes est à

déconseiller car les mesures faites sur des prairies permanentes dans les équations INRA l'ont été essentiellement sur des prairies riches en graminées, et elles ont été effectuées en moins grand nombre que les mesures faites sur les graminées et les légumineuses (BAUMONT, communication personnelle). Lorsque le pourcentage de légumineuses n'est pas connu, un laboratoire a choisi d'estimer ce pourcentage en développant une équation de prédiction spécifique basée sur la MAT. La valeur alimentaire du mélange est alors ensuite calculée en utilisant les équations INRA graminées et légumineuses pondérées du taux de présence des familles botaniques dans le mélange. Cette méthode n'est pas conseillée dans la mesure où la teneur en MAT des fourrages est liée non seulement à la famille botanique (graminée/légumineuse) mais aussi au stade de récolte, avec toutes les combinaisons possibles de mélanges d'espèces récoltées à des stades différenciés.

FIGURE 1 – Résultats portant sur la partie déterminant le choix du mode de calcul de valeur alimentaire des mélanges d'espèces fourragères de l'enquête auprès de laboratoires effectuant ce type d'analyses.



Le mode de calcul de la valeur alimentaire des fourrages issus de mélanges comportant des crucifères est variable suivant les laboratoires. Quatre des 10 laboratoires qui ont déjà eu à analyser ce type de fourrage utilisent des équations développées en interne à leur laboratoire (méthodologie non précisée). Trois autres optent pour les équations « INRA prairies permanentes ». Un réalise une pondération entre i) les équations INRA pour les graminées et/ou les légumineuses et ii) la valeur « Table INRA » pour la crucifère en utilisant le pourcentage de présence de chacune des espèces, ce dernier étant systématiquement présent sur la fiche de renseignement de l'échantillon. Enfin, deux

laboratoires réalisent uniquement l'analyse en chimie humide mais ne fournissent pas de calcul de valeur alimentaire.

3. Quelles pratiques dans les laboratoires wallons?

– Utilisation de la SPIR

REQUASUD est un réseau de laboratoires wallons créé en 1989 et mobilisant la spectrométrie dans le proche infrarouge (DECRUYENAERE *et al.*, 2006 ; MINET *et al.*, 2016). Chaque laboratoire est équipé d'appareils de mesures communs (analyseur XDS, FOSS) dont le logiciel permet de lancer des tests de diagnostics. Grâce à des tests spécifiques lancés quotidiennement, chaque laboratoire est en mesure de contrôler le bon état de fonctionnement et la stabilité de son instrument afin de produire des analyses constantes pour un même échantillon au cours du temps.

Dans le cadre du réseau REQUASUD (association sans but lucratif), les spectromètres répartis dans les laboratoires partenaires et gérés par le CRA-W permettent :

- de garantir l'homogénéité des réponses instrumentales (standardisation des spectromètres par rapport à l'appareil maître du Département Qualité du CRAW) ;
- d'utiliser les mêmes calibrations au sein du réseau ;
- de contrôler et d'améliorer les performances analytiques des modèles par l'apport d'échantillons de contrôle analysés par les méthodes de référence.

Afin d'assurer la répétabilité et la reproductibilité des mesures, les laboratoires du réseau participent à des essais interlaboratoires (EIL) organisés par REQUASUD (<http://www.requasud.be/fr/services>). Lors de ces EIL, des mélanges multi-espèces sont régulièrement proposés comme matériels ponctuels d'essais. Chaque laboratoire participant procède aux analyses par chimie humide et par SPIR. Les résultats montrent que les bases de données SPIR actuellement utilisées pour estimer la composition chimique et la digestibilité enzymatique sont assez larges pour couvrir la gamme de variation des mélanges fourragers avec légumineuses. Des développements doivent encore être envisagés pour l'estimation de la composition chimique des mélanges céréales-protéagineux récoltés immatures.

– Calcul de la valeur alimentaire

Les laboratoires du réseau REQUASUD utilisent principalement le système d'alimentation néerlandais Veevoedertabel (2016). Comme pour le système UF-PDI, la dMO est la base de l'estimation de la valeur alimentaire des fourrages dans le système VEM-DVE-OEB. L'énergie brute (EB) peut être estimée de façon générique à partir de la composition chimique des fourrages (www.cvbdiervoeding.nl, 2016). La dMO des produits fourragers multi-espèces est habituellement estimée à partir de la digestibilité de la matière organique à la cellulase et du taux de cendres (De BOEVER *et al.*, 1988). Pour calculer la valeur azotée (DVE-OEB), le système se base sur la dégradabilité des protéines dans le rumen, laquelle est estimée à partir de la teneur en MAT, de la période de coupe et du taux de MS (De BRABANDER *et al.*, 1993).

Pour les fourrages issus d'associations céréales-protéagineux récoltés immatures, il n'existe pas d'équation spécifique de prévision de la valeur alimentaire. La démarche adoptée est de vérifier la teneur en amidon du mélange fourrager (prédiction à partir d'une calibration SPIR ensilage de maïs). Si la teneur en amidon est nulle, les équations d'estimation de la valeur alimentaire des ensilages d'herbe sont utilisées ; si la teneur en amidon est supérieure à 0, ce sont à la fois les équations relatives aux ensilages de maïs et aux ensilages d'herbe qui sont mobilisées. La valeur alimentaire de ce type de produit correspondant alors à la moyenne de celles calculées avec les équations ensilages d'herbe et les équations ensilages de maïs. Le développement de modèles spécifiques à ce type de fourrages permettrait une amélioration de l'estimation de leur valeur alimentaire.

4. Les recommandations pour les clients des laboratoires : comment réaliser un échantillonnage conforme

A la récolte ou lors de la consommation du fourrage (en foin ou ensilé), l'échantillonnage devra permettre de constituer un échantillon représentatif du fourrage. Pour les fourrages destinés à être conservés, **l'échantillonnage du fourrage en vue d'une analyse « en vert »** (c.a.d. avant entreposage ou conservation) **doit être réalisé au moment de la fauche** ou de la coupe. Cela est relativement aisé à mettre en œuvre pour les fourrages ensilés en coupe directe et permet alors de constituer des échantillons qui représentent précisément le fourrage récolté. **Les prélèvements effectués lors du chantier d'ensilage ou d'enrubannage sur un fourrage à plus de 30 %MS ne sont pas conseillés car il n'existe pas d'équation INRA adaptée** (cf § 5.).

Pour un fourrage ensilé ou sec (foin), les prélèvements se feront au moins trois semaines après la récolte ou directement lors de l'utilisation. Un bon échantillon, qui représente environ 200 à 400 g d'équivalent en matière sèche, doit être représentatif de l'ensemble du lot de fourrage, notamment en termes de composition botanique du fourrage, de numéro de coupe, de conditions de récolte/conservation, etc. (DEMARQUILLY, 1981). L'échantillonnage des balles de foin sec ou d'enrubannage pourra être réalisé à l'aide d'une tarière. Dans le cas des ensilages, l'échantillonnage peut être effectué sur fourrage vert non préfané ou une fois que le fourrage a fermenté, de façon à ce qu'il soit stabilisé et que les conditions de conservation soient connues ; c'est notamment le cas des ensilages ou enrubannages réalisés dans des conditions humides avec des écoulements de jus au silo. Au silo, l'échantillonnage doit permettre de prélever du fourrage à différentes hauteurs sur le front d'attaque du silo pour avoir une partie de chaque couche de fourrage.

Quelle que soit la méthode d'échantillonnage, l'échantillon brut doit être conservé à l'abri du soleil ou de la pluie puis placé rapidement au frais dans un sachet hermétique vidé de son air. Une fois l'échantillon clairement identifié, celui-ci peut être envoyé au laboratoire sous 2 jours accompagné de la **fiche de renseignements fournie par le laboratoire. Les informations contenues sur cette fiche influencent la précision des résultats, notamment pour les paramètres calculés ou estimés.** La fiche de demande d'analyse à remplir par le client doit ainsi permettre d'identifier : le type de conservation du fourrage reçu (« en vert » avant conservation, ou après conservation), le numéro de cycle d'exploitation, la destination d'utilisation du fourrage (pâturage, ensilage avec ou sans préfanage, ensilage mi-fané, foin) et le type de composition botanique (graminées, légumineuses, crucifères, sorgho et leurs proportions respectives dans le cas de mélange d'espèces).

5. Les recommandations pour les laboratoires pour le calcul de la valeur alimentaire

- Choix des équations suivant l'origine botanique de l'échantillon

A la réception au laboratoire d'un échantillon de fourrage, la recommandation est d'effectuer un examen visuel de l'échantillon pour i) soit confirmer que les renseignements de la demande d'analyses sont cohérents avec le pourcentage estimé visuellement de légumineuses ou de crucifères donné par le client, ii) soit, dans le cas où l'information n'a pas été renseignée, déterminer par expertise un pourcentage de légumineuses et de crucifères dans le mélange.

Cette étape est primordiale. Elle permet ensuite au laboratoire d'utiliser les équations adaptées. Le logiciel Prev@lim2007 (utilisable librement sur le site www.inration.fr) offre la possibilité de prévoir la valeur d'un mélange de graminées et de légumineuses à partir de la mesure de la digestibilité pepsine cellulase et du pourcentage des deux familles composant le mélange. La simulation du calcul de la valeur alimentaire avec des équations « INRA prairies permanentes », seulement « INRA graminées » ou « INRA légumineuses » montre que **l'impact du choix du type d'équation est d'environ 0,1 UFL/kg MS et 9 g/kg MS de PDIE quel que soit le mode de conservation d'un fourrage issu d'un mélange composé de 50% de ray-grass italien et 50 % de trèfle incarnat.** Le même constat a été rapporté dans une étude sur les ensilages de MCPI de l'INRA (Maxin, données non publiées).

Le choix du type d'équation en fonction de la nature de l'échantillon à analyser est repris dans le Tableau 2. Il n'existe pas d'équations INRA pour les calculs de la valeur alimentaire des crucifères. Lorsque le taux de crucifères est non négligeable et connu, il est proposé de prendre les équations INRA graminées, légumineuses et les valeurs du « chou fourrager » dans les *Tables INRA au prorata* des taux de présence des espèces dans le mélange (Tableau 2).

TABLEAU 2 – Catégories d'équations INRA à retenir pour prévoir les critères énergie brute (EB), digestibilité de la matière organique (dMO), digestibilité de l'énergie (dE), dégradabilité de la MAT (DT), digestibilité réelle des protéines dans l'intestin (dr), des fourrages issus d'intercultures, de mélanges céréales - protéagineux ensilés et de sorghos. *Italique : recommandations lorsqu'il n'existe pas d'équations spécifiques.*

| Echantillon de fourrage | EB | dMO* (à partir de la DCS) | dE | DT/dr |
|--|--|--|--|---|
| Prairie permanente (PP) | PP | gram. et PP | gram. et lég. | prairie perm. |
| Graminées | gram. | gram. et PP | gram. et lég. | gram. |
| Luzerne | luzerne | lég. | gram. et lég. | lég. |
| Trèfles violet | trèfle violet | lég. | gram. et lég. | lég. |
| Autres trèfles | <i>trèfle violet</i> | lég. | gram. et lég. | lég. |
| Légumineuses prairiales autre que trèfles et luzerne | <i>trèfle violet</i> | lég. | gram. et lég. | lég. |
| Choux | <i>Tables INRA</i> | <i>Tables INRA</i> | <i>Tables INRA</i> | <i>Tables INRA</i> |
| Mélanges graminées/légumineuses | % gram./ lég. | % gram./ lég. | gram. et lég. | % gram./ lég. |
| Mélange d'espèces comportant des crucifères | % gram./ lég. <i>/Tables INRA du chou</i> | % gram./ lég. <i>/Tables INRA du chou</i> | % gram./ lég. <i>/Tables INRA du chou</i> | % gram./ lég. <i>/Tables INRA du chou</i> |
| Céréales immature (sauf maïs) | céréales immatures | MAXIN <i>et al.</i> (2016) | gram. et lég. | Table INRA |
| Féverole immature | <i>Table INRA</i> | lég. | gram. et lég. | Table INRA |
| Pois immature | <i>Table INRA</i> | lég. | gram. et lég. | Table INRA |
| Choux | <i>Table INRA</i> | <i>Table INRA</i> | <i>Table INRA</i> | Table INRA |
| Mélange céréales-protéagineux immature | % céréales immatures/ <i>Table INRA</i> | MAXIN <i>et al.</i> (2016) | gram. et lég. | % à partir des Tables si espèce disponible, sinon % gram./ lég. |
| Sorgho multi-coupe (<i>Sudan grass</i> ou hybride <i>Sudan grass x Sorghum</i> <i>bicolor</i>) | sorgho | AUFRERE <i>et al.</i> (2013) | gram. et lég. | gram. |
| Sorgho monocoupe (<i>Sorghum bicolor</i>) | <i>sorgho</i> | AUFRERE <i>et al.</i> (2013) | gram. et lég. | gram. |

* % gram. / lég. : résultats issu de la pondération des équations de chacune des familles (graminées et légumineuses) en fonction du pourcentage de présence des familles dans le mélange

% gram. / lég. / Tables INRA du chou : résultats issu de la pondération des équations de chacune des familles (graminées et légumineuses) et des valeurs Tables INRA du chou fourrager (crucifères) en fonction du pourcentage de présence des familles botaniques dans le mélange (graminées, légumineuses, crucifères)

– Choix des équations suivant le type de prélèvement « en vert » ou conservé

Pour les échantillons prélevés « en vert », c'est-à-dire au moment de la fauche, la démarche de calcul de l'INRA consiste à prévoir la valeur du fourrage vert, puis à partir de celle-ci la valeur du fourrage conservé à partir des équations spécifiques permettant de passer du fourrage vert au fourrage conservé (BAUMONT *et al.*, 2007). Pour les échantillons prélevés sur le fourrage conservé après entreposage, il convient d'utiliser les équations permettant de prévoir directement la valeur du fourrage conservé. Le logiciel Prev@lim2007 (cf. ci-dessus) permet de conduire les deux modes de calculs et de visualiser les équations utilisées.

En revanche, pour les ensilages préfanés ou mi-fanés, les échantillons prélevés au moment de la mise en silo ou de la réalisation des balles après un séchage partiel sont plus difficiles à valoriser. En

effet, il n'existe pas d'équation INRA permettant de prévoir la valeur alimentaire du fourrage fermenté à partir d'un prélèvement partiellement fané. Il est donc recommandé de réaliser les échantillons soit le jour de la coupe (prévision à partir d'échantillons représentant le fourrage vert sur pied), soit sur le fourrage conservé à l'ouverture du silo ou des balles (prévision à partir d'échantillons représentant le fourrage conservé). **Si pour des raisons pratiques, les échantillons ne peuvent être réalisés qu'après préfanage ou mi-fanage et au moment de la mise en silo ou en balles, il est conseillé de les considérer comme des échantillons réalisés sur le fourrage conservé.** Toutefois la qualité de la prévision de la valeur alimentaire par les équations INRA ne peut pas être garantie dans ces conditions. Dans ces cas, une analyse du fourrage après conservation est fortement recommandée notamment lorsque le fourrage a présenté des pertes au silo par jus, très riches en éléments nutritifs.

Conclusion

L'analyse de la composition chimique au laboratoire apporte une information nécessaire au calcul de la valeur alimentaire. Sur le terrain, l'identification précise des prélèvements par les clients est très souvent largement incomplète. Le calcul, par les laboratoires, de la valeur alimentaire des fourrages concernés est alors très compliqué et peut donner lieu à des résultats très contrastés suivant les types d'équations de calculs retenus par les laboratoires. Le client de l'analyse doit nécessairement fournir des informations relatives au type d'espèces fourragères et à leurs proportions respectives dans le mélange, le mode de conservation envisagé du fourrage et le numéro de coupe.

Pour les laboratoires, dans le cas des mélanges d'espèces, **l'étape de mesure, ou à défaut d'expertise, du pourcentage de présence de chacune des familles botaniques est une étape indispensable qui permet d'utiliser les équations INRA** en les pondérant par le taux de présence des espèces. Les autres choix à réaliser pour des espèces peu communes ont été repris dans ce texte. Il est aussi proposé des règles de décision dans le choix des équations pour prévoir la composition chimique d'un fourrage conservé à partir d'un prélèvement réalisé sur un fourrage plus ou moins préfané et sur foin. **Ces propositions seront à valider par la mise en place d'expérimentations *in vivo* afin d'aboutir à un référentiel complet d'équation de prévisions de la valeur alimentaire des fourrages encore peu étudiés.**

Références bibliographiques

- ANDUEZA D., PICARD F., JESTIN M., ANDRIEU J., BAUMONT R. (2011). NIRS prediction of the feed value of temperate forages: efficacy of four calibration strategies. *Animal*, 5, 1002-1013.
- ANDUEZA D., PICARD F., MARTIN-ROSSET W., AUFRÈRE J. (2016). Near-infrared spectroscopy calibrations performed on oven-dried green forages for the prediction of chemical composition and nutritive value of preserved forage for ruminants. *Applied spectroscopy*, 70, p1321-1327.
- AUFRÈRE J., BAUMONT R., DELABY L., PECCATTE J.-R., ANDRIEU J., ANDRIEU J.-P., DULPHY J.-P. (2007). Prévision de la digestibilité des fourrages par la méthode pepsine-cellulase. Le point sur les équations proposées, *INRA Prod. Anim.*, 20 (2), 129-136
- AUFRÈRE J., EMILE J.C., DOZIAS D., DELABY L., LE MORVAN A., BARRE P., BAUMONT R. (2013). Variation et prévision de la valeur énergétique de l'ensilage de sorgho plante entière, *Renc. Rech. Rum.* 20, p 105
- BAUMONT R., DULPHY J.P., SAUVANT D., MESCHY F., AUFRÈRE J., PEYRAUD J.L. (2007) : "chapitre 8. valeur alimentaire des fourrages et des matières premières : tables et prévision", alimentation des bovins, ovins et caprins, *Tables INRA 2007*, éd. Quae, pp. 149-179.
- BAUMONT R., SAUVANT D., MAXIN G., CHAPOUTOT P., TRAN G., BOUDON A., LEMOSQUET S., NOZIERE P. (2018). Calculation of feed values in INRA system: feed tables and prediction equations. In: *INRA feeding system for ruminants*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, p. 411-440.
- DE BOEVER J.L., COTTYN B.G., ANDRIES J.I., BUYSSE F.X., VANACKER J.M. (1988). The use of pepsin cellulase technique to predict digestibility metabolizable and net energy of forages. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 19, 247-260.
- DE BRABANDER D.L., FIEMS L.O., BOUCQUE C.V. (1993). DVE, le nouveau système d'évaluation des protéines pour le bétail bovins en Belgique. Brochure Ministère de l'Agriculture, 60p
- DECRUYENAERE V., AGNEESSENS R., TOUSSAINT B., ANCEAU C., GOFFAUX M.J., OGER R. (2006) : "Qualité du fourrage en Région Wallonne", *ASBL Requasud*, 32p.

- DEMARQUILLY, (1981). Stratégie d'utilisation de l'analyse des fourrages, in : Préviation de la valeur nutritive des aliments des ruminants, INRA publ., p213-216
- EMILE J.C., COUTARD J.P., FOREL E., STEPHANY D. (2016). Développer les associations annuelles céréales – protéagineux dans les systèmes fourragers, *Fourrages*, 226 p.14-151
- LEDUC R., FOURNIER A. (1998). «L'ensilage : du champ à l'animal», Colloque sur les plantes fourragères 1998, CRAAQ ISBN 2-89457-168-2, p111-166.
- MAXIN G., DOZIAS D., ANDUEZA D., EMILE J.C., LE MORVAN A., DELABY L. (2016). Prediction of the in vivo organic matter digestibility of cereal-legume intercrops silages. *Proc. 26th EGF general meeting*, Trondheim, Norway.
- MINET O., FERFER F., JACOB L., LECLER B., AGNEESSENS R., CUGNON T., DECRUYENAERE V., GENOT V., GOFFLOT S., PITCHUGINA E., PLANCHON V., RENNESON M., SINNAEVE G., WAWREILLE B., DARDENNE P., BAETEN V. (2016) : " La spectrométrie proche infrarouge, une technologie rapide, précise et écologique pour déterminer la composition et la qualité des produits agricoles et alimentaires ", *ASBL Requasud*, 32 p.

Affiches scientifiques