

# Méthodes

## Connaître la valeur alimentaire de ses fourrages

### 2. La bonne analyse pour caractériser son fourrage

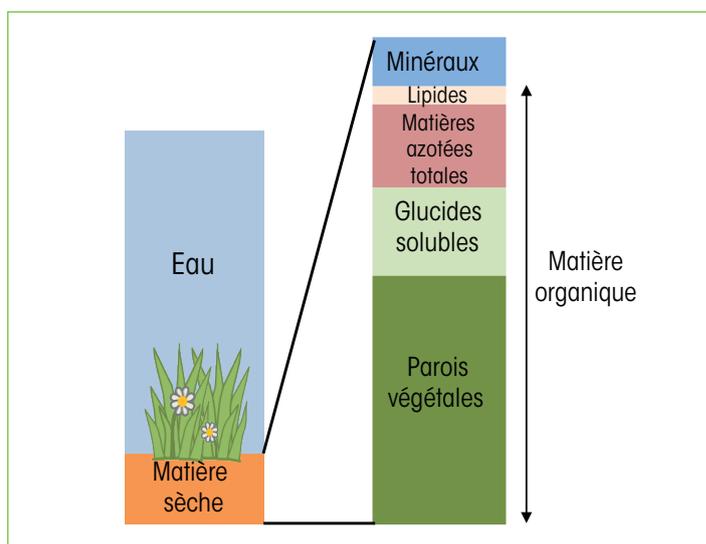
L'analyse de la composition chimique d'un fourrage permet de prévoir sa valeur alimentaire et ainsi d'ajuster la ration distribuée aux animaux. A partir de la composition chimique du fourrage, des équations de prévision (INRA, 2018), permettent de calculer des critères intermédiaires tels que la digestibilité de la matière organique ou la dégradabilité de l'azote. Ces critères sont ensuite utilisés pour le calcul de la valeur alimentaire du fourrage (les valeurs UE, UF et PDI).

La composition chimique d'un fourrage permet également de calculer les quantités de fourrage à distribuer, d'ajuster la complémentation en concentrés et/ou minérale ou d'évaluer la qualité de conservation des ensilages (voir tableau annexe 1).

#### 1 Composition chimique des fourrages

Les fourrages sont composés d'eau et de matière sèche. La teneur en eau varie d'environ 10 % (foin) à 90 % (fourrage vert). La matière sèche comprend d'une part la matière organique composée des constituants pariétaux, des glucides intracellulaires (amidon et sucres solubles), des lipides, et des matières azotées totales ; et d'autre part de la matière minérale (macroéléments et oligo-éléments).

Graphique 1 : Composition d'un fourrage vert



#### 2 Les principales méthodes biochimiques d'analyse de la composition chimique d'un fourrage

Les méthodes des principales analyses à réaliser sur un échantillon de fourrage sont présentées dans ce document. Pour chacune de ces analyses, il existe une méthode de référence décrite par l'AFNOR et par le règlement européen sur l'analyse des aliments pour les animaux (CE 152/2009). Cependant, d'autres méthodes peuvent être utilisées par les laboratoires. Les paramètres analysés sont généralement rapportés sur une base sèche et exprimés en gramme par kilogramme de matière sèche (g/kg MS) ou en pourcentage (% sec). Ceci permet de comparer les fourrages entre eux sur une base commune car l'eau n'apporte pas de nutriments.

### • Matière sèche (MS)

Différentes méthodes de séchage sont pratiquées dans les laboratoires :

- Si l'échantillon n'est pas utilisé pour les analyses de la composition chimique, mais juste destiné à connaître la teneur en matière sèche du fourrage, il est séché à 103°C pendant 24h.
  - Lorsque l'échantillon est destiné à diverses analyses de la composition chimique, les fourrages sont séchés à 60°C pendant 72h. Cette température modérée permet d'éviter les réactions de Maillard qui perturbent le dosage des protéines et des constituants pariétaux.
  - En parallèle de l'échantillon séché à 60°C pour les analyses, les ensilages doivent être séchés à 80°C pendant 48h afin de pouvoir appliquer le facteur de correction pour tenir compte des pertes à l'étuve des produits volatils.
- Après séchage, les échantillons sont généralement broyés sur une grille de 1 mm pour les analyses.

### • Matière Minérale (MM), Matière Organique (MO)

La teneur en matière minérale est obtenue après incinération complète de l'échantillon de fourrage à 550°C. Cette détermination permet de calculer par différence la teneur en matière organique du fourrage :

$$\text{Matière Organique (MO en g/kg MS)} = 1000 - \text{Matière Minérale (MM en g/kg MS)}$$

### • Matières Azotées Totales (MAT) ou Protéines Brutes (PB)

Pour cette détermination, c'est la teneur en azote qui est mesurée. La teneur en matières azotées totales (ou protéines brutes) est ensuite obtenue en multipliant cette teneur en azote par 6,25 (en considérant 16 % d'azote dans les protéines des fourrages).

Deux méthodes sont utilisées pour déterminer la teneur en azote des fourrages :

- la méthode Kjeldahl (méthode par minéralisation) qui mesure l'azote organique et l'ammoniac,
- la méthode Dumas (par combustion) qui permet de déterminer l'azote total, y compris les fractions inorganiques comme les nitrites et les nitrates.

Pour les fourrages, les résultats obtenus par ces deux méthodes sont proches et des équations de passage existent.

### • Les constituants pariétaux

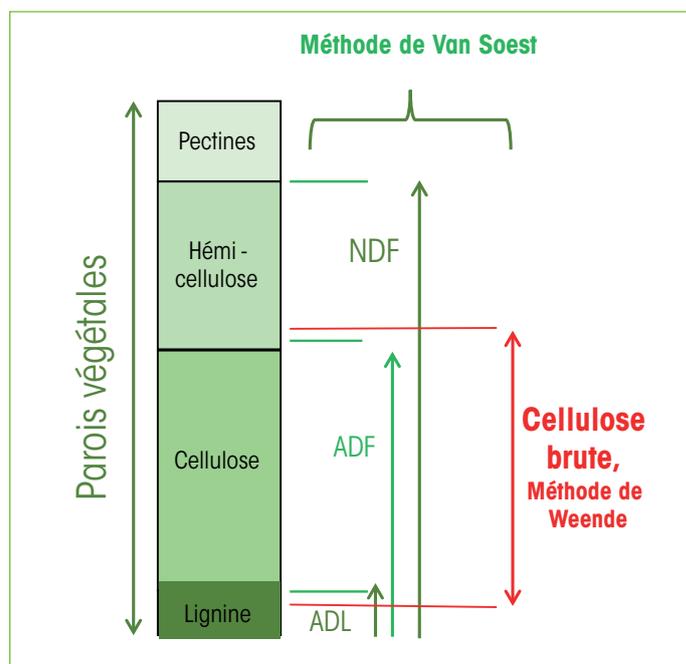
Deux méthodes d'analyse des constituants pariétaux sont proposées par les laboratoires :

- l'analyse de la cellulose brute (CB, méthode de Weende),
- l'analyse des différentes fractions des parois végétales (NDF, ADF et ADL, méthode séquentielle de [Van Soest](#)).

Pour la méthode de Van Soest, les échantillons doivent être séchés à 60°C car un séchage à une température supérieure

entraîne des réactions de Maillard qui modifient le résultat du dosage. Avec cette méthode, des prétraitements avec des sulfites ou de l'alpha-amylase sont normalement utilisés pour les échantillons riches en tanins (par exemple, le lotier ou le sainfoin) et en amidon (par exemple, les ensilages de maïs). Sans les prétraitements, le résultat du dosage est erroné.

Graphique 2 : Méthode séquentielle de Van Soest



### • Amidon

Deux méthodes sont proposées par les laboratoires pour déterminer la teneur en amidon des fourrages :

- la méthode enzymatique,
  - la méthode polarimétrique (ou méthode d'Ewers).
- Attention, la méthode d'Ewers peut donner des valeurs non nulles même quand l'amidon est absent ou présent en très faibles quantités car elle dose certains sucres.

### • La digestibilité enzymatique pepsine-cellulase

La digestibilité pepsine-cellulase (DCS et DCO, dite méthode Aufrère) permet de prévoir la digestibilité de la matière organique des fourrages pour les ruminants (équations de prévision, INRA, 2018). Cette méthode utilise des enzymes cellulolytiques qui simulent la digestion des aliments dans le rumen. Il est fortement recommandé de mesurer la digestibilité pepsine-cellulase car elle permet une estimation plus précise de la digestibilité de la matière organique.

### • Les minéraux

Les minéraux sont déterminés par spectrométrie de masse à plasma induit couplée (ICP) ou par spectrométrie d'absorption atomique (AAS). Les laboratoires proposent différents menus d'analyse pour les minéraux : analyse individuelle, profil complet ou des packages comme par exemple calcium + phosphore + magnésium.

### • L'analyse fermentaire des ensilages

L'analyse fermentaire des ensilages permet de juger de leur qualité de conservation. Elle permet également de calculer le facteur de correction à appliquer à la teneur en matière sèche et à la composition pour tenir compte des pertes de produits volatils lors du séchage à l'étuve. Les mesures incluses dans cette analyse sont :

- Mesure du pH.
- Les teneurs en acides gras volatils (principalement acide acétique, acide propionique et acide butyrique) et la teneur en alcools sont déterminées par chromatographie en phase gazeuse dans les jus d'ensilage, puis rapportées à la matière sèche.

- La teneur en acide lactique déterminée par une méthode enzymatique dans les jus d'ensilage, puis rapportée à la matière sèche.
- La teneur en azote ammoniacal déterminée par micro-diffusion (méthode de Conway).
- La teneur en azote soluble. Il s'agit de la teneur en azote mesurée dans les jus d'ensilage.

Les produits de fermentation (acides gras volatils, alcools et acide lactique) interviennent également dans le calcul de la valeur protéique (PDI) de l'ensilage.

## 3 Méthodes biochimiques ou spectrométrie dans le proche infra-rouge ?

Les laboratoires proposent deux méthodes pour déterminer la composition des fourrages : les méthodes d'analyses biochimiques décrites précédemment ou la méthode d'évaluation par spectrométrie dans le proche-infrarouge (SPIR). Cette méthode permet, à partir de modèles mathématiques pré-établis (étalonnage) de prévoir la composition chimique. Afin

d'obtenir des modèles prédictifs fiables, il est nécessaire de disposer d'une base de données représentative du fourrage à analyser. Cette base de données est constituée de nombreux spectres correspondant à des échantillons dont la composition a été déterminée par les méthodes biochimiques de référence.

### Qu'est-ce que la spectrométrie dans le proche infrarouge ?

La spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR ou NIRS en anglais) est une technique d'analyse dont le principe repose sur l'interaction entre l'absorption de la lumière par l'échantillon et les liaisons chimiques des molécules organiques de l'échantillon selon sa composition. Le segment proche infrarouge couvre une plage de longueur d'onde allant de 700 à 2500 nm. L'absorption de la lumière par la matière organique de l'échantillon dépend des teneurs en protéines, des lipides, des glucides (sucres, amidon), de l'eau et de tout autre constituant. La composition chimique peut donc être estimée par une mesure de l'absorption de lumière infrarouge réalisée par un spectromètre.

Les méthodes biochimiques et la spectrométrie dans le proche infra-rouge sont des méthodes fiables pour déterminer la composition chimique des fourrages. Elles présentent chacune des avantages et des inconvénients qu'il faut connaître.

Tableau 1 : Méthodes biochimiques et SPIR - avantages et inconvénients

|               | Spectrométrie dans le proche infra-rouge  | Méthodes Biochimiques  |
|---------------|---|--|
| Avantages     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Rapide et précise.</b> La fiabilité d'une détermination obtenue par SPIR est essentiellement liée à la qualité du modèle d'étalonnage utilisé.</li> <li>• Détermination simultanée de plusieurs constituants</li> <li>• <b>Non destructive</b>, l'échantillon est récupéré intact après analyse.</li> <li>• <b>Moins coûteuse</b></li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Méthode de référence</b></li> <li>• <b>Méthode directe</b> : les valeurs obtenues sont mesurées</li> <li>• Les erreurs sont faciles à contrôler</li> <li>• Elle permet de doser les substances présentes en faible quantité</li> </ul> |
| Inconvénients | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Méthode indirecte</b> : les valeurs sont prédites à partir de modèles d'étalonnage</li> <li>• <b>Peu robuste</b> pour la prévision de la valeur nutritive des fourrages si l'échantillon n'est pas représenté dans la base de données<br/>=&gt; il est nécessaire de mettre à jour les modèles d'étalonnage régulièrement</li> <li>• Il faut être prudent sur l'estimation des matières minérales, car la SPIR est basée sur l'absorption du rayonnement par les molécules organiques.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Coûts plus élevés</b></li> <li>• <b>Temps d'analyse plus long</b></li> </ul>   |

## ► Appareil SPIR de laboratoire et Appareil SPIR portable

Les laboratoires analysent généralement des échantillons séchés et broyés avec des spectromètres de laboratoire placés dans un environnement contrôlé. Ceci permet d'augmenter la précision de l'estimation car la présence d'eau en quantité importante peut induire des interférences dans les mesures spectrales et l'hétérogénéité de l'échantillon joue sur la précision du modèle d'étalonnage. La température extérieure et la luminosité affectent également les mesures spectrales.

Depuis quelques années, des spectromètres portatifs sont utilisés sur le terrain sur des échantillons frais et non-broyés pour une approximation de la composition biochimique. Ces appareils sont très pratiques pour obtenir une estimation rapide de la composition des fourrages directement dans les élevages. Cependant, la précision des estimations obtenues avec ces appareils est faible due à l'hétérogénéité des échantillons, à la gamme spectrale, en général plus étroite que celle des appareils de laboratoire et à la plus faible précision de la mesure des absorbances.



| Paramètres à analyser           | Objectifs                                     |  |   |  |
|---------------------------------|---|--|---|--|
|                                 | Calcul des quantités de fourrage à distribuer | Ajustement de la ration via le calcul de la valeur alimentaire | Ajustement de la complémentération minérale | Evaluation de la qualité de conservation |
| Matière sèche                   | ×   | ×  | ×   | ×  |
| Matière minérale                |   | ×  |   |  |
| Azote                           |   | ×  |   |  |
| Constituants pariétaux          |   | ×  |   |  |
| Amidon                          |   | x <sup>1</sup>   |   |  |
| Minéraux                        |   | ×  | ×   |  |
| Digestibilité pepsine-cellulase |   | x <sup>2</sup>   |   |  |
| pH                              |   | x <sup>3</sup>   |   | ×  |
| Azote ammoniacal                |   | x <sup>3</sup>   |   | ×  |
| Azote soluble                   |   |  |   | ×  |
| Acide lactique                  |   | x <sup>3</sup>   |   | ×  |
| Acides gras volatils totaux     |   | x <sup>3</sup>   |   |  |
| Profil en acides gras volatils  |   |  |   | ×  |
| Alcool                          |   | x <sup>3</sup>   |   | ×  |

<sup>1</sup>Il est recommandé de déterminer la teneur en amidon pour les ensilages de maïs, de céréales plantes entières, des sorghos et des méteils.

<sup>2</sup>La digestibilité pepsine-cellulase permet de prévoir la digestibilité de la matière organique des fourrages. La digestibilité de la matière organique peut également être prédite à partir des teneurs en constituants pariétaux. Cependant, il est fortement recommandé de mesurer la digestibilité pepsine-cellulase car elle permet une estimation plus précise de la digestibilité de la MO.

<sup>3</sup>Pour les ensilages, ces paramètres permettent de calculer le facteur de correction de la teneur en matière sèche pour tenir compte des pertes de produits volatils lors du séchage à l'étuve.

Document édité par l'Institut de l'Élevage

149 rue de Bercy - 75595 PARIS cedex 12

Mai 2019 - Réf. idele : 0019 303 004

Travail réalisé dans le cadre du RMT Prairies Demain (axe 1) par : Gaëlle Maxin (INRA).

Avec la contribution de : Donato Andueza (INRA), Aloïse Celerier (CA 86), Mickaël Coquard (FIDOCL), Bertrand Daveau (Ferme expérimentale de Thorigné-d'Anjou), Luc Delaby (INRA), Véronique Gilles (CA 71), Olivier Leray (Littoral Normand), Benoît Possémé (CRAB), Margaux Reboul-Salze (CA 70), Stéphane Violleau (CA 63).

Mise en page : Corinne Maigret - Institut de l'Élevage

Crédit photos : Fabienne Picard (INRA UMRH)

Document réalisé avec la participation financière du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation

