



HAL
open science

Connaître la valeur alimentaire de ses fourrages 3. Le calcul de la valeur alimentaire de son fourrage

Gaëlle Maxin, Donato Andueza, Aloïse Celerier, Mickaël Coquard, Bertrand Daveau, Luc Delaby, Véronique Gilles, Olivier Leray, Benoît Possémé, Margaux Reboul-Salze, et al.

► To cite this version:

Gaëlle Maxin, Donato Andueza, Aloïse Celerier, Mickaël Coquard, Bertrand Daveau, et al.. Connaître la valeur alimentaire de ses fourrages 3. Le calcul de la valeur alimentaire de son fourrage. 2019. hal-03163110

HAL Id: hal-03163110

<https://hal.inrae.fr/hal-03163110v1>

Submitted on 9 Mar 2021

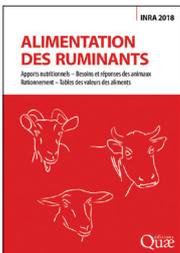
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Méthodes

Connaître la valeur alimentaire de ses fourrages

3. Le calcul de la valeur alimentaire de son fourrage



Cette fiche définit les critères caractérisant la valeur alimentaire des fourrages. Puis elle décrit les principes généraux pour calculer la valeur alimentaire des **fourrages verts ou conservés à base d'herbe** (prairies, graminées, légumineuses) selon le système d'unités d'alimentation INRA (2018).

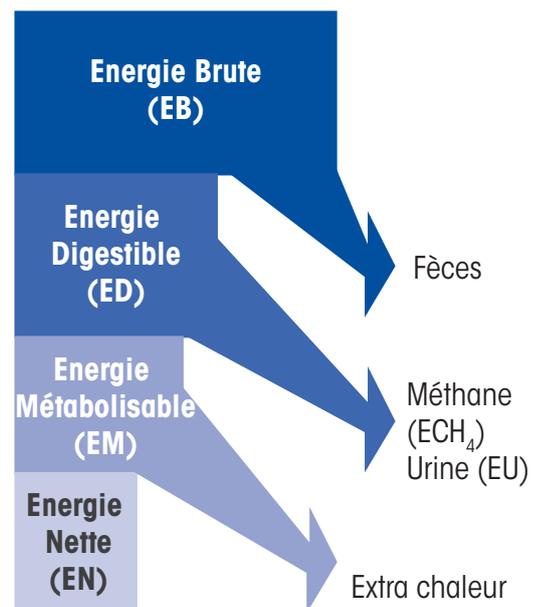
1 Valeur alimentaire des fourrages : définition, unités et mesure

La valeur alimentaire d'un fourrage est définie par trois critères essentiels : la valeur énergétique, la valeur protéique et la valeur d'encombrement.



La **valeur énergétique** correspond à la teneur en énergie nette du fourrage. Elle est exprimée dans le système INRA en **unité fourragère (UF)** basée sur la valeur de l'orge de référence (1 kg d'orge = 1760 kcal d'énergie nette = 1 UF).

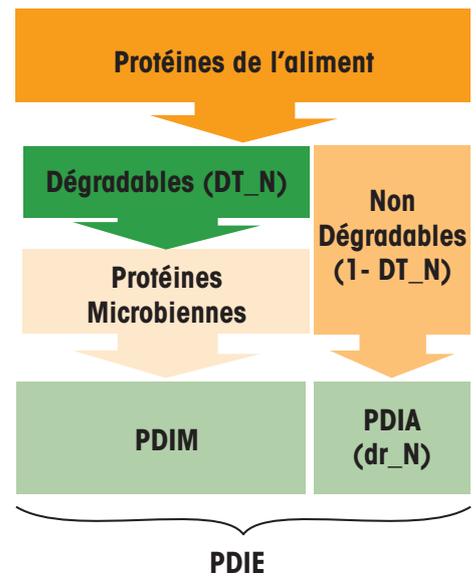
L'énergie nette correspond à la quantité d'énergie qui sera utilisée pour l'entretien et les productions de l'animal. Elle est obtenue à partir de l'énergie brute (EB) du fourrage en retranchant différentes pertes d'énergie via les fèces, l'urine (EU), le méthane produit lors des fermentations entériques (ECH₄) et la chaleur associée au métabolisme des nutriments absorbés. L'UFL est l'unité d'énergie nette pour la lactation. L'UFV est l'unité d'énergie nette pour la production de viande.





La valeur protéique correspond dans le système INRA à la teneur en **protéines digestibles dans l'intestin (PDI)**. Ce choix permet d'intégrer les remaniements importants des protéines dans le rumen.

La valeur PDI est la somme de deux fractions : les protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne (PDIM) et les protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire (PDIA, non-dégradées dans le rumen). La balance protéique du rumen (**BPR**) est un nouveau critère introduit dans le système INRA 2018. Il permet de rendre compte de l'alimentation en azote des microbes du rumen. Cet indicateur reflète la différence entre la synthèse protéique microbienne permise par les protéines dégradées dans le rumen et celle permise par l'énergie issue de la matière organique fermentescible (MOF) dans le rumen.



L'ingestibilité d'un fourrage correspond à la capacité de ce fourrage à être ingéré en plus ou moins grande quantité lorsqu'il est distribué à volonté. La valeur d'encombrement d'un fourrage est l'inverse de son ingestibilité. Plus un fourrage est encombrant, moins il est ingestible et plus sa valeur d'encombrement est élevée.

La valeur d'encombrement est exprimée en unité d'encombrement (UE). Comme le niveau d'ingestion d'un fourrage varie fortement avec le type et le format de l'animal, trois unités d'encombrement sont définies dans le système INRA pour les trois types d'animaux de référence : l'unité d'encombrement mouton (**UEM**), l'unité d'encombrement bovin (**UEB**) et l'unité d'encombrement vache laitière (**UEL**).

Pour déterminer la valeur alimentaire d'un fourrage, il est nécessaire de mesurer in vivo la digestibilité de la matière organique (dMO), l'ingestibilité (ou matière sèche volontairement ingérée, MSVI) et la dégradabilité de certains composants de ce fourrage dans le rumen (par exemple, la dégradabilité de l'azote ou DT_N). Des méthodes de référence standardisées ont été définies afin d'évaluer ces divers paramètres.

La mesure de la dMO des fourrages est réalisée avec des moutons mâles castrés recevant le fourrage seul à volonté. Ceci permet de **mesurer simultanément l'ingestibilité du fourrage**. **La DT_N des fourrages** est mesurée par la technique basée sur la mise en place de sachets en nylon poreux contenant l'aliment étudié dans le rumen de vaches tarées recevant une ration de référence. Les détails des méthodes de référence utilisées pour le système d'alimentation INRA sont décrites dans l'ouvrage Alimentation des ruminants (INRA, 2018). Elles peuvent varier selon les pays et les systèmes d'alimentation associés.

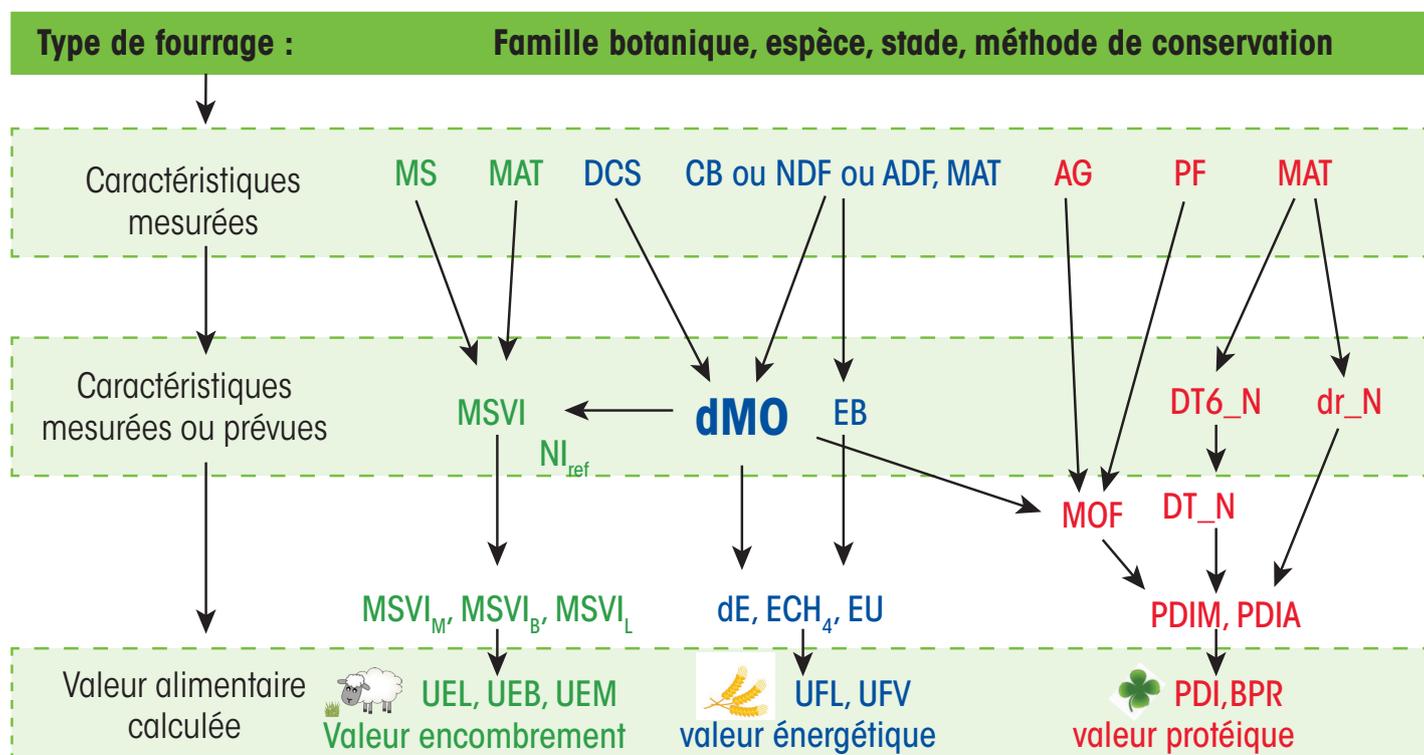
Ces méthodes permettent d'établir des valeurs de référence qui caractérisent les fourrages. Ces valeurs de référence sont regroupées dans les Tables INRA de la valeur des aliments et sont utilisées pour développer les équations de prévision de leur valeur alimentaire.

2 Principe du calcul de la valeur alimentaire

Le nouveau système INRA 2018 intègre les effets du niveau d'ingestion (NI), de BPR et de la proportion de concentré dans les calculs de la valeur des rations. **Pour le calcul de la valeur alimentaire d'un fourrage à partir d'une analyse de laboratoire, la valeur de BPR et la proportion de concentré (PCO) sont fixées à zéro. Le NI utilisé (appelé NI de référence, NI_{ref} et exprimé pour 100 kg de poids vif) correspond aux conditions de mesure de la digestibilité et l'ingestibilité chez le mouton. Il est également utilisé pour le calcul de la DT_N. Le NI_{ref} est spécifique de chaque fourrage.**

Les valeurs alimentaires calculées sont utiles pour comparer les fourrages, mais la valeur des fourrages va varier avec les valeurs de NI, BPR et PCO des rations dans lesquelles ils sont incorporés.

Le schéma ci-dessous résume la démarche de calcul de la valeur alimentaire des fourrages à base d'herbe à partir d'une analyse de laboratoire.



Démarche de calcul de la valeur alimentaire des fourrages à base d'herbe (adapté de INRA, 2018)

Différentes équations ont été établies par famille botanique (prairies, graminées, légumineuses), mode de conservation (vert, ensilage direct, préfané, foin...) et cycle de végétation. Elles permettent de prévoir les trois critères de la valeur alimentaire. **C'est pourquoi il est important de bien identifier les caractéristiques du fourrage afin que le laboratoire qui réalise l'analyse choisisse les équations appropriées pour prédire sa valeur.**



La prévision de la valeur alimentaire des fourrages conservés (ensilage, foin) peut être réalisée :

- à partir de la composition chimique du fourrage vert à la récolte,
- ou à partir de la composition chimique du fourrage conservé.

Afin de pouvoir anticiper la valeur alimentaire du fourrage conservé, des équations permettent d'estimer sa composition chimique à partir de sa composition en vert.

La prévision de la valeur alimentaire repose sur l'estimation de la dMO, c'est donc une caractéristique essentielle pour déterminer la valeur alimentaire des fourrages. Des équations permettent d'estimer la dMO à partir de la digestibilité pepsine-cellulase (**DCS**) ou de la composition chimique du fourrage. La prévision à partir de la DCS est recommandée car elle permet une estimation plus précise de la dMO.



Les valeurs UF sont calculées de façon séquentielle à partir de l'énergie brute. L'énergie brute des fourrages peut être mesurée ou est estimée à partir de leur teneur en MO et MAT.



Les valeurs d'encombrement qui dépendent de la MSVI sont calculées à partir de la dMO, de la teneur en MAT et du pourcentage de MS du fourrage.



Les PDI correspondent à la somme des PDIA et PDIM. La prévision des PDIA nécessite de calculer deux paramètres intermédiaires la dégradabilité de l'azote (DT_N) dans le rumen et la digestibilité intestinale des protéines non dégradées dans le rumen (dr). Ces deux paramètres sont estimés à partir de la teneur en MAT du fourrage.

Pour le calcul des PDIM, la matière organique fermentescible (MOF) est nécessaire, elle est calculée par différence entre la quantité totale de MO digestible (MOD) et les fractions digérées dans l'intestin (PDIA, NDF et acides gras) et les produits de fermentation (PF) pour les ensilages.

3 Exemple de calcul de la valeur alimentaire

L'exemple dans cette fiche décrit les calculs pour une prairie permanente de demi-montagne récoltée au 1^{er} cycle. La composition chimique mesurée est :

- MS% = 16,5 %,
- Matière minérale (MM) = 85 g/kg MS,
- MAT = 150 g/kg MS,
- CB = 265 g/kg MS,
- Digestibilité Pepsine-cellulase (DCS) = 69,0 %



Prévision de la digestibilité de la matière organique



$$\begin{aligned} \text{dMO} &= 29,7 + 0,63 \times \text{DCS} \\ \text{MOD} &= \text{MO} \times \text{dMO} \times 0,01 \\ \text{Avec MO} &= 1000 - \text{MM} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dMO} &= 73,2 \% \\ \text{MOD} &= 670 \text{ g/kg MS} \end{aligned}$$

Prévision de la valeur d'encombrement et du niveau d'ingestion de référence



$$\begin{aligned} \text{MSVI}_M &= -16 + 0,806 \times \text{dMO} + 0,115 \times \text{MAT} + 0,686 \times \text{MS\%} = 71,5 \text{ g MS/kg PV}^{0,75} \\ \text{MSVI}_B &= 6,44 + 0,782 \times \text{dMO} + 0,112 \times \text{MAT} + 0,679 \times \text{MS\%} = 91,7 \text{ g MS/kg PV}^{0,75} \\ \text{MSVI}_L &= 66,3 + 0,655 \times \text{dMO} + 0,098 \times \text{MAT} + 0,626 \times \text{MS\%} = 139,3 \text{ g MS/kg PV}^{0,75} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{UEM} &= 75/\text{MSVIM} = 1,05 \text{ UE/kg MS} \\ \text{UEB} &= 95/\text{MSVIB} = 1,04 \text{ UE/kg MS} \\ \text{UEL} &= 140/\text{MSVIL} = 1,01 \text{ UE/kg MS} \end{aligned}$$



$$\text{NI}_{\text{ref}} = (\text{MSVIM} \times \text{PV}^{0,75}/\text{PV}) / 10 \text{ avec PV} = 60 \text{ kg}$$

$$\text{NI}_{\text{ref}} = 2,57 \% \text{ du PV}$$

Prévision de la valeur énergétique



$$EB = (4531 + 1,735 \times MAT \text{ (g/kg MO)} + \Delta) \times MO/1000 = 4\,396 \text{ kcal/kg MS}$$

avec $\Delta = -11$ pour les prairies permanentes de montagne

$$dE = -0,068 + 0,957 \times dMO = 70,0 \%$$

$$ED = EB \times dE \times 0,01 = 3\,075 \text{ kcal/kg MS}$$

$$ECH_4 = CH_4/MOD \times 0,001 \times MOD \times 12,5 = 278 \text{ kcal/kg MS}$$

avec $CH_4/MOD = 45,42 - 6,66 \times NI_{ref} + 0,75 \times NI_{ref}^2$

$$EU = EU\%EB \times EB \times 0,01 = 186 \text{ kcal/kg MS}$$

avec $EU\%EB = 2,9 + 0,017 \times MAT - 0,47 \times NI_{ref}$

$$EM = ED - ECH_4 - EU = 2\,611 \text{ kcal/kg MS}$$

$$ENL = EM \times kls = 1\,674 \text{ kcal/kg MS}$$

avec $kls = 0,65 + 0,247 \times (EM/EB - 0,63)$

$$ENV = EM \times kmf = 1\,601 \text{ kcal/kg MS}$$

avec $kmf = (km \times kf \times 1,5) / (kf + 0,5 \times km)$

avec $km = 0,287 \times (EM/EB) + 0,554$ et $kf = 0,78 \times (EM/EB) + 0,006$



$$UFL = ENL/1760 = 0,95 \text{ UF/kg MS}$$

$$UFV = ENV/1760 = 0,91 \text{ UF/kg MS}$$

Prévision de la valeur protéique



$$DT_N = 27,6 + 0,76 \times DT6_N - 0,000468 \times DT6_N^2 - 5,45 \times NI_{ref} + 0,0312 \times DT6_N \times NI_{ref} = 72,3 \%$$

Avec $DT6_N = 51,2 + 0,14 \times MAT - 0,00017 \times MAT^2 + \Delta_{vert}$

Avec $\Delta_{vert} = 4,4$ pour une prairie permanente 1^{er} cycle

$$dr_N = 100 \times [(1 - 0,01 \times DT_N) \times MAT - PANDI_{lg}] / [(1 - 0,01 \times DT_N) \times MAT] = 84,9 \%$$

Avec $PANDI_{lg} = 7,9 + 0,08 \times MAT - 0,00033 \times MAT^2 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3$

Avec $\Delta_1 = -1,9$ pour le 1^{er} cycle de végétation,

$\Delta_2 = -2,3$ pour les prairies permanentes,

et $\Delta_3 = -2,0$ pour les fourrages verts



$$PDIA = 35,3 \text{ g/kg MS}$$

$$PDIA = MAT \times (1 - 0,01 \times DT_N) \times dr_N \times 0,01$$

$$MOF = MOD - PDIA - AGD_{int} - NDFD_{int} = 591 \text{ g/kg MS}$$

Avec $NDFD_{int} = 11,4 + 0,08 \times NDFND$ et $NDFND = 785 - 8,62 \times dMO$

Avec $AGD_{int} = 6 + 0,599 \times (9,7 + 0,75 \times AG)$ et $AG = 1,78 + 0,105 \times MAT$

$$PDIM = (41,67 + 71,9 \times 0,001 \times MOF) \times 0,8 \times 0,8$$

$$PDI = PDIA + PDIM$$



$$PDI = 89 \text{ g/kg MS}$$

$$BPR = [(MAT \times 0,01 \times DT_N)] - (41,67 + 71,9 \times 0,001 \times MOF) - 14,2$$



$$BPR = 10,1 \text{ g/kg MS}$$

► Glossaire

AG (g/kg MS) : acides gras totaux du fourrage

AGD_int (g/kg MS) : acides gras digestibles dans l'intestin

CB : cellulose brute

dE (%) : digestibilité apparente de l'énergie

dr_N (%) : digestibilité réelle de l'azote

DT6_N (%) : dégradabilité théorique dans le rumen de l'azote calculée avec un taux de passage des particules de 6 %/h. La **DT6_N** est mesurée par la méthode des sachets nylon ou prévue à partir de la MAT

DT_N (%) : dégradabilité théorique de l'azote dans le rumen de l'azote

EB (kcal/kg MS) : énergie brute. Elle correspond à la quantité d'énergie produite au cours de la combustion complète du fourrage

ECH₄ (kcal/kg MS) : énergie perdue sous forme de méthane

ED (kcal/kg MS) : énergie digestible

EM (kcal/kg MS) : énergie métabolisable

ENL (kcal/kg MS) : énergie nette pour la lactation

ENV (kcal/kg MS) : énergie nette pour la production de viande

EU (kcal/kg MS) : énergie perdue dans les urines

kf : coefficient d'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable en énergie nette pour l'engraissement

kls : coefficient d'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable en énergie nette pour la production de lait et l'entretien des femelles laitières

km : coefficient d'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable en énergie nette pour l'entretien des animaux en croissance et à l'engraissement

kmf : coefficient d'efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable en énergie nette pour l'entretien et le gain des animaux à croissance rapide

MAT : matière azotée totale

MOD (g/kg MS) : matière organique digestible

MOF (g/kg MS) : matière organique fermentescible dans le rumen

MSVI (g MS/kg PV^{0.75}) : quantité de matière sèche du fourrage volontaire ingérée par l'animal

NI_{ref} (% du PV) : niveau d'ingestion de référence

NDFD_int (g/kg MS) : NDF digestible dans l'intestin

NDFND (g/kg MS) : NDF non digestible

PANDI_Ig (g/kg MS) : protéines alimentaires non digestibles dans l'intestin

PF (g/kg MS) : produits de fermentation des ensilages

PV (kg) : poids vif

► Références

INRA, 2018. Alimentation des ruminants, Editions Quae, Versailles, France, 728 p.

Document édité par l'Institut de l'Élevage

149 rue de Bercy - 75595 PARIS cedex 12

Novembre 2019 - Réf. idele : 0019 303 021

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

