



Prévoir la digestibilité et la valeur énergétique du maïs fourrage

Guide des nouvelles références

Evaluer et prévoir la digestibilité et la valeur énergétique du maïs fourrage sont des enjeux forts tant pour le sélectionneur que pour le nutritionniste des ruminants. Ce document récapitule les nouveautés proposées à l'issue d'un travail de recherche mené par l'INRA et ARVALIS - Institut du végétal en partenariat avec l'UFV et la FNPSMS.

L'évaluation de la valeur alimentaire du maïs fourrage a fait l'objet de travaux de recherche récents de la part d'ARVALIS - Institut du végétal et de l'INRA avec la collaboration de l'UFV section maïs et de la F.N.P.S.M.S. Ce guide technique présente les nouvelles références dans ce domaine. Ces données actualisées et les équations de prévision associées sont intégrées aux nouvelles tables d'alimentation INRA issues du projet SYSTALI. Elles seront appliquées progressivement à partir des récoltes 2016 dans le système d'inscription variétale par le CTPS/GEVES et en post-inscription par ARVALIS - Institut du végétal.

Les tables d'alimentation de l'INRA pour les ruminants, créées en 1978, rénovées en 1988 et réactualisées en 2007, fournissent les références de la valeur alimentaire du maïs fourrage. Ces tables permettent également de faire le lien entre les caractéristiques biochimiques du maïs fourrage mesurées au laboratoire et les systèmes d'expression de la valeur alimentaire utilisés en France (unités des valeurs énergétique, azotée et d'encombrement).

Les évolutions récentes du matériel végétal, des conditions et des pratiques de récoltes ont motivé ces nouvelles recherches pour répondre à des questions qui concernent à la fois les éleveurs, les conseillers, les sélectionneurs, les nutritionnistes et les fabricants d'aliments :

- les équations actuelles de prévision de la valeur énergétique du maïs fourrage établies durant les années 1990 sont-elles toujours valables ?
- la valeur énergétique mesurée sur le maïs vert est-elle extrapolable au maïs fermenté ?

- afin de préciser la provenance de l'énergie du fourrage, peut-on estimer la quantité d'amidon et de fibres digestibles dans le tube digestif ?

Les travaux de recherche conduits depuis 4 ans apportent des réponses concrètes à ces questions et sont résumés dans ce guide pour une meilleure valorisation du maïs fourrage dans la ration.



Calcul de la valeur alimentaire du maïs fourrage pour les ruminants dans les systèmes d'unités d'alimentation de l'INRA

Pour le maïs fourrage, il est nécessaire de bien identifier le type d'échantillon - vert/fermenté - afin de choisir les équations de prévision appropriées pour prédire la valeur du fourrage vert et/ou celle du fourrage fermenté.

La prévision des composantes de la valeur alimentaire d'un fourrage repose sur celle de la digestibilité de la matière organique (dMO). La dMO est au cœur de l'évaluation de la valeur énergétique (UFL, UFV), mais aussi de la valeur PDIE et des valeurs d'encombrement (UEM, UEB, UEL). Sa prévision doit ainsi être la plus précise possible.

Révision des unités d'alimentation INRA : Projet Systali

Une révision des systèmes d'unités d'alimentation INRA (UF, PDI, UE) va être proposée prochainement afin de mieux prendre en compte les effets du niveau d'ingestion et des interactions digestives entre aliments dans les calculs de rations. Les trois principaux facteurs d'interaction pris en compte sont :

- 1) le niveau d'ingestion (NI) qui, en accélérant le transit digestif, diminue la digestibilité de la ration ;
- 2) la proportion de concentré (PCO) dans la ration qui, lorsqu'elle augmente, diminue la digestibilité des autres constituants de la ration et
- 3) la balance protéique dans le rumen (BPR) qui, lorsqu'elle augmente, augmente la digestibilité de la ration.

Ainsi, dans le nouveau système, les valeurs des aliments ne seront plus fixes, mais dépendront du type et de la quantité des autres aliments qui composent la ration. Parallèlement, la détermination des besoins des animaux et de leurs réponses productives aux apports alimentaires ont également été révisées.

Les tables des aliments et les équations de prévision fourniront des valeurs repères calculées pour NI, PCO et BPR fixés. Les principales modifications dans le calcul de la valeur des aliments seront les suivantes :

UF : prise en compte des pertes d'énergie dans les urines et sous forme de méthane dans le calcul de l'énergie métabolisable (EM) à partir de l'énergie digestible (ED), et révision du calcul de l'énergie nette (EN) à partir de l'EM ;

PDI : prise en compte de NI et du transit digestif dans le calcul de la dégradabilité de l'azote (DT) dans le rumen, révision complète du calcul de la matière organique fermentescible (MOF) en intégrant les sites de digestion de l'amidon et des parois végétales ;

UE : introduction d'une valeur d'encombrement de base des aliments concentrés estimée à partir de la dégradabilité ruminale de la MS afin de mieux tenir compte de la nature des concentrés (amidon vs parois) dans le calcul des taux de substitution entre fourrages et concentrés.

Les nouvelles équations présentées dans ce document pour le maïs fourrage (calcul de l'énergie brute, de la dMO, de la dégradabilité de l'amidon et de la digestibilité des parois végétales) seront intégrées dans les nouvelles tables d'alimentation de l'INRA.

1 - Détermination de la composition biochimique du maïs fourrage

A quoi sert une analyse de laboratoire ?

L'analyse de laboratoire permet de caractériser la composition biochimique d'un aliment et sa digestibilité enzymatique. Pour le maïs fourrage, il est nécessaire de quantifier les teneurs en cellulose brute (CB), en fibres selon le fractionnement « van Soest » (NDF/ADF/ADL), en amidon, en glucides solubles, en protéines (matières azotées totales ou MAT), en matières minérales (cendres ou MM). Elle permet également de mesurer la digestibilité enzymatique de la matière sèche (DCS) par la méthode « Aufrère ». Ces informations servent ensuite à calculer les composantes de la valeur alimentaire de l'aliment (UF, PDI, UE) en utilisant les équations de prévision régulièrement mises à jour du système INRA. L'estimation précise de la valeur alimentaire du maïs permet d'améliorer sa valorisation dans la ration en l'associant avec des aliments complémentaires pour satisfaire les besoins des animaux.

Choisir le type d'échantillon de maïs fourrage à analyser : à la récolte ou après fermentation ?

Selon l'objectif recherché, les échantillons peuvent être prélevés à différents moments, idéalement à la récolte puis de nouveau lors de l'utilisation du fourrage par les animaux.

- **A la récolte.** Pour concevoir une ration avant l'ouverture du silo, il est recommandé de faire l'analyse biochimique sur un échantillon du fourrage vert à la récolte, prélevé sur le tas benné pendant la confection du silo. Cette analyse sur le fourrage vert à la récolte a jusqu'à présent été recommandée puisque les équations de prévision de la valeur alimentaire ont été établies à partir de paramètres mesurés sur le fourrage vert.

- **Après fermentation.** L'analyse de composition chimique avec calcul de la valeur alimentaire sur fourrage fermenté permettra de réajuster au besoin la ration en cas de problèmes durant la phase d'ensilage (écoulement de jus notamment) ou d'hétérogénéité du silo.

A la récolte ou lors de la consommation du fourrage ensilé, l'échantillonnage du fourrage devra permettre de constituer un échantillon représentatif du fourrage stocké. Le prélèvement « en vert » devra donc être réalisé régulièrement durant le chantier de récolte. Lors de l'utilisation du fourrage, les prélèvements se feront à différentes hauteurs sur le front d'attaque du silo pour avoir une représentativité de chaque couche de fourrage.

Entre chimie classique au laboratoire et spectrométrie dans le proche infra-rouge (SPIR), quelle méthode d'analyse de la composition biochimique choisir ?

La composition biochimique et la digestibilité enzymatique des aliments peuvent être déterminées selon 2 méthodes :

1 > Analyse biochimique au laboratoire. Cette méthode permet de doser un à un les composants biochimiques et la digestibilité enzymatique de la matière sèche du fourrage en faisant intervenir des réactions physico-biochimiques en milieu contrôlé. L'analyse biochimique au laboratoire reste la méthode de référence et permet d'obtenir un maximum de précision sur la composition biochimique. Elle sert à étalonner les appareils SPIR et s'avère nécessaire pour les échantillons qui sortent des populations de calibrations utilisées en SPIR. Elle est toutefois plus onéreuse que la méthode SPIR.

2 > Prévision par la spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR). La SPIR est une méthode basée sur le fait que chacun des composés biochimiques majeurs d'un échantillon a une propriété d'absorption du rayonnement dans le proche infrarouge. Le spectre obtenu à partir de l'échantillon analysé est comparé à une base de données de référence. Pour le maïs fourrage, aliment simple et courant, les bases de données de référence sont généralement riches et permettent une bonne qualité de prévision de la composition biochimique du fourrage. La prédiction SPIR est rapide, peu onéreuse et disponible dans de nombreux laboratoires.

Echantillon sur maïs fourrage fermenté : prendre en compte la correction de composition biochimique :

Au laboratoire, avant analyse par les appareils de mesure, les échantillons de fourrage sont séchés à l'étuve. Durant le séchage, les ensilages perdent une grande partie de leurs produits de fermentation volatils tels que l'acide acétique, l'éthanol, le propanol, l'ammoniac, etc. La composition biochimique et la teneur en MS doivent être corrigées d'un facteur* (entre 1 et 5 % pour le maïs fourrage) avant d'être intégrées au calcul des valeurs alimentaires UF, UE et PDI.

Les laboratoires effectuent généralement cette correction mais il est préférable de le vérifier. Dans tous les cas, bien mentionner « maïs fourrage fermenté » lors de l'envoi d'un échantillon fermenté au laboratoire.

*Se référer à l'annexe 3 du livre INRA 2007 pour les équations ou les abaques



La maîtrise de la finesse de hachage de l'ensilage permet une bonne conservation de l'ensilage, une ingestion et une rumination satisfaisantes des animaux.

2 - Calcul de la valeur énergétique du maïs fourrage

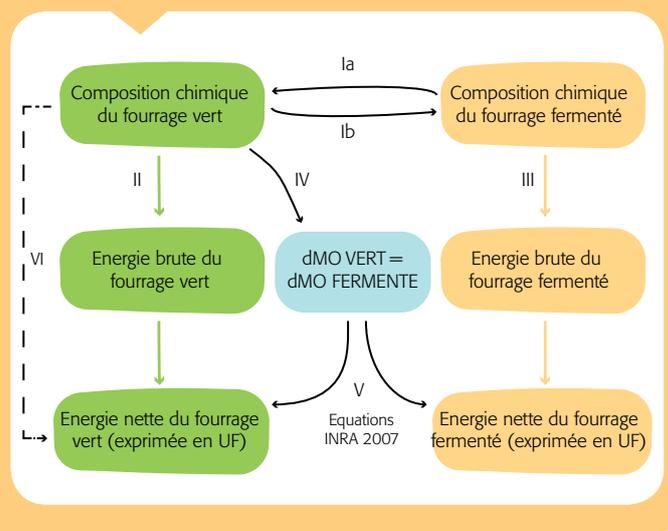
La composition biochimique du maïs fourrage permet de calculer sa teneur en énergie brute totale. Seule une partie de cette énergie brute est valorisée par les ruminants pour leurs besoins d'entretien, de croissance, de gestation et de production : c'est la teneur en énergie nette, exprimée en UF.

Les mesures de digestibilité in vivo conduites par Peyrat et al. (2014) ont permis de confirmer que la digestibilité de la matière organique du fourrage ensilé peut être assimilée à celle du fourrage vert, hypothèse nécessaire au calcul des UF. Les nouvelles références de dMO obtenues dans cette étude restent dans la plage de variation des mesures faites dans les années 1980-1990. Elles confirment la pertinence des variables DCS et MAT retenues dans le modèle M4 pour prévoir la dMO et permettent d'en améliorer légèrement la précision (nouvelle équation M4.2). Il en est de même pour le modèle M1, dont l'équation de prédiction de la dMO est basée sur CB et MAT, modèle toutefois moins précis que le modèle M4, et qui évolue vers l'équation M1.2 (tableau 1).

Le sélectionneur, avant tout intéressé par l'évaluation variétale, travaille principalement sur le maïs en vert. Il utilisera donc la démarche de calcul donnée pour estimer les UF du fourrage vert à partir d'analyses réalisées sur des échantillons en vert (figure 1). Le nutritionniste est lui avant tout intéressé par la valeur de l'ensilage, donc du fourrage fermenté. Il est amené à travailler à partir d'analyses réalisées sur le fourrage vert et/ou sur le fourrage fermenté selon les cas (figure 1). Lorsque l'analyse est réalisée sur le vert, la prévision de la valeur énergétique de l'ensilage nécessite d'estimer la composition biochimique du fourrage fermenté. Lorsque l'analyse est réalisée sur le fourrage fermenté, l'utilisation de l'équation M4.2 (ou de l'équation M1.2) nécessite de ré-estimer la composition du fourrage vert de départ. Le tableau 1 récapitule l'ensemble des équations de passage entre vert et fermenté qui ont été mises à jour ainsi que les nouvelles équations d'estimation de la teneur en énergie brute du fourrage fermenté et les nouvelles équations de prévision de la dMO.

La méthode INRA de référence de calcul des valeurs UF préconise de calculer de façon séquentielle, l'énergie brute, l'énergie digestible, l'énergie métabolisable et l'énergie nette qui se convertit directement en UFL et UFV. C'est la méthode qui permet la meilleure précision. Les équations du tableau 1 sont aisément programmables dans un tableur par exemple. Toutefois dans les années 1990, l'utilisation de l'informatique étant moins développée, des équations de calcul direct des valeurs UFL et UFV en vert avaient été données. Les équations de calcul direct des valeurs UFL et UFV en vert, encore largement utilisées notamment dans les calculs d'évaluation variétale, ont été mises à jour, en cohérence avec l'équation M4.2.

Figure 1 : Détermination de la valeur énergétique (UF) du maïs fourrage. Les ensembles d'équations notées I à V sont reprises dans le tableau 1.



Dans le système d'alimentation INRA 2007, la valeur UF du maïs fourrage en vert, incluant la mise à jour « M4.2 », peut être prédite directement (VI) avec :

M4.2

$$\text{UFL vert (/kg MO)} = 0,1877 + 0,001389 \times \text{MAT vert (g/kg MO)} + 0,009491 \times \text{DCS vert (\%)} \\ (\text{N}=290 ; \text{R}^2=0,53 ; \text{ETR}=0,032)$$

$$\text{UFV vert (/kg MO)} = -0,0080 + 0,001473 \times \text{MAT vert (g/kg MO)} + 0,01073 \times \text{DCS vert (\%)} \\ (\text{N}=290 ; \text{R}^2=0,52 ; \text{ETR}=0,036)$$

M1.2

$$\text{UFL vert (/kg MO)} = 1,094 + 0,001287 \times \text{MAT vert (g/kg MO)} - 0,001156 \times \text{CB vert (g/kg MO)} \\ (\text{N}=290 ; \text{R}^2=0,50 ; \text{ETR}=0,033)$$

$$\text{UFV vert (/kg MO)} = 1,017 + 0,001358 \times \text{MAT vert (g/kg MO)} - 0,001306 \times \text{CB vert (g/kg MO)} \\ (\text{N}=290 ; \text{R}^2=0,49 ; \text{ETR}=0,037)$$

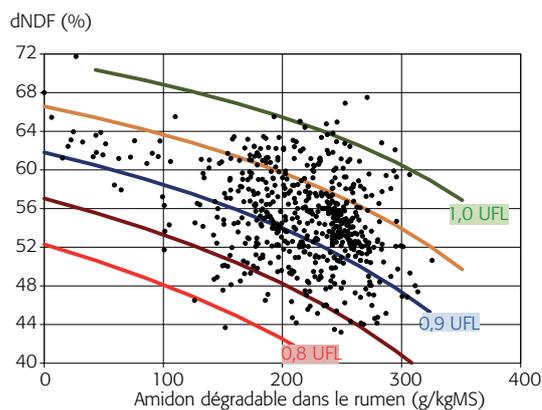
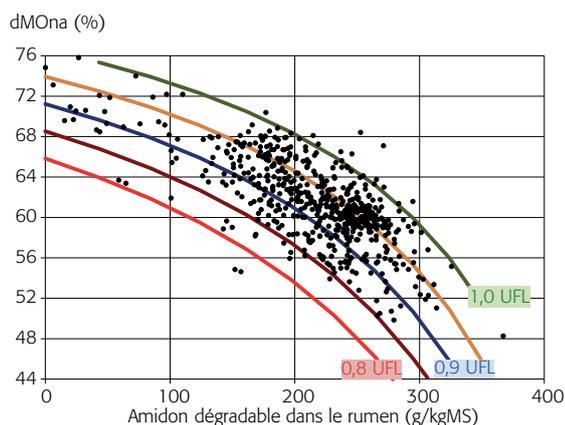


Tableau 1 : Equations nécessaires au calcul de la valeur énergétique du maïs fourrage.

Se reporter à la figure 1 pour sélectionner les ensembles d'équations (notés I à V) adaptés à chaque étape de calcul

		N	R ²	ETR
Ia	Prévision de la composition de l'ensilage à partir de l'analyse de l'échantillon en vert :			
	MS ensilage (%) = 1,014 MS vert (%)	36	0,97	1,07
	MM ensilage (g/kg MS) = 1,008 MM vert (g/kg MS)	36	0,86	2,18
	MAT ensilage (g/kg MS) = 1,063 MAT vert (g/kg MS)	36	0,87	2,33
	Amidon ensilage (g/kg MS) = 1,043 Amidon vert (g/kg MS)	36	0,86	27,4
	NDF ensilage (g/kg MS) = 0,910 NDF vert (g/kg MS)	36	0,39	40,1
	ADF ensilage (g/kg MS) = 0,963 ADF vert (g/kg MS)	36	0,65	19,8
	CB ensilage (g/kg MS) = 1,036 CB vert (g/kg MS)	36	0,67	17,2
	Pour corriger les pertes de produits volatils à l'étuve, la teneur en MS des ensilages doit être multipliée par le Facteur de Correction (FC) et les teneurs des constituants chimiques doivent être divisées par FC. Si l'analyse de la qualité de conservation n'est pas réalisée chimiquement, FC peut être estimé à partir de la teneur en MS du vert ou de l'ensilage :			
	FC = 1,1102 - 0,0041 MS vert (%) + 4,53x10 ⁻⁵ (MS vert) ²	36	0,46	0,0065
FC = 1,0857 - 0,0027 MS ensilage (%) + 2,44x10 ⁻⁵ (MS ensilage) ²	36	0,40	0,0069	
Les teneurs en cellulose brute (CB) et en lignocellulose van Soest (ADF) sont étroitement liées. Pour simplifier les analyses, il est donc possible de prévoir l'une à partir de l'autre :				
ADF vert (g/kg MS) = 1,084 CB vert + 3,540	290	0,92	7,45	
CB vert (g/kg MS) = 0,850 ADF vert + 13,23	290	0,92	6,59	
Ib	Pour conduire les calculs à partir de l'analyse (non corrigée) de l'échantillon fermenté, il est nécessaire de ré-estimer la valeur de l'échantillon vert correspondant :			
	MS vert (%) = 0,986 MS ensilage (%)	36	0,97	1,05
	MM vert (g/kg MS) = 0,988 MM ensilage (g/kg MS)	36	0,86	2,16
	MAT vert (g/kg MS) = 0,940 MAT ensilage (g/kg MS)	36	0,87	2,19
	Amidon vert (g/kg MS) = 0,953 Amidon ensilage (g/kg MS)	36	0,86	26,2
	NDF vert (g/kg MS) = 1,088 NDF ensilage (g/kg MS)	36	0,39	43,9
	ADF vert (g/kg MS) = 1,029 ADF ensilage (g/kg MS)	36	0,65	20,4
	CB vert (g/kg MS) = 0,958 CB ensilage (g/kg MS)	36	0,67	16,5
II	DCS vert (g/kg MS) = 1,005 DCS ensilage (g/kg MS)	36	0,67	2,49
	EB vert (kcal/kg MO) = 4487 + 2,013 MAT vert (g/kg MO)	59	0,33	25
III	EB ensilage (kcal/kg MO) = 4721 - 0,524 Amidon vert (g/kg MO) + 1,74 MAT vert (g/kg MO)	36	0,68	23,2
	EB ensilage (kcal/kg MO) = 4722 - 0,458 Amidon ensilage (g/kg MO) + 1,42 MAT ensilage (g/kg MO)	36	0,77	19,7
IV	M4.2 : dMO (%) = 30,7 + 0,0742 MAT vert (g/kg MO) + 0,5164 DCS vert (%)	290	0,49	1,85
	M1.2 : dMO (%) = 79,6 + 0,0687 MAT vert (g/kg MO) - 0,0609 CB vert (g/kg MO)	290	0,44	1,94
V	Equations INRA 2007			
	dE vert (%) = 0,997 dMO vert - 2,35	37	0,996	0,2
	dE ensilage (%) = 1,001 dMO ensilage - 2,86	27	0,96	0,7
	Equations s'appliquant au vert et à l'ensilage			
	ED (kcal/kg MO) = EB (kcal/kg MO) x dE (%)			
	EM = ED x (EM / ED)			
	Avec EM / ED = [86,82 - 0,0099 CB (g/kg MO) - 0,0196 MAT (g/kg MO)] / 100			
	ENL (kcal/kg MO) = EM x kl			
	Avec kl = 0,60 + 0,24 (EM/EB - 0,57)			
	ENEV (kcal/kg MO) = EM x kmf			
Avec kmf = (km x kf x 1,5) / (kf + 0,5 km)				
et km = 0,287 (EM/EB) + 0,554 ; kf = 0,78 (EM/EB) + 0,006				
UFL (/kg MO) = ENL / 1700 et UFV (/kg MO) = ENEV x 0,95 / 1820				
Les valeurs UF obtenues sont exprimées sur la MO et doivent être corrigées de la teneur en MM du fourrage pour obtenir la valeur UF par kg de MS.				
Les calculs pour passer de l'ED à l'EM, puis de l'EM à l'ENL et l'ENEV et enfin aux UFL et UFV seront modifiés en 2017 avec les nouveaux systèmes INRA d'alimentation. Cela fera l'objet d'une mise à jour de ce document.				

Figure 2 : Variabilité de la nature de l'énergie des maïs fourrage récoltés en France en 2015. Etude ARVALIS à partir de 602 analyses de maïs fourrage issues du laboratoire Germ-Services.



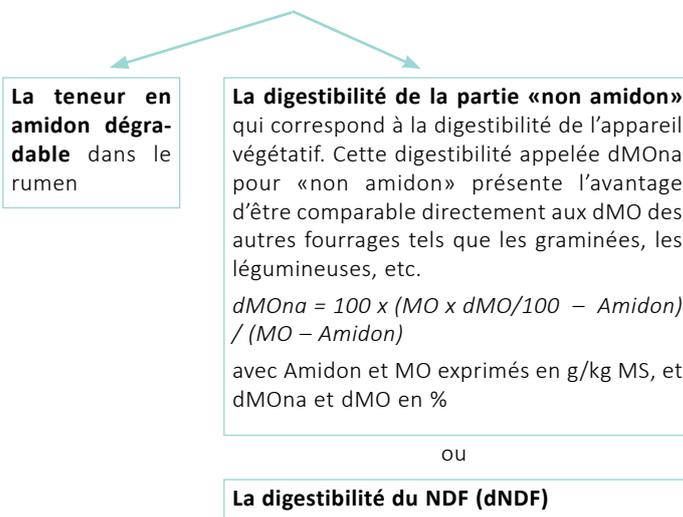
3 - Préciser le devenir de l'énergie du maïs fourrage dans le tube digestif

L'énergie apportée à l'animal par l'ensilage de maïs provient de l'amidon et des parois végétales. La digestion de l'amidon dans l'ensemble du tube digestif est presque totale, mais la part digérée respectivement dans le rumen et dans l'intestin varie dans de larges proportions. La digestion des parois végétales est partielle et la quantité de parois végétales indigestibles est étroitement liée à la digestibilité de la matière organique du fourrage. Aujourd'hui, une quantification plus précise du devenir de l'amidon et des parois végétales dans le tube digestif est nécessaire pour préciser la composition des rations à base d'ensilage de maïs ; par exemple pour choisir les aliments complémentaires selon que l'ensilage apportera plus ou moins d'amidon dégradé dans le rumen. Cette quantification doit permettre de mieux prévoir les orientations fermentaires dans le rumen, les interactions digestives, les flux de nutriments et de gaz, et la matière organique fermentescible par les microorganismes pour leur synthèse. Ainsi, le nouveau mode de calcul de la valeur alimentaire dans le système d'alimentation INRA (projet SYSTALI) tient compte de la quantité d'amidon et de parois végétales digérées dans le rumen dans la prévision de la MOF qui détermine directement la valeur PDIE des aliments.

Les nouvelles références acquises par l'INRA et ARVALIS sur l'ensilage de maïs permettent de proposer deux indicateurs du devenir des parois végétales et de l'amidon du maïs fourrage dans le tube digestif :

- La quantité de parois non digestibles (NDFnd), qui est estimée directement à partir de la prévision de la dMO, et qui permet de calculer la digestibilité du NDF (ou dNDF) à partir de la relation : **dNDF (%) = 100 x [NDF (g/kg MS) - NDFnd (g/kg MS)] / NDF (g/kg MS).**
- La dégradabilité dans le rumen de l'amidon (DT6 amidon), calculée sous hypothèse d'un taux de transit de 6%.h⁻¹, qui peut être prévue à partir des teneurs en matière sèche et en amidon du fourrage vert (tableau 2). Cette équation traduit la diminution de la dégradabilité de l'amidon avec le stade de maturité du fourrage (teneur en MS qui augmente). La teneur en amidon dégradé dans le rumen peut ensuite être calculée par la relation : **Amidon dégradé ensilage (g/kg MS) = Amidon ensilage (g/kg MS) x DT6 amidon ensilage (%) / 100.**

Pour visualiser en un coup d'œil la provenance de l'énergie d'un échantillon de maïs fourrage, il est possible de positionner les résultats d'analyse de laboratoire d'un échantillon en fonction de 2 axes (figure 2) :



Estimer l'impact de la durée de conservation du fourrage sur la dégradabilité de l'amidon

L'effet de la durée de conservation sur la dégradabilité de l'amidon est un phénomène connu de tous les éleveurs et conseillers mais encore difficile à prendre en compte avec précision du fait du manque de références.

Des travaux récents basés sur un essai en station expérimentale (ARVALIS - La Jaillière) et sur la bibliographie internationale ont permis de proposer une autre équation de la DT6 amidon intégrant la durée de conservation de l'ensilage (Férard et al., 2016). Cette correction est à appliquer à la DT6 amidon «Tables» (Peyrat et al, 2016) pour tenir compte de l'effet de la durée de conservation pour les maïs récoltés à plus de 29,1% de MS tel que :

$$DT6_{\text{amidon}} \text{ «corrigée durée conservation» (\%)} = DT6_{\text{amidon}} (\%) + 0,0022 \times [MS (\%) - 29,1] \times [\text{durée conservation (j)} - 60]$$

Cette équation permet de prendre en compte la hausse de la matière organique fermentescible dans le rumen (donc la hausse des PDI) apportée par le maïs fourrage au fil des mois d'utilisation du fourrage.

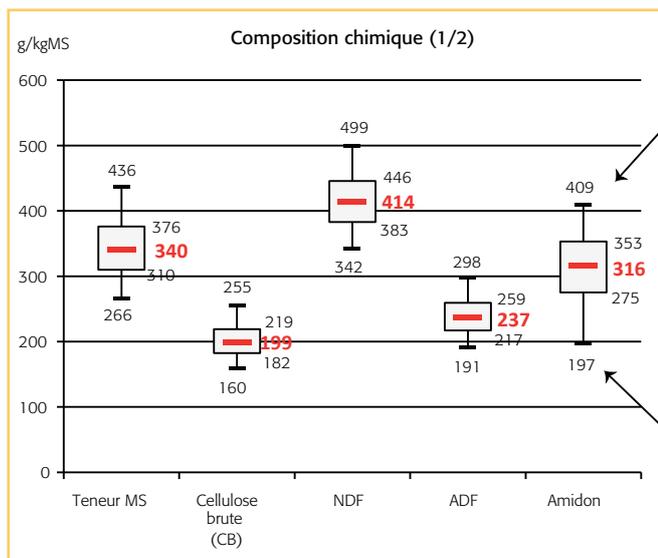
A titre d'exemple : un maïs à 39 % MS (36 % d'amidon) stocké depuis 6 mois présentera 20 g/kg de MS d'amidon disponible en plus dans le rumen.

Tableau 2 : Equations établies pour le maïs fourrage

	N	R ²	ETR
NDFnd (g/kg MS) = 887 - 9,55 x dMO (%)	126	0,88	9,4
DT6 _{amidon} ensilage (%) = 109,7 - 0,971 x MS vert (%) + 0,018 x Amidon vert (g/kg MS)	168	0,89 ⁽¹⁾	4,7 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ : R² et ETR ajustés des effets essais et années (Nexp = 19)

Figure 3 : Variabilité de la composition chimique (mesurée sur vert) et de la valeur alimentaire (calculée pour du fermenté avec les équations 2016 de ce document) observée à partir de 10 683 analyses de maïs fourrage réalisées entre 2005 et 2015 au laboratoire Germ-Services de Montardon (64).



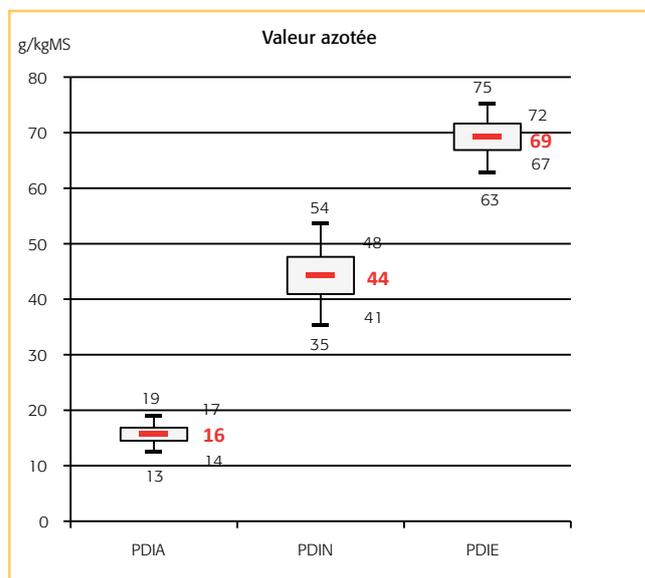
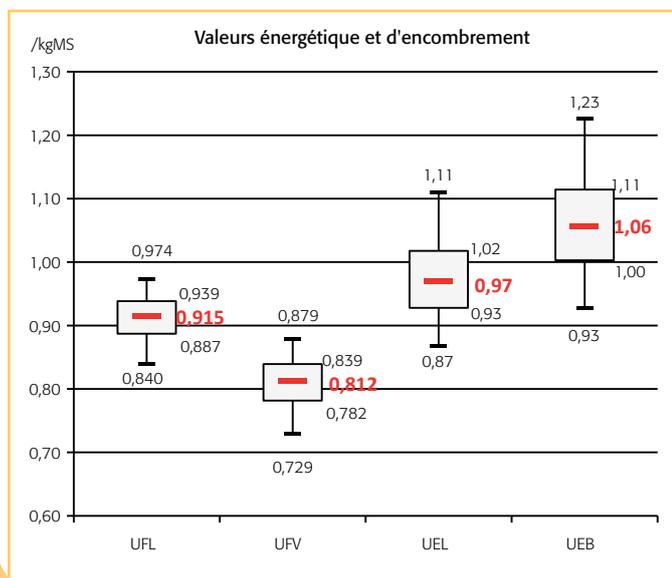
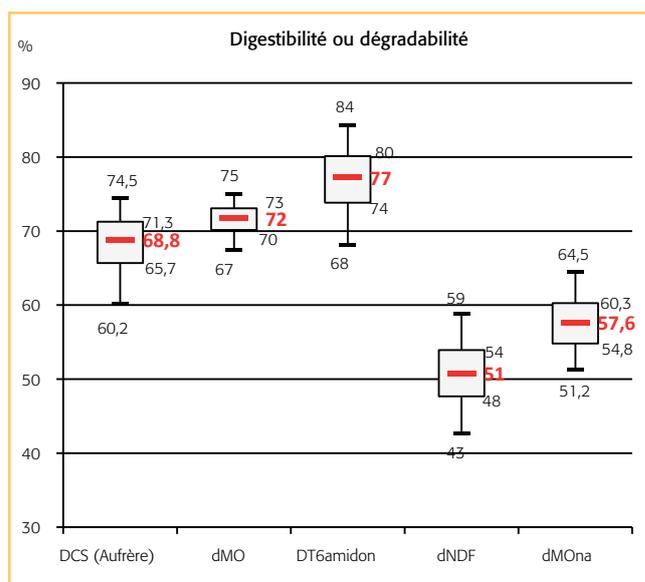
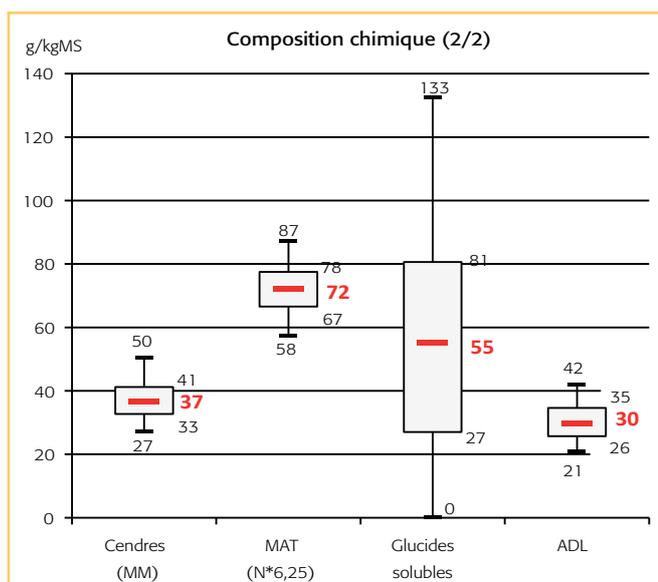
5% des valeurs sont au-dessus

25% des valeurs sont au-dessus

médiane

25% des valeurs sont au-dessous

5% des valeurs sont au-dessous



Glossaire

- ADF : Lignocellulose insoluble des constituants pariétaux végétaux obtenue par dosage suite à l'hydrolyse par un détergent en milieu acidifié (H_2SO_4)
- ADL : Lignine estimée par dosage après destruction de la cellulose par traitement à H_2SO_4 72% à partir du résidu ADF
- Digestibilité (sous-entendue digestibilité apparente) (%) : mesure ou calcul donnant la proportion d'un constituant d'un aliment qui disparaît au cours du transit dans le tube digestif complet de l'animal
- Dégradabilité ruminale (%) : mesure ou calcul donnant la proportion d'un constituant d'un aliment qui est dégradée dans le rumen de l'animal
- DCS (%) : digestibilité mesurée *in vitro* de la matière sèche d'un aliment par la méthode enzymatique à la pepsine cellulase (méthode Aufrère). Aussi appelée communément en France « digestibilité de la MS »
- dNDF (%) : mesure ou calcul de la proportion de NDF qui disparaît dans l'ensemble du tube digestif
- NDFnd (g/kg MS) : mesure ou calcul de la quantité de NDF indigestible d'un aliment dans le tube digestif complet de l'animal
- EB (kcal/kg MD) : quantité de chaleur produite au cours de la combustion complète d'un kilogramme de composé organique de cet aliment
- EN (kcal/kg MS ou kg MD) : quantité d'énergie qui correspond aux dépenses d'entretien et de production de l'animal. Elle est exprimée en UF avec 1 UF = EN d'1 kg brut d'orge de référence
- MOF (g/kg MS) : calcul de la quantité de matière organique fermentescible dans le rumen
- PDIE (g/kg MS) : quantité de protéines digestibles dans l'intestin permise par l'énergie apportée par l'aliment
- PDIN (g/kg MS) : quantité de protéines digestibles dans l'intestin permise par l'azote apportée par l'aliment
- SPIR (= Spectroscopie dans le Proche Infra-Rouge) : technique analytique basée sur le principe d'absorption des rayonnements (infra-rouges) par la matière organique pour prédire la composition chimique d'un aliment
- UE : 1 UE correspondant à l'encombrement dans le rumen d'1 kg d'herbe jeune au pâturage

Pour en savoir plus

- Féraud A., Peyrat J., Uijtewaal A., Meslier E., 2016. Effect of storage length on the maize starch degradability, proceedings of 17th international conference of forage and conservation, Horny Smokovec, p. 157-158
- Peyrat J., Nozière P., Le Morvan A., Féraud A., Protin P.V., and Baumont R., 2014. Effects of ensiling maize and sample conditioning on *in situ* rumen degradation of dry matter, starch and fiber. *Animal Feed Science and Technology* 196, 12-21
- Peyrat J., Nozière P., Féraud A., Le Morvan A., Protin P.V. et Baumont R., 2014. Digestibilité de l'amidon et des parois végétales de l'ensilage de maïs : conséquences sur la prévision de sa valeur énergétique, *Renc. Rech. Rum.*, 21, p. 135-138
- Peyrat J., 2014. Digestion de l'amidon et des parois végétales du maïs fourrage chez les ruminants : conséquences sur l'évaluation de sa valeur nutritive. Thèse soutenue le 21 novembre 2014, 255p.
- Peyrat J., Meslier, E., Le Morvan, A., Féraud, A., Baumont, R., Deroche, B., Protin, P.V., Nozière, P., 2016. Prediction of ruminal starch degradability of maize forage. *Proceedings 67th EAAP 2016*, p. 559
- Peyrat J., Nozière P., Féraud A., Le Morvan A., Meslier E., Protin P-V., Baumont R., 2016. Digestibilité du maïs fourrage et de ses fractions énergétiques : actualisation des équations de prévision. *Renc. Rech. Rum.*, 23, in press.
- Sauvant D., Nozière P., 2013. La quantification des principaux phénomènes digestifs chez les ruminants : les relations utilisées pour rénover les systèmes d'unités d'alimentation énergétique et protéique. *INRA Prod. Anim.* 26, 327-346

Pour citer ce document

Peyrat J., Nozière P., Féraud A., Le Morvan A., Meslier E., Protin P-V., Carpentier B., Baumont R., 2016. «Prévoir la digestibilité et la valeur énergétique du maïs fourrage : Guide des nouvelles références », ARVALIS - Institut du végétal - INRA

En partenariat avec :