

ÉDITION JUIN 2023

# QUALITÉ DES FOURRAGES EN RÉGION WALLONNE

2<sup>ème</sup> synthèse de la Base de données  
fourrages de REQUASUD

Auteurs : T. Cugnon, V. Decruyenaere & F. Ferber





# SOMMAIRE

INTRODUCTION	<b>04</b>
PRÉSENTATION DU RÉSEAU REQUASUD	<b>06</b>
BASE DE DONNÉES CENTRALISÉE	<b>08</b>
LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES	<b>10</b>
INTÉRÊT DES INDICES DE NUTRITION DES CULTURES FOURRAGÈRES	<b>20</b>
QUELS SONT LES BESOINS DES ANIMAUX ? ET LES FOURRAGES WALLONS PEUVENT-ILS COMBLER CES BESOINS ?	<b>32</b>
LES NOUVEAUX FOURRAGES	<b>35</b>
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	<b>41</b>
GLOSSAIRE	<b>42</b>
BIBLIOGRAPHIE	<b>44</b>
LABORATOIRES DE PROXIMITÉ	<b>45</b>



## INTRODUCTION

Le secteur des productions fourragères, à destination du secteur de l'élevage, tout comme l'ensemble du secteur agricole, est confronté à de nombreux défis économiques, environnementaux et sociétaux actuels et à venir.

En effet, pour faire face à la concurrence et à la volatilité des prix des matières premières, il est impératif d'augmenter la productivité de manière à répondre à la croissance de la demande alimentaire mondiale tout en améliorant la rentabilité des exploitations agricoles. Cela doit bien entendu se réaliser en développant des systèmes de production durables permettant de réduire l'impact environnemental et social des activités agricoles.

Cette évolution n'est cependant pas simple pour le secteur des productions fourragères car il faut composer avec la disponibilité limitée des terres et des ressources naturelles. Il existe en effet une concurrence croissante pour les terres et les ressources avec les cultures industrielles ou à destination d'énergie et l'expansion urbaine. De plus, le changement climatique et les risques accrus de sécheresses et d'inondations sont également des facteurs cruciaux dans l'adaptation des pratiques actuelles et de demain. Les éleveurs doivent également tenir compte des préoccupations croissantes des consommateurs en matière d'éthique et de bien-être animal, ce qui se traduit par l'adaptation des réglementations et des normes en la matière, ce qui résulte globalement, en une part d'augmentation des coûts de production pour l'agriculteur.

Le réseau de laboratoires REQUASUD, créé en 1989 par la Wallonie, est un outil de premier ordre pour accompagner les producteurs dans les défis auxquels ils sont confrontés.

Une première synthèse des résultats d'analyse de fourrages (herbe, ensilage d'herbe, ensilage de maïs et foin) de la base de données du réseau REQUASUD avait été rédigée en 2006. Elle couvrait la période 1994 - 2005 et concernait tant les valeurs nutritives que la teneur en minéraux. Plus de 15 ans après, il était temps de refaire un état des lieux de cette base de données en mettant l'accent sur les besoins actuels et à venir du secteur en Wallonie, besoins auxquels les analyses de fourrages réalisées dans le réseau REQUASUD peuvent répondre.

L'analyse de la composition chimique des fourrages est une étape clé à réaliser de manière régulière. Bien qu'il existe dans la littérature un grand nombre de valeurs de référence auxquelles l'agriculteur pourrait faire appel pour calculer ses rations hivernales, la valeur nutritive des produits fourragers et plus spécifiquement de l'herbe n'est pas constante. Elle varie en fonction du type de sol, de la composition floristique et de la gestion de la prairie mais elle évolue également au cours de la saison. Par ailleurs, pour les aliments du commerce, il est possible de se référer à la composition qui figure sur l'étiquette et pour laquelle le fabricant se porte garant. Dans le cas des fourrages, cependant, les facteurs de variation qui interviennent à différents stades de la production et de la conservation sont si nombreux qu'il est impossible de prévoir la valeur



nutritive sans une détermination des composants essentiels. En se basant sur des valeurs moyennes, l'agriculteur risque soit de surestimer la qualité de ses fourrages et de ne pas couvrir les besoins de ses animaux, soit au contraire de la sous-estimer et de gaspiller.

La présente brochure s'oriente principalement autour de trois axes qui concernent le calcul des valeurs alimentaires, les indices de nutrition fourragers ainsi que l'évolution du secteur face aux contraintes économiques et environnementales actuelles et à venir.

Concernant les valeurs alimentaires, il existe différents systèmes de calcul en Belgique et chez nos voisins (principalement les systèmes Français et Hollandais) et force est de constater qu'il n'est pas toujours simple de s'y retrouver entre les VEM, UFL, PDI, UEB ou OEB. Le premier objectif est donc de décrire les différents paramètres pouvant être utilisés pour établir des calculs de ration en fonction des différents paramètres analysés dans les fourrages et d'orienter leur utilisation.

La nutrition minérale des prairies est un poste essentiel en agriculture. Outre la problématique de l'azote, une fertilisation inadéquate en P, K ou S peut résulter en un déficit des rendements, des pertes économiques ou des impacts environnementaux. Les indices de nutrition sont

des outils aisément utilisables pour évaluer la disponibilité en minéraux des productions fourragères. Pour une teneur en azote définie, des teneurs en P ou K supérieures aux valeurs cibles indiquent que la disponibilité en ces éléments était suffisante pour ne pas limiter les rendements. Inversement des teneurs inférieures aux valeurs cibles indiquent que la nutrition était insuffisante. Ces indices de nutrition combinés aux analyses de sols devraient permettre d'optimiser la fertilisation raisonnée pour les années à venir.

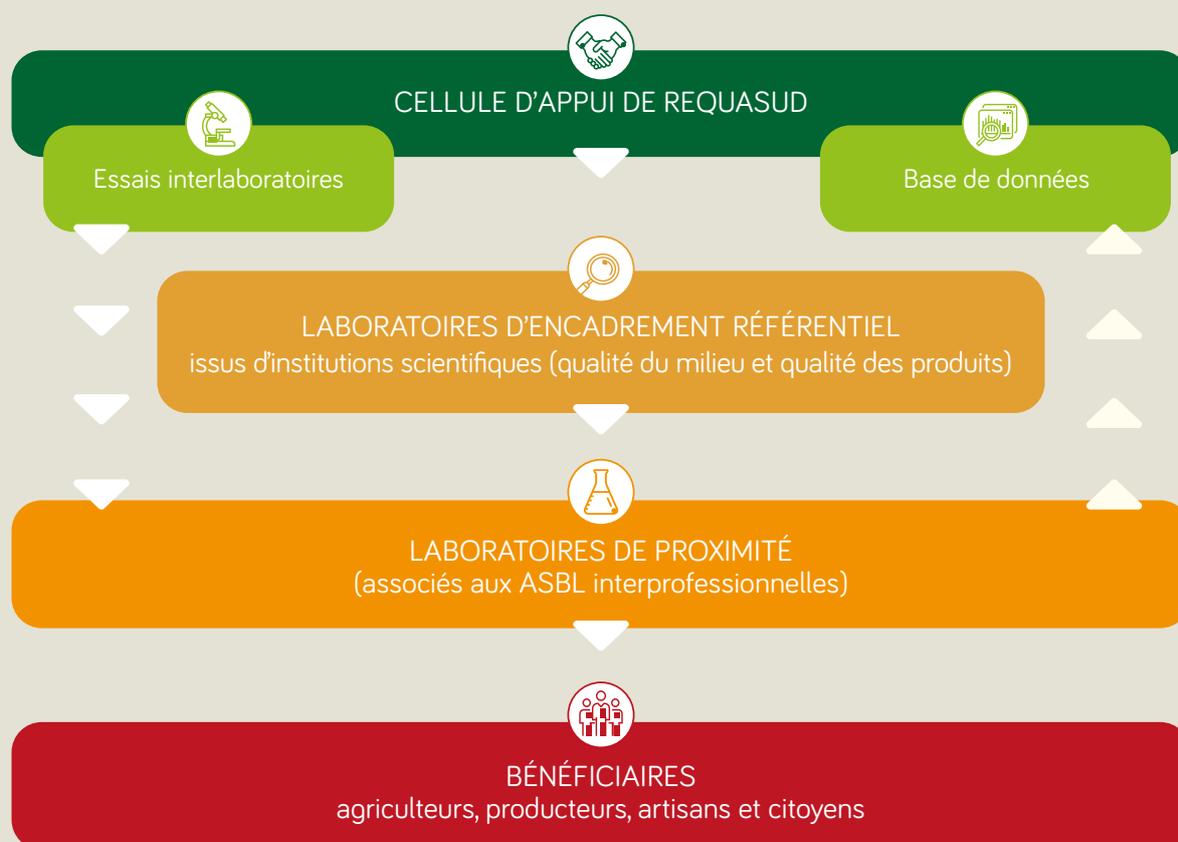
Enfin, les changements auxquels le secteur est soumis (diminution de la consommation de viande, pression démographique, pression foncière...) ou doit s'adapter (réchauffement climatique, évolution des coûts de production, stockage du carbone dans les sols...) nécessite de repenser également le système de culture, notamment en modifiant les types de productions fourragères en Wallonie.



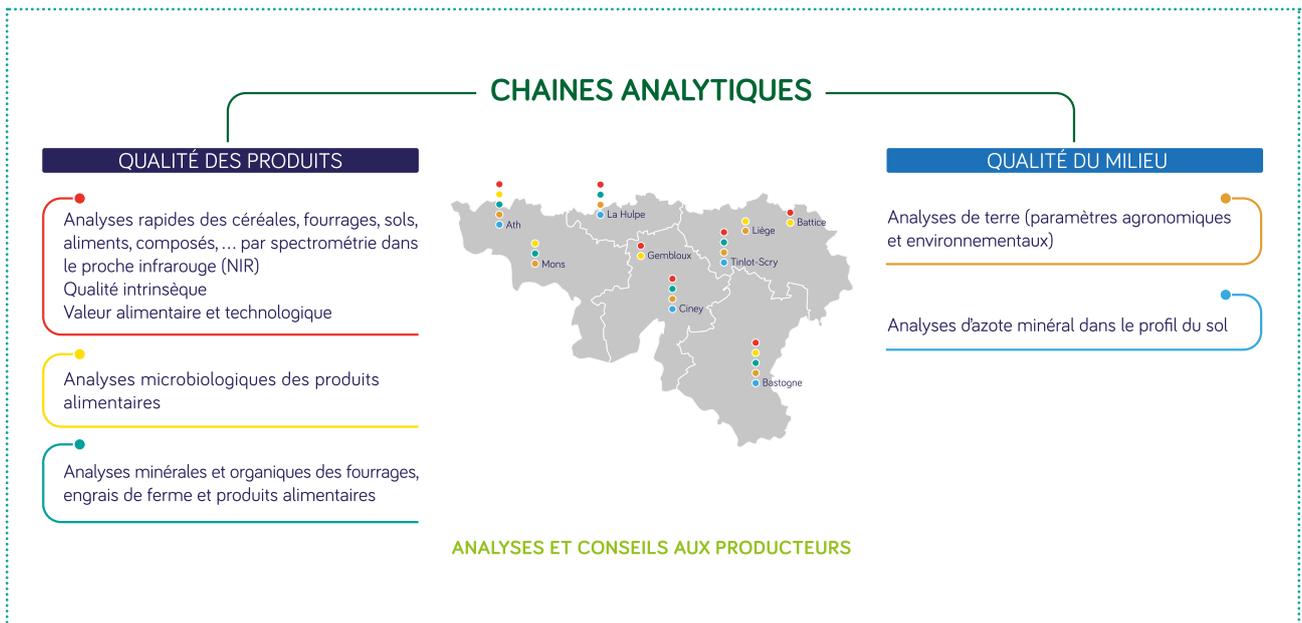
## PRÉSENTATION DU RÉSEAU **REQUASUD**

Pour aider les agriculteurs et les producteurs transformateurs à répondre aux demandes de la société en matière de développement durable; de préservation de l'environnement et de la qualité des produits, la Wallonie a mis sur pied une structure d'encadrement ayant pour objectif de leur offrir un service d'analyse et de conseil adapté, fiable, rapide, performant et à la pointe de l'avancée scientifique. Cette structure, appelée

Réseau Qualité Sud (REQUASUD), rassemble des laboratoires d'analyse de proximité, associés à des associations interprofessionnelles ainsi que des laboratoires de recherche assurant leur encadrement référentiel. Son fonctionnement est assuré par une cellule de coordination et de promotion (Cellule d'appui de REQUASUD basée au CRA-W).



Ces laboratoires d'analyse de proximité sont en contact direct avec les utilisateurs, notamment les agriculteurs, les fournisseurs de l'agriculture, les producteurs transformateurs des produits agricoles, les gestionnaires de l'eau et les particuliers, à qui ils offrent un service complet.



La configuration en réseau leur assure l'encadrement scientifique nécessaire pour maintenir leur outil analytique à la pointe des développements technologiques, et pour améliorer les avis et interprétations qui font suite aux analyses. Les laboratoires d'encadrement référentiel (LER), appartenant à des institutions de recherche scientifique (CRA-W, UCLouvain et Uliège Gbx ABT), assurent la fiabilité et la performance du réseau dans son ensemble. Cette organisation en réseau permet d'offrir aux utilisateurs une large gamme d'analyses, ainsi que d'absorber un volume important de demandes d'analyses et de proposer des

méthodes adaptées à leurs besoins. D'autre part, cette structure permet aussi de mettre en place des procédures communes, par exemple, pour la formation du personnel, la veille normative et législative, la validation de méthodes d'analyse et le contrôle de la qualité des résultats d'analyses par l'organisation d'essais interlaboratoires selon le référentiel ISO 17043.





## BASE DE DONNÉES CENTRALISÉE

Les laboratoires du réseau REQUASUD réalisent une quantité croissante d'analyses sur toute sorte de matrices différentes (sols, fourrages, etc). En général, les analyses sont effectuées à la demande d'agriculteurs qui recherchent des éléments d'aide à la décision pour la gestion de leurs sols et de leurs productions.

A partir de 1994, une base de données centralisée a été créée par l'asbl REQUASUD. Cette base permet la mise en commun de toutes les informations relatives aux analyses réalisées par les laboratoires du réseau. Des règles communes de transfert de ces informations vers la base de données centralisée ont été établies et sont relatives à 2 types d'informations: des données signalétiques permettant la caractérisation de l'échantillon et l'origine du prélèvement ainsi que des données analytiques.

La collecte de ces données au sein des différents laboratoires du réseau, repose d'abord sur une harmonisation et une standardisation des procédures utilisées pour le prélèvement des échantillons chez les agriculteurs, leur description et la détermination des données analytiques et signalétiques. La qualité des résultats des analyses, et par conséquent, des conseils et recommandations qui sont fournis, est assurée par l'organisation d'essais interlaboratoires. La Cellule d'appui de REQUASUD est en charge de la validation des données. Trois étapes de validation des données sont mises en place pour garantir la fiabilité des données transférées par les laboratoires du réseau.

Cette base de données est exploitée en interne au sein des groupes de travail (conseil de fumure, fourrages) afin d'améliorer les outils développés dans le cadre de l'harmonisation des conseils pour les laboratoires de proximités (REQUAFERTI) et également pour la rédaction de brochures, d'articles, de synthèses, etc. Des demandes extérieures sont régulièrement satisfaites dans le cadre de collaborations, de projets de recherche (CRA-W, universités), de travaux d'étudiants mais également par des firmes privées. En 2015, un outil de validation des données en ligne, appelé REQUAVALID, a été développé permettant l'introduction des données directement par les laboratoires. Il a été développé afin de permettre la **consultation en ligne** de la base de données centralisée. Cet outil offre la possibilité d'obtenir des informations de base (moyenne, écart-type) sous forme de tableau et de graphique, à l'échelle d'une région ou d'une localité, sur une ou plusieurs années, pour différentes matrices :

- Composition chimique et minérale, valeur alimentaire, qualité des fourrages
- Qualité des engrais de ferme
- Caractérisation des céréales en grains
- Qualité d'un sol d'une région
- ...

L'outil est accessible en mode **public** ([www.requaconsult.requasud.be](http://www.requaconsult.requasud.be)) pour toute personne souhaitant une information rapide sur un type de produit particulier.

La base de données est continuellement améliorée en collaboration avec les responsables techniques des différentes chaînes d'analyses par: la révision



des canevas d'encodage des données, la mise en place d'un programme de validation et de calcul des limites de détection des valeurs aberrantes des données et de traçabilité, la consolidation des données via le calcul de nouvelles limites de validation, etc. Un travail d'harmonisation des différentes tables et codes de l'ensemble des signalétiques des chaînes d'analyse en lien avec ceux utilisés dans les conseils est en cours et doit se poursuivre.

La Wallonie dispose actuellement d'une base de données relativement bien étoffée : en ce qui concerne les fourrages, +/- 191.000 échantillons sont référencés pour les valeurs alimentaires et +/- 80.000 échantillons pour les analyses minérales.

En parallèle à la Base de données centralisée, le réseau REQUASUD a développé une expertise en analyse par spectrométrie proche infrarouge. Les bases de données « SPIR fourrages » développées au CRA-W et utilisées dans le réseau REQUASUD, quel que soit leur type, contiennent

des milliers de spectres d'échantillons analysés par méthodes chimiques. Ceux-ci ont été acquis au cours des 30 dernières années et représentent dès lors une large variabilité. La plupart des paramètres permettant d'estimer la valeur nutritive d'un fourrage pour l'agriculteur, peuvent être dosés de manière précise par spectrométrie dans le proche infrarouge.



## LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES

### DÉFINITION ET UNITÉS DANS LES SYSTÈMES UTILISÉS EN WALLONIE

La valeur alimentaire d'un fourrage se base sur 2 paramètres : la teneur en nutriments (**énergie, protéine, minéraux**) et l'**ingestibilité**.

La **valeur énergétique** équivaut à la **quantité d'énergie** nette contenue dans 1 kg sec de fourrage. L'énergie nette correspond à la quantité d'énergie dont l'animal a besoin pour couvrir ses besoins d'entretien et de production. Au laboratoire, cette valeur découle de l'énergie brute (EB) dont on retire différentes pertes (figure 1).

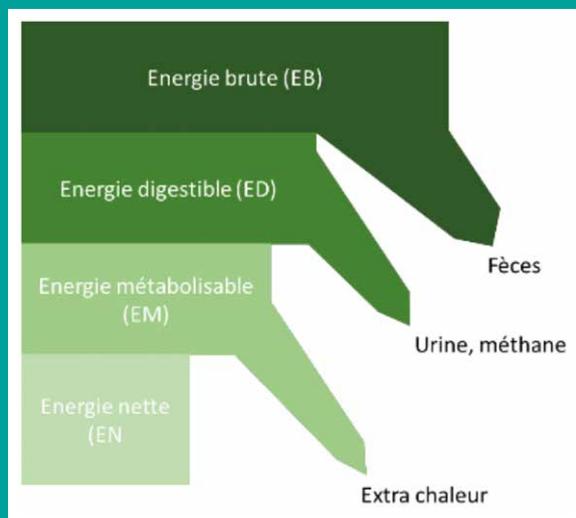


Figure 1 : valeur énergétique d'un fourrage

Pour les ruminants, la **valeur protéique** est exprimée en **protéines digestibles dans l'intestin**. Cette valeur tient compte de l'importante transformation des protéines par les micro-organismes présents dans le rumen. Un autre paramètre est la **balance azotée** dans le rumen qui reflète l'équilibre entre les protéines et l'énergie disponibles pour les micro-organismes du rumen.

L'**ingestibilité** d'un fourrage équivaut à la **quantité de fourrage** qui peut être ingéré quand il est distribué à volonté, en plat unique.

## LES UNITÉS UTILISÉES POUR QUALIFIER LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES.

En Wallonie, 2 systèmes d'unités coexistent pour exprimer la valeur alimentaire des fourrages pour les ruminants: le système français (INRA) et le système hollandais (CVB). Le tableau 1 reprend les différentes unités rencontrées dans ces systèmes. Les laboratoires de proximité peuvent exprimer la valeur alimentaire des fourrages dans les 2 systèmes. Cette particularité est liée au type de bétail auquel les fourrages sont destinés. La caractérisation des fourrages selon les normes hollandaises permet d'établir les rations pour les bovins de type Blanc Bleu belge, animaux pour lesquels les besoins sont exprimés dans ce système. Pour les races françaises comme la Limousine, la Blonde d'Aquitaine, la Charolaise, la Salers, c'est plutôt le système français qui sera utilisé. Le cas des vaches laitières est hybride. Les besoins de ces animaux sont définis dans les 2 systèmes si bien que l'un ou l'autre peut être mobilisé pour établir les rations.

TABLEAU 1 : LES UNITÉS UTILISÉES POUR QUALIFIER LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES.

		Système français	Système hollandais
Valeur énergétique	Unité fourragère	UFL, UFV	VEM, VEVI
Valeur protéique	Protéines digestibles dans l'intestin	PDI	DVE
	Balance azotée dans le rumen	BPR <i>depuis 2018</i>	OEB
Ingestibilité	Unité d'encombrement	UEM, UEB, UEL	/
	Valeur de structure	/	VS

Dans les 2 systèmes, l'énergie est exprimée en **unité fourragère**, déclinée en **UFL** ou **VEM** pour le lait et en **UFV** ou **VEVI** pour la production de viande. Dans les 2 cas, l'unité fourragère est basée sur la valeur énergétique (kcal/kg MS) de 1 kg d'orge de référence. Tous les aliments sont donc évalués par rapport à cette référence.

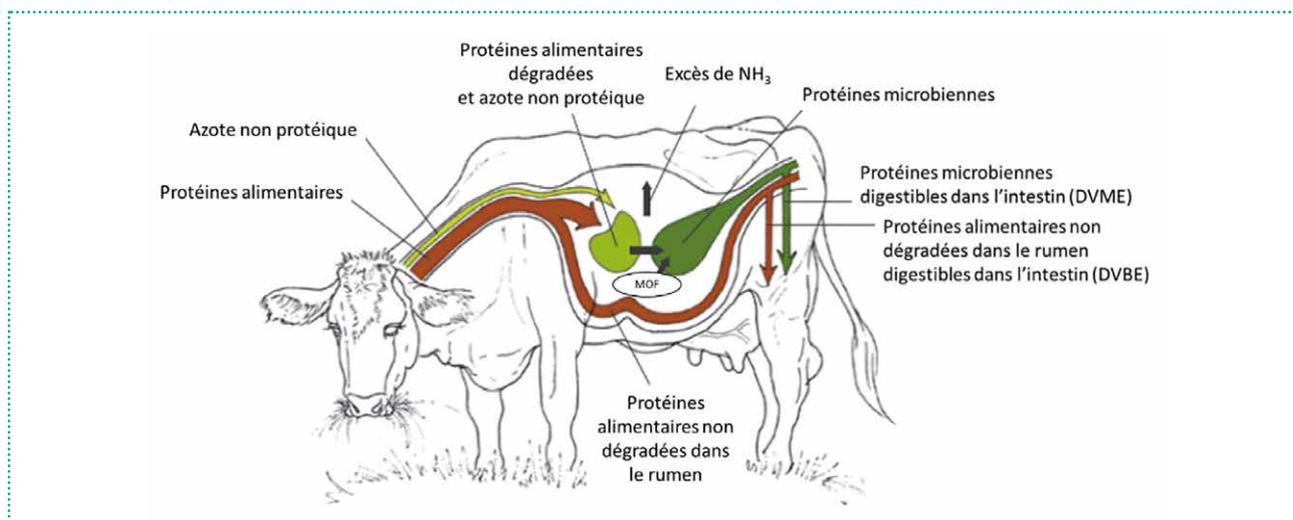
Dans le système français INRA 2007, les **protéines digestibles dans l'intestin (PDI)** d'un fourrage se déclinaient en **PDIA** (PDI d'origine alimentaire, non dégradée dans le rumen), **PDIN** (PDI produites sur base de l'azote disponible pour la croissance des micro-organismes du rumen) et **PDIE** (PDI produites sur base de l'énergie disponible pour la croissance des micro-organismes du rumen ou croissance microbienne). La valeur la plus faible entre **PDIN** et **PDIE** fixait la valeur **PDI** du fourrage. Le système français a été révisé en 2018, il comprend maintenant une valeur PDI unique

qui est la somme des **PDIA** et **PDIM** (PDI d'origine microbienne) et une valeur **BPR** (balance protéique dans le rumen) qui traduit la différence entre l'azote issu de la dégradation des protéines alimentaires dans le rumen et l'énergie disponible dans le rumen (énergie issue de la matière organique fermentescible dans le rumen (MOF)) pour la synthèse des protéines microbiennes.

Dans le système hollandais CVB 1991, les **protéines digestibles dans l'intestin (DVE)** sont égales à la somme des protéines d'origine alimentaire non dégradables dans le rumen (**DVBE**) et des protéines digestibles dans l'intestin issues de la croissance microbienne dans le rumen (**DVME**) dont on retranche des pertes fécales (**DVMFE**). La valeur de **balance azotée dans le rumen (OEB)** se calcule comme le BPR du système français INRA 2018, à savoir la différence entre les protéines microbiennes permises par l'azote disponible dans

le rumen (MREN) et celles permises par l'énergie disponible dans le rumen (MREE). Le système hollandais a également subi une révision en 2007, si les formules de calculs utilisées pour estimer les valeurs **DVE** et **OEB** sont globalement inchangées, les principales adaptations se situent au niveau de l'estimation des **DVME**. Dans le système CVB 1991, les DVME étaient proportionnelles à la MOF, à savoir que 150 g de protéines microbiennes pouvaient être produites à partir de 1 kg de MOF. Le système actualisé postule que la croissance microbienne dépend du type de fourrage distribué aux animaux, ce qui implique de connaître les paramètres liés à la dégradation des nutriments des fourrages dans le rumen (taux de dégradation et vitesse de dégradation).

#### DIGESTION DES PROTÉINES CHEZ LE RUMINANT (ADAPTÉ DE MELKVEEVOEDING, ILVO, 2011).



Cette adaptation du système d'évaluation de la valeur protéiques induit des changements en termes de valeur DVE et OEB de certains types de fourrages (tableau 2).

**TABEAU 2 : IMPACT DE LA RÉVISION DU SYSTÈME SUR LES VALEURS DE PROTÉINES DIGESTIBLES DANS L'INTESTIN (DVE) ET DE BALANCE AZOTÉE DANS LE RUMEN (OEB) DES PRINCIPAUX FOURRAGES (TABLE CVB 2019).**

	DVE 1991	DVE 2007	différence DVE (2007 - 1991)	OEB 1991	OEB 2007	différence OEB (2007 - 1991)
<b>Ensilage de maïs</b>						
30 - 34 % MS	50	51	+1	-37	-38	-1
34 - 38 % MS	51	53	+2	-40	-43	-2
38 - 42 % MS	52	55	+3	-42	-46	-3
> 42 % MS	53	57	+4	-44	-49	-5
<b>Herbe fraîche (16,5 % MS)</b>						
Coupe avant le 21 juin	110	98	-12	43	61	+18
Coupe entre le 21 juin et le 21 août	104	92	-12	34	50	+16
Coupe après le 21 août	97	83	-14	2	19	+17
<b>Ensilage herbe (45 % MS)</b>						
MPT 18,5 % MS	89	66	-23	27	54	+27
MPT 15,3 % MS	81	59	-22	3	31	+28
<b>Foin herbe</b>						
MPT 10 %	53	37	-16	-20	4	+24
MPT 13 %	70	56	-14	-14	8	+22
MPT 17 %	84	73	-11	8	31	+23



Pour les ensilages de maïs, les différences sont globalement minimales. Les fourrages les plus impactés par la révision du système CVB sont ceux à base d'herbe qui voient la valeur DVE diminuée et la valeur OEB considérablement augmentée, ce qui reflète une meilleure disponibilité de l'azote pour la synthèse microbienne dans le rumen.

L'**ingestibilité** d'un fourrage se traduit dans le système français INRA par une **valeur d'encombrement** exprimée en **unité d'encombrement (UE)**. La relation entre l'ingestibilité et la valeur d'encombrement d'un fourrage est inverse, plus un fourrage est encombrant, moins la quantité ingérée par l'animal sera élevée. Comme le format des ruminants varie en fonction de son espèce, le système français calcule des UE par catégorie animale. On parle ainsi d'UEM pour les moutons, UEB pour les bovins et UEL pour les vaches laitières. Pour chaque fourrage, il est possible de calculer les UE soit à partir de mesure réalisée sur les animaux (mesure in vivo), soit à partir des caractéristiques chimiques des fourrages (INRA 2018).

Dans le système hollandais CVB, la **valeur d'encombrement** s'exprime au travers d'une **valeur de structure (VS)**. La structure de la ration est essentielle pour un bon fonctionnement du rumen. Un aliment fibreux stimule les contractions du rumen, la mastication, la production de salive

qui grâce à son pouvoir tampon permet le maintien d'un pH optimum au niveau du rumen (pH optimal se situe autour de 6.4), une bonne digestibilité des fibres et une synthèse microbienne optimale. Un défaut de structure de la ration peut dès lors se traduire par une diminution de la digestibilité de la ration, des troubles de la santé comme l'acidose ou les boiteries, une diminution de l'ingestion et de la production (lait, croissance, gain de poids). La valeur de structure des fourrages peut être calculée à partir de sa teneur en fibres, de la taille des particules (cas du maïs ensilage). Elle s'exprime par kg de matière sèche.

Normes de besoin : on admet que le besoin minimum en structure est égal à 1 pour une vache standard (c'est-à-dire qui produit 25 kg de lait, en 1ère, 2ème ou 3ème lactation et qui reçoit des concentrés en 2 fois). Les valeurs de structure des aliments simples et des matières premières qui entrent dans la composition des concentrés, sont des valeurs dites « sûres » ; elles figurent dans les tables d'alimentation. Celles des fourrages peuvent être calculées à partir de la teneur en cellulose brute ou des teneurs en NDF (tableau 3)

TABLEAU 3 : VALEUR DE STRUCTURE (VS, PAR KG DE MS) DES PRINCIPAUX ALIMENTS COMPOSANT LES RATIONS DES VACHES LAITIÈRES (MELKVEEVOEDING, ILVO, 2011).

<b>Ensilage d'herbe</b>	$VS = -0.20 + 0.0125 \times CEL1$	$VS = +1.05 + 0.0060 \times NDF^1$
<b>Foin</b>	$VS = (-0.20 + 0.0125 \times CEL) + 6\%$	$VS = +1.05 + 0.0060 \times NDF$
<b>Ensilage de maïs, hachage 6 mm</b>	$VS = -0.10 + 0.0090 \times CEL$	$VS = -0.57 + 0.0060 \times NDF$
	Correction pour le hachage : + (-) 2 % par +(-) 1mm de longueur de particules	
<b>Paille</b>	$VS = 4.3$	
<b>Herbe, 20 % de cellulose</b>	$VS = 2.0$	
<b>Herbe, 24 % de cellulose</b>	$VS = 2.4$	

<sup>1</sup>CEL et NDF en g/kg MS

Application :

Le système permet de calculer, à l'aide de l'équation suivante, la part minimum de fourrages grossiers (FG), indispensable dans la ration afin d'assurer un bon fonctionnement du rumen:

$$[(\%FG/100) \times VSFG] + [(\%Conc/100) \times VSConc] + [(\%S/100) \times VSS] = 1$$

où:

%FG = % de fourrages grossiers

VSFG = Valeur de structure des fourrages grossiers

%Conc = % de concentrés

VSFG = Valeur de structure des concentrés

%S = % de suppléments

## POURQUOI UNE RÉVISION DES SYSTÈMES D'ESTIMATION DE LA VALEUR ALIMENTAIRE ?

Dans le cadre du développement de l'alimentation de précision, la maximisation de la production n'est plus le premier objectif recherché. L'efficacité d'utilisation des aliments, en termes de santé animale, de respect de l'environnement, de rentabilité sont tout aussi importants. Les connaissances relatives à la nutrition des ruminants ont considérablement évolué ces dernières décennies. Les recherches menées en fermes expérimentales ont généré des nouvelles connaissances tant sur l'utilisation digestive des rations que sur leur impact environnemental. Les principales avancées concernent l'intégration dans

les modèles d'estimations de la valeur alimentaire et des rations des interactions digestives, des flux de nutriments. La ration distribuée à l'animal n'est plus la simple somme des différents ingrédients qui la composent. L'utilisation de nouveaux paramètres tels que le BPR du système français ou l'OEB 2 heures après l'ingestion dans le système hollandais permettent une meilleure efficacité d'utilisation des rations et dès lors de couvrir plus précisément les besoins des animaux, de limiter les rejets (azote, méthane, ...) dans l'environnement. Les systèmes actualisés tiennent compte de cette évolution.

## MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES

Pour déterminer la valeur alimentaire d'un fourrage, plusieurs méthodes de références standardisées sont mobilisées. Elles permettent :

1) La mesure *in vivo* de la digestibilité de la matière organique et de l'ingestibilité.

Cette mesure est réalisée de façon standardisée sur des moutons (mâles, castrés), logés dans des stalles individuelles, permettant la mesure des quantités ingérées et une récolte totale des matières fécales. Ces moutons recevant le fourrage en plat unique sont soit nourris à volonté (niveau ad libitum pour le système français), soit l'entretien (niveau couvrant les besoins d'entretien pour le système hollandais).

2) La mesure *in situ* de la dégradabilité ruminale des constituants des fourrages comme par exemple les protéines, l'amidon, les parois végétales et de leur digestibilité dans l'intestin. Pour la dégradabilité ruminale.

Cette mesure est réalisée par la technique in sacco où des petits sachets en nylon contenant le fourrage à étudier sont incubés en présence de jus de rumen. Les sachets sont retirés selon un pas de temps défini (2, 4, 8, 16, 24, 48 voire 72 h pour les aliments qui fermentent lentement) et peser pour déterminer la disparition de la matière dans le temps. La dégradabilité théorique et la stabilité des constituants dans le rumen peuvent alors être calculés à partir des cinétiques de dégradabilité. Pour les protéines, les paramètres ainsi obtenus sont le DT-N dans système français, le BRE dans le système hollandais. La digestibilité intestinale des constituants des fourrages non dégradés dans le rumen est obtenue par la technique des sachets nylon mobiles dans l'intestins. Ces techniques nécessitent la présence d'animaux

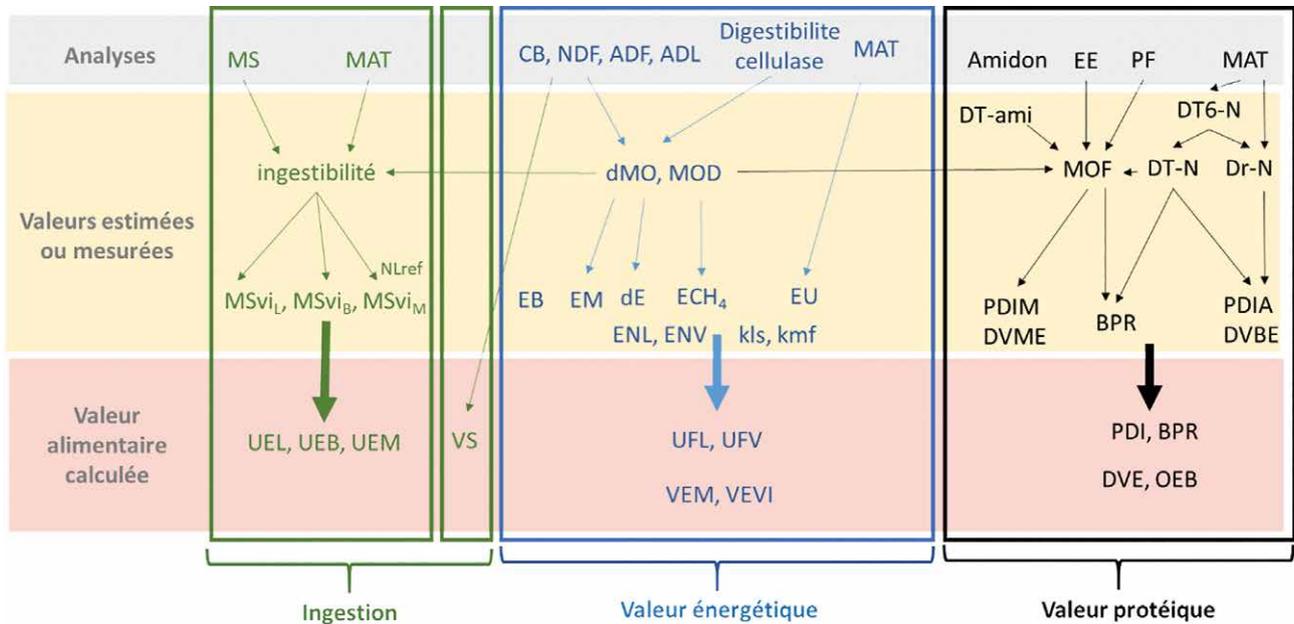
munis de canules permettant l'accès à leur rumen ou à leur intestin. Elles sont de plus en plus remises en causes par la société, des méthodes alternatives (enzymatique) sont donc développées pour les remplacer.

Ces méthodes standardisées permettent d'établir des valeurs de références mais sont impossibles à utiliser en routine par les laboratoires. Des transferts des résultats obtenus par ces méthodes de références vers des méthodes de laboratoires sont indispensables. C'est ainsi que des modèles reliant les paramètres de digestibilité de la matière organique *in vivo* ou de dégradabilité de l'azote des fourrages à des paramètres chimiques et des méthodes enzymatiques de caractérisation du fourrage ont été développés. Ces modèles permettent d'estimer les paramètres *in vivo* indispensables au calcul de la valeur alimentaire du fourrage (INRA 2007 et INRA 2018, CVB 1991 et CVB 2007).



## DÉMARCHE APPLIQUÉE POUR CALCULER LA VALEUR ALIMENTAIRE D'UN FOURRAGE

Le schéma ci-dessous reprend la marche à suivre pour évaluer la valeur alimentaire d'un fourrage à partir des analyses de laboratoire.



La première étape est de procéder à l'analyse en laboratoire pour déterminer :

- La **matière sèche (MS)** permet d'établir des rations en relation avec la **capacité d'ingestion** des animaux. Rappporter les résultats d'analyse par rapport à la MS permet de comparer différents aliments entre eux. Les valeurs cibles de MS varient en fonction du type de fourrages (Foin > 80 % - Ensilage de maïs > 30 % - Ensilage d'herbe préfanée > 40 %).
- Les **matières azotées totales (MAT)** interviennent dans l'estimation des **protéines digestibles dans l'intestin (PDI** dans le système français ou **DVE** dans le système hollandais) et du **bilan des protéines dégradables au niveau du rumen (BPR** dans le système français ou **OEB** dans le système hollandais). Cette dernière est positive si la concentration en protéines dégradables dans le rumen est en excès par rapport à l'énergie disponible et négative si la concentration en protéines dégradables dans le rumen est en déficit par rapport à l'énergie disponible.

- La **digestibilité cellulase** est une expression de la digestibilité du fourrage et donc de sa valeur énergétique. En effet l'énergie digestible et la digestibilité de la matière organique (dMO) sont étroitement corrélées pour un substrat donné. Il existe un grand nombre de méthodes pour estimer la dMO, les plus facilement standardisables et applicables en routine sont les méthodes enzymatiques utilisant la pepsine et la cellulase. De façon générale, plus la digestibilité de la matière organique d'un fourrage est élevée, plus sa valeur énergétique sera élevée. De même, l'ingestibilité et la digestibilité sont positivement corrélées.
- Les **fibres** contribuent à la valeur énergétique et à la valeur de structure d'un fourrage. Sur le bulletin d'analyse, les teneurs en fibres s'expriment généralement par la **cellulose brute (CB)**. Une caractérisation plus fine des **parois cellulaires** permet la quantification de 3 fractions distinctes : les fibres insolubles après un traitement à pH neutre, comprenant l'hémicellulose, la cellulose et la lignine (**NDF**

pour Neutral Detergent Fiber) ; les fibres insolubles après un traitement à pH acide, comprenant la cellulose et la lignine (**ADF** pour Acid Detergent Fiber) ; les fibres insolubles après une attaque par de l'acide sulfurique correspondant à la lignine (**ADL** pour Acid Detergent Lignin). Les hémicelluloses sont des fibres moyennement digestibles, elles sont obtenues par différence entre le NDF et l'ADF. La digestibilité de la cellulose (ADF-ADL) est plus lente tandis que la lignine est indigestible. Plus la teneur en fibres d'un fourrage est élevée, moins il sera digestible, moins sa valeur énergétique sera élevée. Plus le fourrage est fibreux, plus sa valeur de structure est élevée et moins il sera digestible. A l'inverse, trop peu de structure entraînera un mauvais fonctionnement du rumen et de mauvaises performances des animaux.

- e) Les **hydrates de carbone de réserve** sont repris sous les termes **sucres solubles** et **amidon**. Les sucres sont la source d'énergie la plus facilement utilisable par l'animal. L'amidon est le polysaccharide de réserve le plus répandu. On peut estimer que sa digestibilité est totale. Par contre, sa vitesse de dégradabilité varie en fonction de son origine. On distingue donc des amidons rapidement dégradables comme ceux des céréales de type orge, froment, ... et des amidons lentement dégradables comme ceux des maïs, sorgho, ....
- f) La teneur en **cendres totales (CT)** intervient également dans l'estimation de la valeur énergétique des fourrages. Une teneur trop élevée (CT > 5 % pour les ensilages de maïs ; CT > 12 % pour les ensilages d'herbe) indique la présence de terre et occasionne une diminution de la valeur énergétique.
- g) Dans le cas des fourrages ensilés, les produits de fermentations des ensilages peuvent être déterminés. Ils sont des indicateurs permettant d'évaluer la qualité de conservation des ensilages. Les plus courants sont le **degré d'acidité ou pH** et **l'ammoniac**. Le pH est le

moyen le plus simple pour apprécier la qualité de conservation d'un ensilage non préfané, son évolution étant en effet essentiellement le résultat de l'action des bactéries lactiques. Le pH optimum d'un ensilage dépend de la teneur en matière sèche du fourrage: plus celle-ci est faible, plus le pH doit être bas pour obtenir un ensilage de qualité. Le pH ne permet pas de juger de la qualité de conservation d'un ensilage préfané. **L'ammoniac** exprimé par le rapport azote ammoniacal/azote total est un indicateur de l'état de dégradation des protéines de l'ensilage. L'ammoniac est toujours présent dans les ensilages de fourrages, à raison d'au moins 3,5% de l'azote total. Une proportion supérieure à 10 % indique un développement de la flore butyrique et donc le risque d'une plus forte dégradation des protéines. Enfin les teneurs en **acides organiques** (acides lactique, acétique, butyrique...) sont également des indicateurs de réussite d'un ensilage. Ils donnent une appréciation du bon déroulement de la fermentation. D'une manière générale, un bon ensilage contient entre 1,2% et 1,5% de la matière fraîche d'acide lactique ; de l'ordre de 0,5 à 1 % de la matière fraîche d'acide acétique et pas d'acide butyrique dont la présence est un indicateur d'une mauvaise conservation.

La deuxième étape consiste à introduire les paramètres de laboratoires dans des relations permettant le calcul de :

- a) L'ingestibilité dont la **matière sèche volontairement ingérée (MSVI)** calculée à partir de la dMO, de la MS, de la MAT des fourrages.
- b) La **valeur de structure (VS)** qui est étroitement liées à la caractérisation des fibres du fourrage : CB, NDF.
- c) La **digestibilité de la matière organique digestible (dMO)** et la **matière organique digestible (MOD)** reposent sur la digestibilité cellulaire, elle-même à la base de l'estimation de la valeur énergétique d'un aliment. La

**digestibilité cellulase** est le paramètre principal de l'estimation de la **dMO** et de la **MOD**, eux-mêmes à la base de l'estimation de la **valeur énergétique (UFL, UFV, VEM, VEVI)** d'un fourrage.

- d) La **matière organique fermentescible (MOF)** est à la base de l'estimation de la synthèse des protéines d'origine microbienne et intervient dans la détermination des valeurs **PDIM**, et **PBR** pour le système français, des valeurs **DVE** et **OEB** pour le système hollandais. La **MOF** est obtenue retranchant de la **MOD** les différentes fractions digérées dans l'intestin et les **produits de fermentations (PF)** pour les ensilages.
- e) Les matières azotées totales sont le paramètre principal de l'estimation de la **dégradabilité de l'azote (DT-N)** dans le système français) et la **stabilité des protéines dans le rumen (BRE)** dans le système hollandais) interviennent dans le calcul des **protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire (PDIA)** dans le système français et **DVBE** dans le système hollandais).

Ces valeurs estimées découlent de relations spécifiquement établies pour chaque type de fourrages (méthode de conservation: vert, ensilé, séché) et familles botaniques, stade de développement des plantes au moment de la récolte... Il faut dès lors être attentif à fournir au laboratoire tous les éléments qui lui permettront de choisir les modèles d'estimations les plus appropriés.

## ETAPE DU CALCUL DE LA VALEUR ALIMENTAIRE, EXEMPLE DANS LES SYSTÈMES FRANÇAIS INRA 2007 ET INRA 2018 ET DANS LE SYSTÈME HOLLANDAIS.

Soit un ensilage d'herbe préfanée dont l'analyse par SPIR est la suivante :

MS : 45,3 %

MAT : 164 g/kg MS

CT : 115 g/kg MS

CB : 282 g/kg MS

Digestibilité cellulase (DCS) : 69,3 %  
(pour le système français)

Digestibilité cellulase (DMORT) : 73,9  
(pour le système hollandais)

pH = 4

La première étape consistera à calculer la digestibilité de la matière organique in vivo. Ces paramètres sont à la base de l'estimation de la valeur énergétique des fourrages. Quel que soit le système, la digestibilité de la matière organique in vivo se calcule à partir de la digestibilité cellulase.

La deuxième étape calculera le niveau d'ingestion de référence. Cette étape est facultative pour les systèmes INRA 2007 et CVB 1991.

La troisième étape aboutira à la détermination de la valeur énergétique du fourrage, soit UFL et UFV dans les systèmes INRA 2007 et 2018 ; VEM et VEVI dans le système CVB 1991. Les paramètres calculés lors de cette étape sont l'énergie brute, l'énergie métabolisable et l'énergie nette.

La quatrième étape est la détermination de la valeur protéique pour le ruminant, soit les protéines digestibles dans l'intestin (PDI/DVE) et la balance azotée dans le rumen (BPR/OEB). Les paramètres essentiels à cette détermination sont la matière organique fermentescible (MOF) et la dégradabilité ruminale de l'azote (DT-N).

TABLEAU 4 : ÉTAPES PRINCIPALES DE LA DÉTERMINATION DE LA VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES.

	INRA 2007	INRA 2018	CVB 1991
<b>Etape 1 : calcul de la digestibilité de la matière organique in vivo (dMO, MOD)</b>			
dMO	0,72	0,72	/
MOD (g/kg MS)	/	640	654
<b>Etape 2 : calcul du niveau d'ingestion de référence (Nlref)</b>			
Nlref (% PV)	/	1,98	/
<b>Etape 3 : calcul de la valeur énergétique (EB, ED, EM, EN, UFL et UFV, VEM et VEVI)</b>			
EB (kcal/kg MS)	4064	4064	4333
dE	0,69	0,69	/
ED (kcal/kg MS)	/	2802	/
EM (kcal/kg MS)	2242	2327	2387
ENL (kcal/kg MS)	1335	1479	/
ENV (kcal/kg MS)	1319	1398	/
*UFL/VEM (/kg MS)	0,79	0,84	840
*UFV/VEVI (/kg MS)	0,72	0,79	850
<b>Etape 4 : calcul de la valeur protéique (PDI, BPR, DVE, OEB)</b>			
MOF (g/kg MS)	/	566	543
DT-N	0,76	0,77	/
dr-N	0,77	0,74	/
PDIA (g/kg MS)	33	28	/
PDIE (g/kg MS)	80	/	/
PDIN (g/kg MS)	103	/	/
PDIM (g/kg MS)	/	53	/
BPR (g/kg MS)	/	29	/
DVE (g/kg MS)	/	/	65
OEB (g/kg MS)	/	/	29

\*UFL2007 = ENL/1700 ; UFL2018 = ENL/1760 ; VEM1991 = ENL/1648

\*UFV2007 = ENV/1820 ; UFV2018 = ENV/1760 ; VEVI1991 = ENV/1648

## Références

INRA 2018, CVB 2007, CVB 2019





## INTÉRÊT DES INDICES DE NUTRITION DES CULTURES FOURRAGÈRES

Les raisonnements agronomiques sur lesquels se base la fertilisation évoluent constamment en fonction des nouvelles connaissances et requièrent plus que jamais une vision globale et multi critères afin d'établir des conseils de fertilisation adaptés à la productivité agricole mais permettant également de répondre aux enjeux sociétaux et environnementaux prioritaires pour les décennies à venir.

La fertilisation raisonnée consiste à adapter au mieux les fournitures aux besoins des plantes. Divers outils sont à notre disposition pour y répondre dont le principal est l'analyse du sol. L'analyse de la plante est un complément intéressant permettant par exemple de déterminer des indices de nutrition qui peuvent être utilisés pour gérer la fertilisation à l'échelle annuelle dans les systèmes fourragers.

### PHOSPHORE ET POTASSIUM

En conditions de croissance satisfaisante (absence de facteurs limitants), la composition des tissus végétaux présente un équilibre entre les éléments N, K et P ; l'absorption du K et du P, entre autres, doit en effet s'ajuster à la vitesse d'élaboration des nouveaux tissus végétaux, donc à la dynamique d'absorption et de métabolisme de l'azote et du carbone. En d'autres termes, les teneurs en K et P de l'herbe sont fonction de sa teneur en azote, quel que soit le niveau d'intensification et le type de prairie (sauf si la proportion de trèfle blanc dépasse 25%). Pour des niveaux de production compris entre 2 et 5 tonnes de MS/ha, les équations suivantes permettent de déterminer des teneurs non limitantes pour la croissance permise par l'azote dans les végétaux (Salette et Huché, 1991 ; Mathot *et al.*, 2009) :

$$\%K = 1,6 + 0,525 \times \%N$$

$$\%P = 0,15 + 0,065 \times \%N$$

Ces teneurs sont indépendantes du niveau de disponibilité en azote et peuvent être utilisées comme des seuils reflétant un comportement normal. Tout écart à ce comportement normal, exprimé par les indices de nutrition, reflète alors une absorption insuffisante ou excessive de l'élément considéré. Les équations suivantes permettent de déterminer ces indices sur base de l'analyse du fourrage (Salette et Huché, 1991):

$$IK = 100 \times \%K / (1,6 + 0,525 \times \%N)$$

$$IP = 100 \times \%P / (0,15 + 0,065 \times \%N)$$

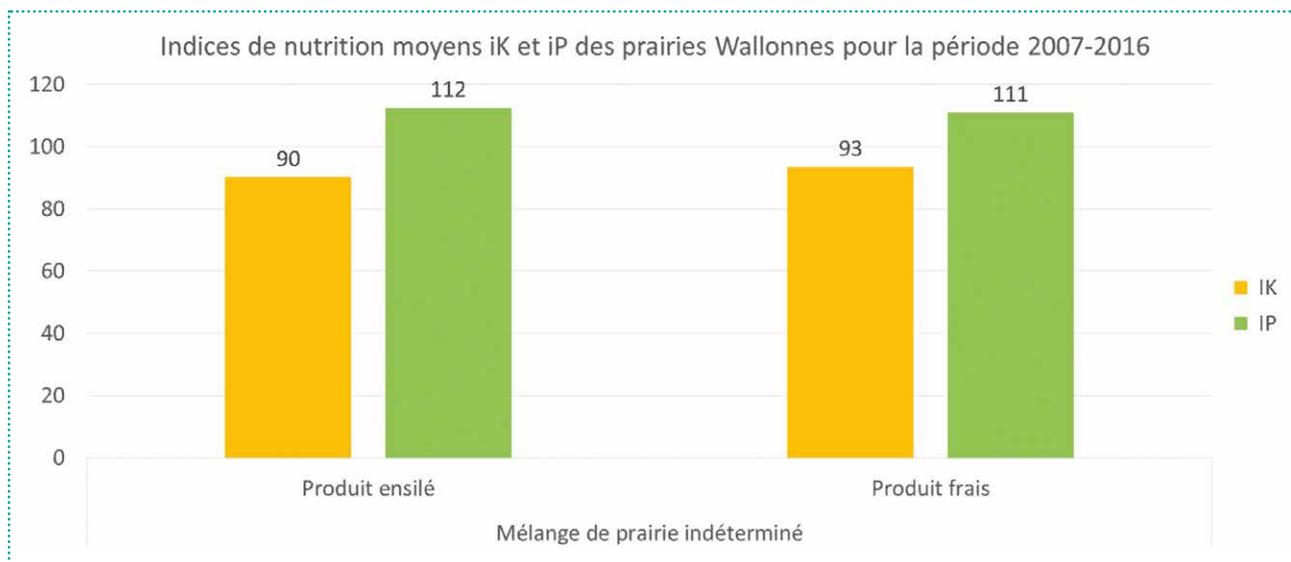


L'indice est considéré comme bon lorsqu'il est compris entre 80 et 120. Il témoigne d'une disponibilité suffisante du minéral concerné pour la plante. Un indice plus faible témoigne d'une carence et un indice supérieur d'un excès.

L'analyse des indices de nutrition en P et en K des prairies de Wallonie montre que ces indices sont globalement satisfaisants pour la période 2007-2016. L'IP moyen est respectivement de 112 (sd=22) et 111 (sd=20) et l'IK moyen de 90 (sd=20) et 93 (sd=23) pour les herbes ensilées et pour les herbes fraîches respectivement.

IP	Ensilés (%)	Frais (%)
< 80	2	7
80-100	20	21
100-120	50	40
> 120	28	32

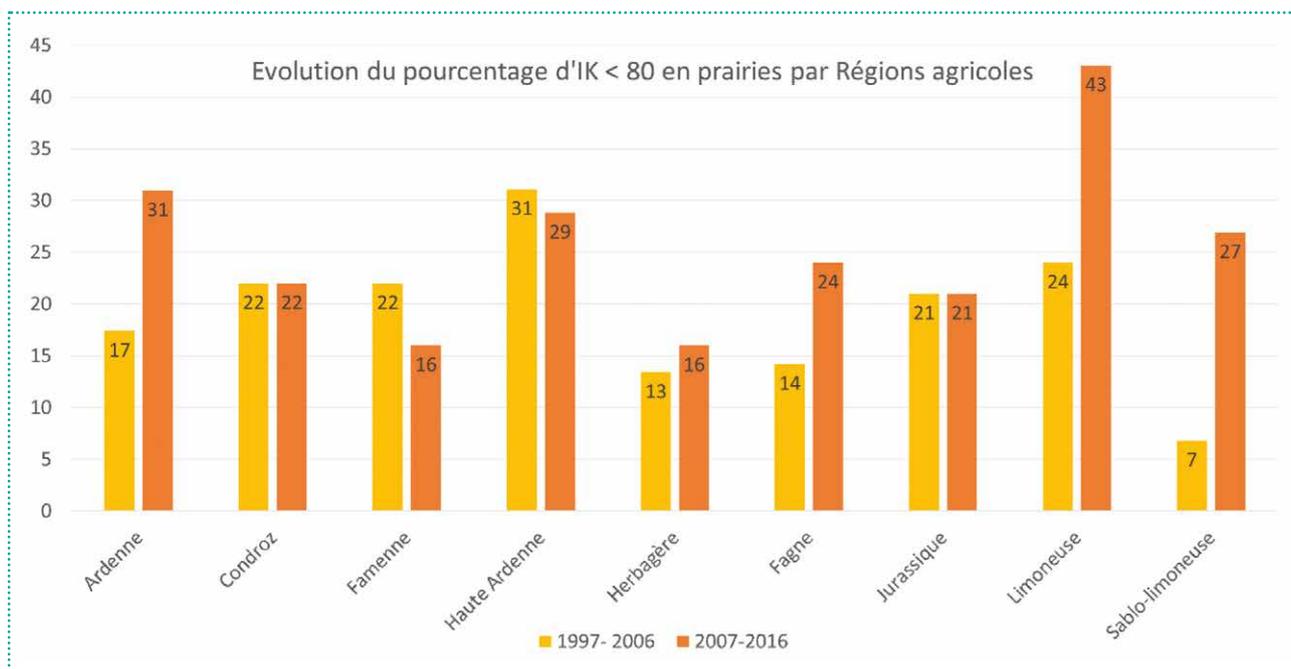
## RÉPARTITION DES INDICES DE NUTRITION POTASSIQUE (IK) ET PHOSPHORIQUE (IP) DES PRAIRIES WALLONNES EN PRODUITS ENSILÉS ET EN PRODUIT FRAIS POUR LA PÉRIODE 2007-2016.



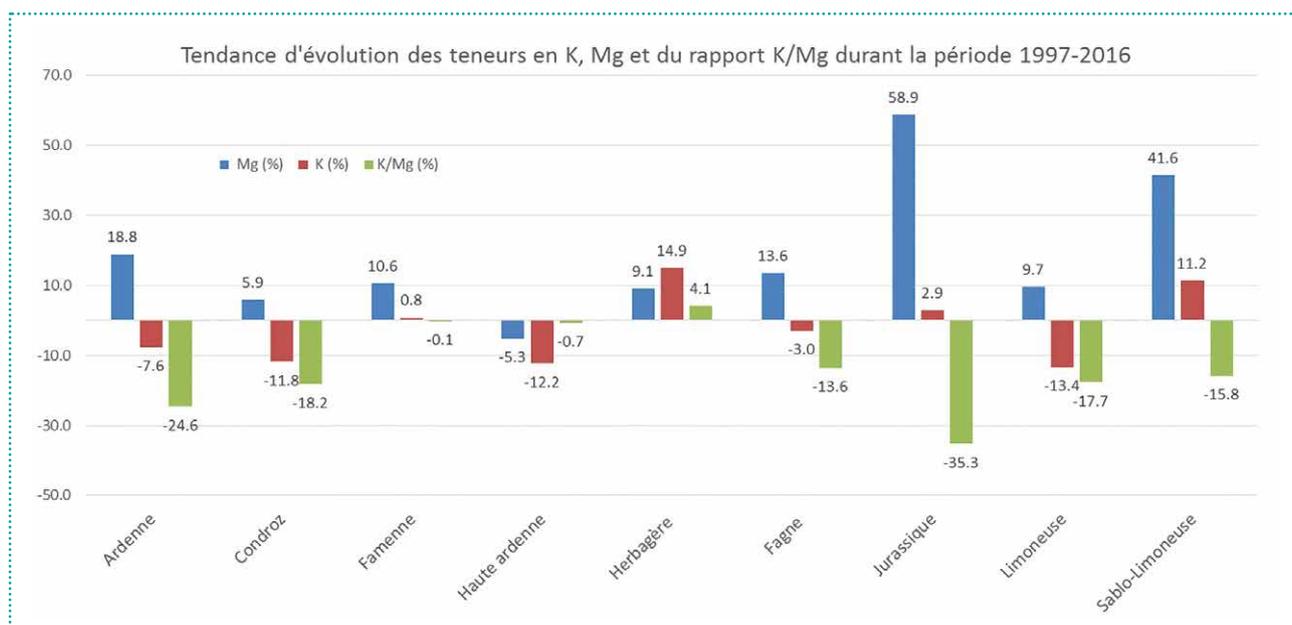
Toutefois, si la proportion d'iP insuffisants (< 80) est très faible (<5%), celle d'iK est de l'ordre de 30%. Ce qui signifie que 30 % de parcelles de prairie en Wallonie présentent une nutrition insuffisante en potassium.

IK	Ensilés (%)	Frais (%)
< 80	31	27
80-100	40	31
100-120	23	32
> 120	7	10

Ces données ont été comparées avec celles de la décennie précédente (1997-2006). Nous pouvons constater que la proportion d'indices insatisfaisants a légèrement baissé en Famenne (-6%) et en Haute-Ardenne (-2%), se maintient dans le Condroz et en Région Jurassique et augmente partout ailleurs, avec des augmentations très marquées en Ardenne (+14%), en Fagne (+10%) et dans les Régions Limoneuse (+19%) et Sablo-limoneuse (+20%).



Des corrélations avec le monitoring de l'état des sols ont été réalisées pour tenter d'expliquer ce constat, à partir de la même base de données REQUASUD. Si aucune tendance globale d'évolution des teneurs en K dans les sols ne peut être observée, il n'en est pas de même concernant le magnésium (Mg). En effet, l'augmentation des teneurs en Mg dans les sols, déjà observée par Genot *et al.* 2012, entre 1994 et 2008, se confirme sur la période 1997-2016 excepté en Haute-Ardenne (-5.3%). Cette accumulation de Mg dans les sols, principalement apporté par les amendements de type magnésien (dolomie), les engrais riches en Mg et l'ajout de Mg dans les aliments et concentrés pour le bétail dont une part importante est excrétée, induit un profond déséquilibre du rapport K/Mg du sol (Cremer *et al.* 2016). Ce déséquilibre est accentué dans certaines régions dans lesquelles les apports en K sont réduits et où les teneurs moyennes des sols en K diminuent également comme en Ardenne (-7.8%) et en région Limoneuse (-13.4%). Ceci pourrait en partie expliquer l'augmentation importante des indices déficitaires dans ces deux mêmes régions durant la période 1997-2016. Les teneurs moyennes en Mg des sols Ardennais ont en effet augmenté de 18,8% pendant que les teneurs moyennes en K diminuaient. Ceci résulte sur cette période en une tendance à la diminution du rapport K/Mg de 24.6% dans cette région. Par contre, dans la région Jurassique, la teneur en Mg a fortement augmenté (+ 58,9%), la teneur en K s'est maintenue (+2.9%) et le rapport K/Mg fortement diminué (-35.3%), sans qu'une différence du nombre d'indices déficitaires ne soit observable. Enfin en Région herbagère, la teneur moyenne en potassium a bien augmenté (+14.9%), de même que la teneur en Mg (+9.1%) et le rapport K/Mg (+4.1%), mais malgré tout le pourcentage de situations insatisfaisantes du point de vue des indices a également augmenté de 3%.



Il est donc important de relativiser ces résultats et de déterminer si ces observations sont réellement induites par le rapport K/Mg limitant la disponibilité du K ou entraînant son lessivage, ou uniquement par les teneurs en K qui deviennent trop faibles par manque d'apports.

Les scientifiques sont d'accord sur le fait que les éléments du sol doivent être présents selon des rapports équilibrés : les éléments K, Ca et Mg

doivent occuper la CEC de manière optimale et en respectant des équilibres. Sans cela, des antagonismes apparaissent entre les éléments et la nutrition des plantes en pâtit. Toutefois, les valeurs de ces rapports ne font pas encore l'objet d'un consensus. Les valeurs observées dans la littérature vont de 0,3 à 4 pour le rapport K/Mg (rapport masse élément/masse sol). Elles peuvent dépendre du type de sol mais également de la culture considérée. Les derniers travaux résumés

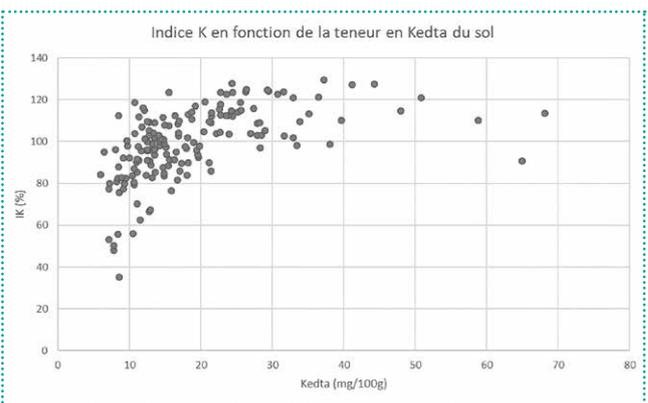
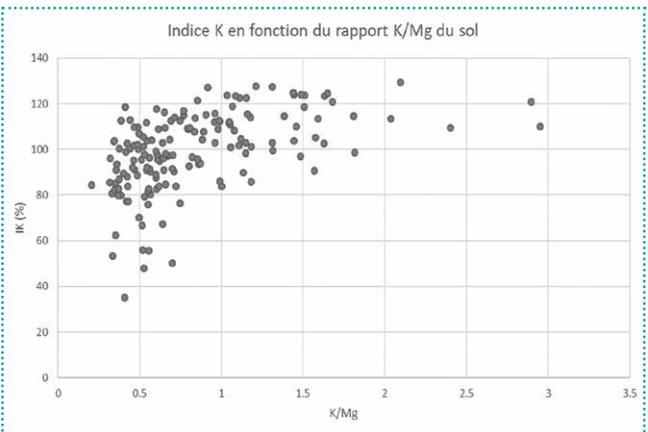
par le COMIFER (COMIFER, 2017) renseignent de manière générale un rapport K/Mg de 1,62 (rapport masse élément/masse sol), les charges négatives de la CEC occupées par le magnésium étant deux fois plus nombreuses que pour le potassium. Par ailleurs, les scientifiques sont d'accord pour dire qu'un excès de potassium entraîne une carence (induite) en magnésium. La réciproque est beaucoup moins sûre. Un sol avec une teneur trop élevée en magnésium peut toutefois présenter des risques de déstructuration dû à la diminution des forces d'attraction de l'ion  $Mg^{2+}$  par rapport à celle du  $Ca^{2+}$ .

Une étude plus locale menée entre 2018 et 2019, principalement en Ardenne, permet de disposer d'indices de nutrition de fourrages et d'analyses de sols des parcelles correspondantes réalisées à la même date (n = 166).

Les situations (n=17) dans lesquelles les IK sont insuffisants (<80) correspondent bien à des situations où le rapport K/Mg est considéré mauvais (<0.75) et à des teneurs en K faibles (Kedta <13 mg/100g). Ces situations ne représentent que 10% de l'ensemble des parcelles suivies, et l'inverse de ces observations ne se vérifie pas forcément. En effet, bon nombre de situations (n=63) présentant également des rapports K/Mg déficitaires (<0.75) ont des IK tout à fait satisfaisants compris entre 85 et 118 pour des teneurs en K de 6.5 à 23 mg/100g MS. Deux hypothèses permettraient d'expliquer ce constat. D'une part, l'apport de matières organiques, principalement sous forme de lisier ou du digestat, ou d'engrais potassiques, apporté en début de saison permettrait au fourrage d'obtenir le K nécessaire malgré la faible teneur dans le sol. Une seconde hypothèse est que l'indice soit bon de par une disponibilité limitée de l'azote ayant entraîné une croissance plus limitée de la plante et donc des besoins réduits en K. La teneur en protéine de la plante entière en fin de culture n'étant pas un bon indicateur, des indices de nutrition azotée réalisés sur les 10 premiers centimètres des plantes permettraient

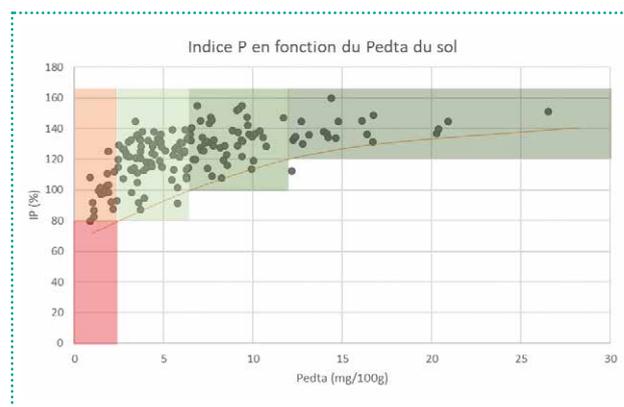
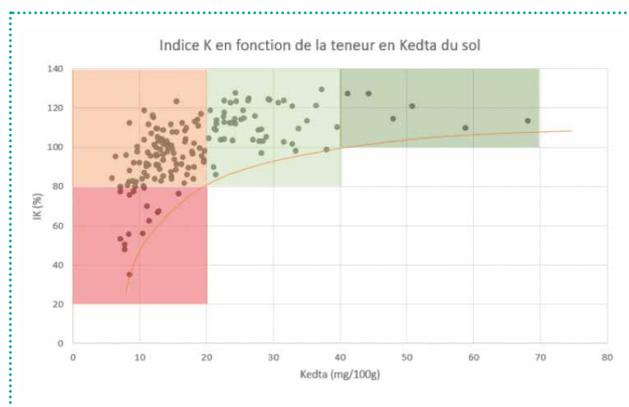
de déterminer si l'azote était suffisamment disponible pour permettre une croissance optimale ou pas (Deprey *et al.*, 2005).

#### INDICES DE NUTRITION POTASSIQUE DES 166 CULTURES FOURRAGÈRES EN FONCTION DU RAPPORT K/MG DU SOL ET EN FONCTION DE LA TENEUR EN K DU SOL DES PARCELLES SUIVIES.



Des essais en situation déficitaire (Kedta < 12mg/100g et K/Mg= 0.5) ont montré qu'un apport de K de l'ordre de 200 unités permettait d'augmenter sensiblement les rendements (+/- 15%) et de retrouver des indices satisfaisants (de 85 à 110) sur les deux premières coupes. Toutefois ces apports de K, bien que conjugués à l'absence d'apport de Mg, n'ont pas permis d'améliorer l'équilibre de ces sols qui ont continué de se dégrader pour passer d'un rapport K/Mg moyen de 0.5 à 0.4 et à une teneur moyenne en KEDTA < à 9 mg/100g de 2014 à 2018 (Cremer *et al.* 2018). Un apport plus important serait nécessaire pour rééquilibrer le sol mais cet apport n'est malheureusement pas toujours économiquement soutenable pour l'agriculteur.

Par ailleurs, l'analyse des courbes enveloppes des indices comparés aux teneurs dans les sols permettent d'établir des teneurs seuils pour les sols au-delà desquels aucun indice déficitaire n'est observé.



La courbe enveloppe du phosphore passe sous d'indice 80 sous une teneur en  $P_{EDTA}$  de 2.5 mg/100g. Une seule parcelle sous cette teneur à un indice considéré déficitaire. Il existe quelques situations sous ce seuil dont les indices sont considérés comme au moins satisfaisants. Dans ces cas, on peut supposer qu'un autre facteur limite la production et le besoin en P. Ces situations sont à surveiller. Les parcelles comprises entre les valeurs de  $P_{EDTA}$  2.5 et 6.5 mg/100g ont des indices IP de 80 à 100 au minimum et sont donc considérées comme au moins satisfaisante en P. Au-delà de 6.5 mg/100g de teneur en  $P_{EDTA}$ , l'IP dépasse 100. L'indice 120 considéré comme excédentaire est toujours atteint au-delà de 12.5 mg/100g en  $P_{EDTA}$ .

Lorsque la teneur en K est supérieure à 20, les IK sont toujours supérieurs à 80. En dessous d'une teneur en K de 20, l'IK peut être inférieur à 80 et donc le teneur en K peut être un facteur limitant. Cependant, il arrive très fréquemment que l'indice IK soit supérieur à 100, malgré une teneur en K du sol inférieure à 20. Dans ces cas, comme pour le P, on peut supposer qu'un autre facteur limite la production et donc le besoin en K. Il peut s'agir d'une fertilisation azotée faible, ou d'une carence d'un autre élément ou d'un facteur environnemental.

Si l'on compare ces observations avec les seuils en vigueur au sein du réseau de laboratoires REQUASUD, nous pouvons constater que les courbes enveloppes des indices reflètent bien les seuils adoptés en Ardenne. En effet, le seuil en P pour un sol lourd (sigle pédo E ou U) est de 2.6 et le seuil pour un sol moyen (sigle pédo P, L et A) est de 3 pour les pH KCl inférieurs à 5.5. Pour le K, le seuil acceptable de teneur en Ardenne est fixé entre 16 et 20. L'analyse des indices nous confirme qu'une valeur de 20 est en effet souhaitable pour éviter tout problème de carence.



## L'AZOTE

L'indice de nutrition azotée (INN) requiert la mesure ou l'estimation de la quantité de biomasse aérienne produite au moment du prélèvement et l'analyse de la teneur en azote réelle pour la comparer à la teneur en azote critique calculée sur base de la courbe de dilution de l'azote en fonction de la biomasse lorsque l'azote est non limitant. L'échantillonnage se fait par prélèvement d'herbe (à 4-5 cm au-dessus du sol) sur des placettes de surface connue. La teneur critique en azote (la teneur minimum qui permet d'atteindre la croissance maximale) étant déterminée par l'équation suivante:

$$N\% = 4.8 * MS^{-0.32} \text{ (Salette et Lemaire, 1984) où } MS = \text{la biomasse aérienne en t de matière sèche.}$$

Du fait de la "dilution" de l'azote au fur et à mesure que la masse d'herbe croît, la quantité d'azote nécessaire pour fabriquer 1 t de matière sèche décroît quand la biomasse augmente.

Différents auteurs ont adapté ces facteurs en fonction des espèces cultivées ou selon l'âge de la prairie. Les valeurs des coefficients adaptés sont représentées dans le tableau 5.

**TABEAU 5 : COEFFICIENTS A ET B DE L'ÉQUATION  $N\% = a * MS^b$  QUI RELIE LA TENEUR CRITIQUE EN AZOTE À LA BIOMASSE AÉRIENNE.**

Espèce cultivée	a	b	Référence
<b>Prairies de graminées</b> • Prairies > 4 ans • Ray grass	4.8 3.7 4.1	0.32 0.35 0.38	Salette et Lemaire, 1984 Bélangier et Ziadi (2008) Marino <i>et al.</i> , 2004
<b>Luzerne</b>	4.6 - 5.5	0.29 - 0.36	Lemaire <i>et al.</i> , 1985
<b>Autres cultures</b> • Froment • Maïs • Sorgho • Pois	5.3 3.4 3.9 5.1	0.44 0.37 0.39 0.32	Justes <i>et al.</i> , 1994 Plénet, 1995 Plénet & Cruz, 1997 Ney <i>et al.</i> , 1997

L'indice de nutrition N (INN) représente alors le rapport entre la teneur en azote mesurée et la teneur critique, qui caractérise l'état de nutrition de la parcelle :

$$INN = 100 * N\% / (4.8 * MS^{-0.32})$$

*(LEMAIRE et al., 1989 pour une prairie de graminées)*

Le résultat est exprimé en % : une valeur supérieure à 100 signale une consommation de luxe (l'élément est en excès par rapport au besoin de croissance) ; entre 100 et 80, la valeur exprime alors une disponibilité suffisante ; une situation inférieure à 80 étant alors considérée comme carencée, c'est à dire que la production augmente si on augmente l'apport d'azote.

L'efficacité d'utilisation de l'azote dépend principalement de conditions météorologiques et de la croissance des plantes. Afin de limiter les variations de fournitures en azote par le sol, il est recommandé de faire une mesure de l'état nutritionnel à la mi-temps de la repousse sur la partie superficielle du couvert. Lambert (2001) a démontré qu'au-delà d'une certaine date (fin mai début-juin selon les années) lorsque la biomasse dépasse +/- 2T de matière sèche par hectare, l'INN calculé selon Lemaire diminue significativement en fonction de l'accumulation de biomasse.

Les travaux de Gastal *et al.* (2001), confirmés par Deprez *et al.* (2005) ainsi que Louarn *et al.*, (2020), ont démontrés que l'indice de nutrition azotée peut également être déterminé sur base de la



teneur en N de la partie supérieure du couvert végétal (5 à 10 cm). Ceci permet dès lors de s'affranchir de l'étape fastidieuse, d'estimation de biomasse in situ.

La relation suivante, définie par Deprez sur des prairies wallonnes, peut alors être appliquée :

$$\text{INN} = 100 * ((N_{\text{sup}} * 0.22) - 0.07)$$

L'application de cette relation à 106 prairies wallonnes analysées en 2018 et 2019, renseigne un INN moyen de 66 (+/-12) ce qui représente alors une majorité de situations déficitaires (72% d'INN < 80). Toutefois, ces situations dites déficitaires ne nécessitent pas forcément d'apport d'azote complémentaire. Un INN de 60 pourrait représenter un optimum de production au-dessus duquel un apport complémentaire d'azote n'améliorerait pas significativement le rendement ou la qualité fourragère. Il faudrait également analyser dans quelles conditions les plantes avec un faible INN se trouvaient. Par exemple, la teneur en azote pourrait être faible dans des sols mal drainés (asphyxie des racines). L'INN déficitaire pourrait également refléter une carence induite par un autre élément limitant. Un suivi sur plusieurs années permettrait de prendre en compte les fluctuations climatiques et d'obtenir une vision plus juste de la pratique culturale.

De plus, il faut prêter attention à l'interprétation qui sera faite des INN en pratique. L'utilisation des indices de nutrition pour le diagnostic du niveau d'azote disponible en prairie, couvre les sols des prairies temporaires et permanentes constituées de graminées, mais elle se heurte à des surestimations constatées lorsque la proportion de légumineuses est relativement importante, p.ex. > 25% de trèfle blanc (Mathot *et al.*, 2009). Les légumineuses ont des tissus à teneur en azote très élevée et pratiquement constante tout au long du cycle de croissance. La courbe critique établie n'est alors plus valide. En outre, il convient d'éviter de faire un tel diagnostic lors d'une période de sécheresse. A l'effet direct sur la croissance d'un déficit hydrique qui surestime la valeur de l'indice (même teneur pour une plus faible biomasse), s'ajoute un effet indirect compensatoire du fait d'une réduction de l'absorption d'azote qui sous-estime l'offre en N du sol.

## LE SOUFRE

Comme l'azote, le soufre est un élément essentiel pour les plantes. Il intervient également dans la composition des acides aminés qui constituent les protéines et certaines vitamines. Comme constituant des protéines, il intervient aussi sur la qualité du fourrage. Ainsi si le rapport N/S est trop élevé, la synthèse des protéines est limitée et l'azote non protéique s'accumule.

Le sol contient du soufre sous forme organique mais ce dernier n'est pas directement assimilable par les plantes car elles le prélèvent sous forme de sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Mais sous cette forme, il est facilement lessivable. De plus, une carence en soufre réduit également l'efficacité de la fertilisation azotée avec comme conséquence un lessivage plus élevé du nitrate (Brown *et al.*, 2000). En Wallonie, des essais ont montré que le soufre pouvait être un élément limitant la production en prairies intensives (Mathot *et al.*, 2009). Attention toutefois qu'un excès de soufre est préjudiciable à la qualité du fourrage également car il peut induire des carences en

d'autres éléments essentiels comme le cuivre ou le sélénium par exemple (effet antagoniste).

Les ruminants peuvent valoriser dans une certaine mesure l'azote non protéique, par exemple de l'urée ou de l'ammoniac ajouté dans la ration, grâce aux bactéries présentes dans le rumen. Cependant il faut qu'il y ait suffisamment de soufre disponible pour assurer une synthèse protéique avec une quantité suffisante d'acides aminés soufrés sinon le risque d'apparition de problèmes métaboliques est plus élevé. L'équilibre azote/soufre généralement conseillé pour les bovins se situe autour de 12/1 et la teneur en S conseillée dans la ration est de 0.2% de la MS, sans dépasser 0.4%. L'ensilage de maïs contient en général peu de soufre. Sa teneur est comprise entre 0.05 et 0.1%. L'herbe et surtout les légumineuses (trèfles, luzerne) et les crucifères sont plus riches et donc plus exigeantes. Si la ration contient beaucoup d'ensilage de maïs, le risque est donc élevé d'avoir trop peu de soufre dans l'alimentation.

**LES OVINS ONT DES BESOINS EN SOUFRE SUPÉRIEURS CAR CET ÉLÉMENT EST UN CONSTITUANT DE LA LAINE. LE RAPPORT N/S CONSEILLÉ POUR LES OVINS EST DÈS LORS DE 10/1.**



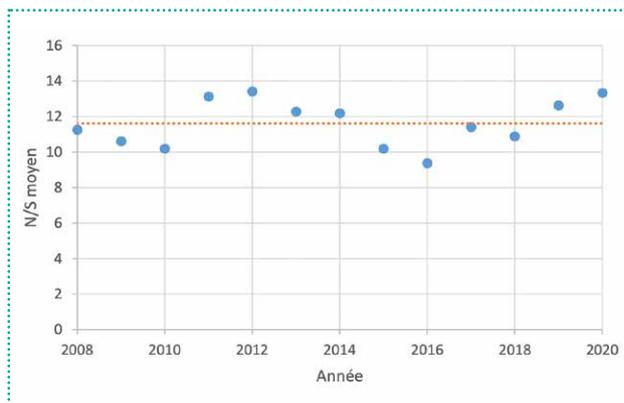
Depuis quelques dizaines d'années, on s'intéresse davantage à la fertilisation soufrée car les retombées atmosphériques ont été fortement réduites par suite des mesures prises pour réduire la pollution de l'air et les « pluies acides ». En effet, il y a désormais environ 20 fois moins de retombées que dans les années 70 (150-170 kT de SO<sub>2</sub> en 2014-2019 pour 3500 T dans les années 70). Cela correspond à des retombées moyennes de 3.3kg/ha/an actuellement alors qu'elles étaient d'environ 60kg/ha/an avant., (Données Citepa). Ces retombées sont toutefois très variables selon la localisation et difficiles à prévoir exactement. Toutefois, le bilan du soufre (entrées – sorties) en agriculture qui était généralement positif est maintenant négatif dans de nombreuses situations. C'est pourquoi, depuis quelques années, nous étudions plus particulièrement la situation du soufre dans les prairies en Wallonie. En effet, selon les cultures, les besoins peuvent varier de 10 à 80 kg/ha. Par exemple, une céréale a besoin de 10 à 40 kg/ha, un colza a besoin de 60 à 80 kg/ha et une légumineuse a besoin de 20 à 50 kg/ha.

Des échantillons d'herbe (premier cycle au printemps) ont été prélevés par les équipes des centres d'action Protect'eau et analysés par le laboratoire du Centre de Michamps. En outre, depuis 2008, le Centre de Michamps analyse le soufre contenu dans un échantillon représentatif des fourrages récoltés en Province de Luxembourg afin de déterminer la fréquence des situations de carence.

Au total, 790 échantillons d'herbe ont été analysés depuis 2008. Les échantillons de 2008 à 2017 proviennent exclusivement de la Province de Luxembourg et à partir de 2018, de l'ensemble de la Wallonie. Le rapport N/S moyen sur les 13 années de suivi est de 11,6, toutefois, les résultats varient fortement d'une année à l'autre, probablement en fonction des retombées atmosphériques variables d'une année à l'autre, des conditions météorologiques plus ou moins favorables à la

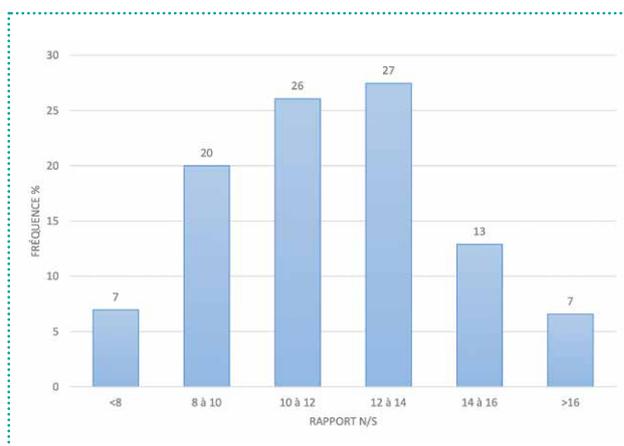
minéralisation et des besoins des plantes qui dépendent de la croissance. Le rapport N/S moyen annuel le plus bas (9,3) est observé en 2016 et le plus élevé (13,4) en 2012.

#### RAPPORT N/S MOYEN DE 2008 À 2020 (EN POINTILLÉS) ET VARIATIONS ANNUELLES DE CE RAPPORT N/S MOYEN.



Sur base du rapport N/S moyen de 11,6, on peut estimer que dans 11 % des cas, le rapport N/S était trop élevé, et donc que la teneur en S était trop faible par rapport à la teneur en azote, pour satisfaire les besoins des plantes. Par contre, si on considère que pour les animaux il faut rechercher un rapport N/S inférieur à 12, la part des herbages déficitaires en soufre atteint 47% .

#### DISTRIBUTION DE FRÉQUENCE DU RAPPORT N/S DES FOURRAGES DE PREMIÈRE COUPE POUR LA PÉRIODE 2008 À 2020.



Sur base de la teneur en S de l'herbe, on arrive également à une proportion de l'ordre de 50 % des fourrages de première coupe qui sont carencés (teneur en S < 0,2%). La proportion d'échantillon

qui dépasse la valeur de 0,4% de S, considérée comme la limite maximale, est inférieure à 1%.

### Les teneurs en soufre du sol et l'indice de nutrition soufrée des fourrages

L'analyse de terre classique ne permet pas encore d'estimer si les réserves et la fourniture par le sol permettront d'alimenter correctement la prairie. Les laboratoires du réseau REQUASUD travaillent ensemble pour établir un indicateur utilisable en routine. Cependant, la fourniture de soufre restera partiellement dépendante des retombées mais surtout des différents apports (engrais de ferme, minéraux...) et de la minéralisation du sol (Sorg = 60 à 95% du stock de S dans les sols, selon les types de sols...). La minéralisation soufrée du sol est actuellement difficile à estimer, par contre le développement de l'analyse du soufre dans les engrais organiques permettra bientôt de quantifier une partie du flux apporté.

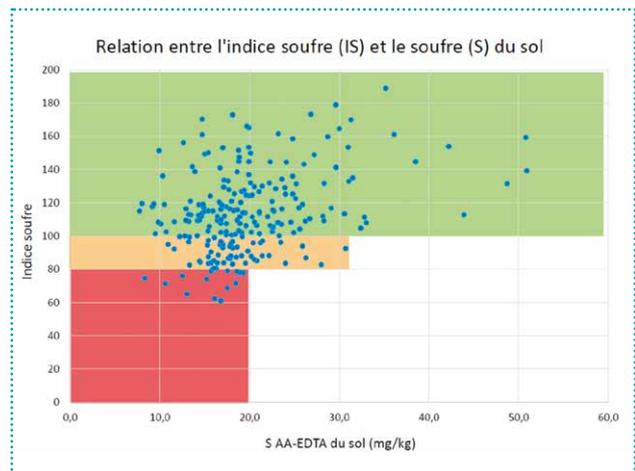
En vue d'établir un premier référentiel d'interprétation des teneurs en S du sol, 233 prairies ont été sélectionnées en Wallonie en 2018, 2019 et 2020. Des analyses de sol ont été réalisées sur ces 233 prairies pour y doser le S (méthode AA-EDTA), ainsi que des analyses de fourrages et des déterminations d'indices de nutrition soufrée (IS). Les IS permettent de caractériser le niveau de nutrition en soufre de la prairie sur base des teneurs totales en azote (N) et S de l'herbe :

$$IS = 100 * S\% / (0,662 * N\% - 0,0198)$$

avec S% et N% la teneur totale en S en N du fourrage exprimée en % de la matière sèche (Mathot et al, 2009).

Les teneurs en S observées dans les sols vont de 8 à 50 mg S/kg TS (moy = 19,9 ± 6,9) et les IS de 61 à 190 (moy = 113 ± 24,6). 28% des fourrages ont des IS déficitaires (<100) dont 21% des IS nettement déficitaires (<80). Ces carences apparaissent uniquement lorsque la teneur du sol est inférieure à 31 mg S/kg TS pour les IS<100 (90% des prairies analysées) et à 20 mg S/kg TS pour les IS < 80 (64% des sols analysés). Toutefois, les carences en S sont

très dépendantes des conditions climatiques et de minéralisation du milieu, et les IS sont également corrélés à la teneur en N et donc à sa disponibilité. Comme expliqué précédemment, si l'on se base uniquement sur la teneur en S de l'herbe, on arrive à une proportion de l'ordre de 50% des fourrages de première coupe qui sont carencés (teneur en S < 0,2%).



Que conclure ? Dans près de 50% des prairies analysées, un apport d'engrais soufré au printemps pourrait avoir un effet positif sur la qualité du fourrage et dans 10 % des cas, un effet sur la quantité également. Les risques de carence sont difficiles à prévoir et de nombreux facteurs climatiques, pédologiques et phytotechniques vont influencer ce risque. Un hiver pluvieux (lessivage important), et un printemps froid (minéralisation réduite) sont des facteurs de risque importants. Un sol filtrant, sableux, caillouteux et peu profond, une fertilisation azotée minérale importante et peu d'apports organiques sont également des facteurs favorables à l'apparition de carences. Les prairies avec beaucoup de légumineuses ont également des besoins en soufre plus élevés que les graminées seules.

Peu de données sont actuellement disponibles mais une estimation de l'ordre de 2 à 4kg/T pour les fumiers et +/- 1kg/T pour les lisiers semble tenir la route sur base des premiers résultats d'analyses. Par conséquent, étant donné la fréquence importante des situations de carence, il est recommandé d'apporter 30 à 50 unités de SO<sub>3</sub>

avec la première fraction azotée au printemps (ex: 30 m<sup>3</sup> de lisier comblent déjà +/- 30 unités de ces besoins, 20T de fumier peuvent à eux seuls combler l'entièreté des besoins selon la teneur réelle du fumier. Une analyse du soufre des engrais de ferme permet ainsi une meilleure caractérisation et une optimisation de la fertilisation soufrée. Ces apports peuvent éventuellement être adaptés selon la fréquence des apports organiques réalisés. En cas de biométhanisation du lisier, une part significative du S peut toutefois être volatilisée.

## LA BALANCE CATIONS-ANIONS (BACA)

La maîtrise de l'équilibre entre les cations et les anions de la ration est cruciale en élevage bovin et particulièrement en élevage laitier. Il intervient notamment dans la prévention de l'hypocalcémie post-partum (fièvre de lait) qui peut également entraîner d'autres problèmes secondaires tels que cétose, acétonémie, déplacement de la caillette, vêlage difficile, non délivrance, mammite ou défaut d'involution utérine.

Il existe de nombreuses équations pour évaluer l'équilibre ionique des aliments, la plus couramment utilisée étant le bilan alimentaire cations anions (BACA) :

$$\text{BACA} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{S}^{2-}),$$

Le BACA s'exprime en mEq / kg de MS de la ration totale et mesure l'acidité ou l'alcalinité d'un aliment. Le sodium [Na<sup>+</sup>] et le potassium [K<sup>+</sup>] ont un effet alcalinisant, alors que les ions chlorures [Cl<sup>-</sup>] et les ions contenant du soufre [S, sous différentes formes chimiques] ont un effet acidifiant. Selon les apports de tous les aliments, la BACA de la ration est soit positive, soit négative. Les recommandations BACA diffèrent selon la race et selon le stade physiologique de la vache laitière. De nombreux ouvrages de références existent et détaillent l'ensemble de ces besoins. Nous pouvons toutefois préciser ici que pour la vache laitière, ces besoins sont d'une BACA la plus faible possible au début de tarissement, voir une BACA négative lors de la préparation au vêlage. En pratique, les recommandations sur la valeur **BACA** de la ration des vaches taries se focalisent sur les 3 semaines précédant le terme avec une valeur souhaitée à -100 meq/ kg de MS. Un régime alimentaire anionique (BACA négative) mobilise plus facilement le calcium. La BACA idéale de la ration des vaches en lactation se situe ensuite entre 200 et 400 mEq / kg de MS.

Les analyses du chlore et du soufre dans les fourrages ont été récemment développées et harmonisées au sein des laboratoires du réseau REQUASUD. Les premières analyses réalisées ne permettent pas encore d'obtenir de références régionales sur les teneurs en ces minéraux des principales cultures fourragères wallonnes et de leur valeur BACA).



TABLEAU 6 : VALEUR BACA DES PRINCIPAUX FOURRAGES ANALYSÉS AU CENTRE DE MICHAMPS ENTRE 2017 ET 2021.

Catégorie de fourrage	Nombre de données	Moyenne (mEq/kg)	Écart-type
Céréale Immature	18	275	151
Divers	6	39	72
Fléole	20	222	37
Luzerne	7	345	87
Maïs fourrage	37	161	120
Mélange de prairie indéterminé	409	351	212
<b>Ensilage</b>			
Produit ensilé	235	377	237
Produit ensilé : Balle	53	301	146
Produit ensilé : Silo couloir	45	479	145
<b>frais/sec</b>			
Produit frais	36	246	86
Produit sec	40	221	141
Trèfle	4	715	33
Dactyle	2	691	26
Légumineuses	4	425	33
<b>Total général</b>	507	330	210



## QUELS SONT LES BESOINS DES ANIMAUX ? ET LES FOURRAGES WALLONS PEUVENT-ILS COMBLER CES BESOINS ?

### BESOINS DES ANIMAUX, QUELS PARAMÈTRES ?

Le bétail laitier et le bétail allaitant ont des besoins qui leurs sont spécifiques. De même, au sein d'un troupeau, différentes catégories d'animaux (vaches en production, veaux, jeune bétail de remplacement, bétail à l'engraissement) se côtoient, chacune ayant des exigences nutritionnelles propres.

Les recommandations alimentaires portent sur la couverture des besoins en protéines, en énergie et en minéraux pour des niveaux de productions définis. En plus de ces valeurs, des indications sur la part de fourrages dans les rations ainsi que sur les capacités d'ingestion des animaux sont également des renseignements utiles. Ainsi, pour des vaches allaitantes et des génisses de remplacement, la proportion de fourrages dans la ration peut atteindre 80 % de la MS. Pour la vache laitière, un minimum de 60 % de la MS sous forme de fourrages est généralement conseillé. Pour la production de viande, les besoins énergétique et protéiques des mâles à l'engraissement sont les plus élevés et pour cette catégorie de bétail, la part de fourrage dans la ration ne dépasse généralement pas 50 % de la MS de la ration. Les tableaux 7 et 8 reprennent les besoins et capacité d'ingestion des différentes catégories animales des troupeaux laitiers et allaitants.

TABLEAU 7 : BESOINS DU TROUPEAU LAITIER.

	Vache laitière			Vache tarie	Génisse		
	Production de lait (L4, kg/j)			/	6 mois	12 mois	20 mois
					Gain de poids (kg/j)		
	20	25	30	/	0.850	0.700	0.700
<b>Ingestion (kg MS/j)</b>	18	20	22	10-12	5.5	7.5	9.5
<b>VEM/kg MS</b>	800	873	950	550-850	640	720	830
<b>DVE/kg MS</b>	60	71	81	15-50	47	41	47
<b>Ca g/kg MS</b>	3 à 5			2.4 à 2.8	5	3.5	2.8
<b>P g/kg MS</b>	2.5 à 3.5			1.9 à 2	3.5	2.3	1.8
<b>Mg g/kg MS</b>	2 à 2.5			1.9 à 2.1	1.7	1.8	1.9
<b>Na g/kg MS</b>	1 à 1.5			0.6 à 0.7	0.6	0.5	0.5

$L4 = \text{lait standard à 4 \% de TB} (L4 = 0,337 + (0,116 \times \% TB) + (0,06 \times \% TP)) \times \text{Lait.}$

Source Melkveevoeding, 2011

TABLEAU 8 : BESOINS DU TROUPEAU ALLAITANT (TYPE BBB).

	Vache allaitante	Génisse			Engraissement	
		6 mois	12 mois	24 mois	Taurillon	Vache de réforme
Gain de poids (kg/j)	/	0.750	0.750	0.850	1.400	1.000
Ingestion (kg MS/j)	9 à 15	3.5	6	10	8 à 12	9 à 15
VEM/kg MS	744	860	815	879	1050	>950
DVE/kg MS	38	53	46	44	85	/
Ca g/kg MS	4.3 à 5.5	6.5	6.5	5.7	5.3	/
P g/kg MS	3 à 3.5	3.6	3.8	3.9	3.5	/

Rapport Ca/P = 2/1

Source Voeding van runderen, van het belgische witblauwe ras, 2013.

## LES FOURRAGES PRODUITS EN WALLONIE COUVRENT-ILS LES BESOINS DES ANIMAUX ?

Tout est à relativiser en fonction du type de fourrage et du type de bétail auquel le fourrage est destiné. Par définition, la valeur alimentaire est la contribution des aliments à la couverture des besoins de l'animal. Cette valeur alimentaire intègre donc la valeur nutritive (teneur en énergie, protéines et minéraux) et l'ingestion. Il est donc important de bien caractériser les différentes catégories de fourrages présents sur l'exploitation pour les allouer aux bonnes catégories animales.

Les ensilages de maïs sont riches en énergie et conviennent bien comme fourrages de base pour couvrir les besoins énergétiques des vaches laitières et du bétail à l'engrais, mais leurs teneurs en protéines et en minéraux sont faibles. Dans les rations, ce type de fourrages s'associe bien à des ensilages d'herbe, des fourrages à base de légumineuses et des concentrés qui apporteront le complément protéique indispensable.

TABLEAU 9 : VALEUR NUTRITIVE DES ENSILAGES DE MAÏS, BASE DE DONNÉES REQUASUD 2013-2017.

	N	Moyenne	Quartile inférieur 1	Médiane	Quartile supérieur 3
MS %	5915	34	31	33	36
VEM/kg MS	5915	937	920	938	955
VEVI/kg MS	5915	975	951	976	998
DVE g/kg MS	5915	46	45	46	48
OEB g/kg MS	5915	-28	-31	-28	-25
Ca g/kg MS	575	1.8	1.5	1.7	2.0
P g/kg MS	575	2.0	1.8	2.0	2.2

Les produits de l'herbe présentent de larges gammes de variations. Leur valeur nutritive et leur teneur en minéraux varient en effet en fonction du type de couvert implanté, de la monoculture de graminées ou de légumineuses comme la luzerne aux mélanges multi-espèces, du stade de développement des plantes au moment de la récolte, du type de conservation (herbe fraîche, ensilage, foin, tableaux ...). Les fourrages les plus riches, tant en énergie qu'en protéines seront réservés au bétail le plus exigeant (vache laitière en production ou bétail à l'engrais). Les fourrages plus fibreux conviennent bien pour le jeune bétail, la richesse en fibres assurant un bon développement du rumen. Avec des teneurs en énergie et en protéines élevées, l'herbe de pâturage est un aliment de choix pour les vaches laitières.

TABLEAU 10 : VALEUR NUTRITIVE DES ENSILAGES D'HERBE, BASE DE DONNÉES REQUASUD 2013-2017.

	N	Moyenne	Quartile inférieur 1	Médiane	Quartile supérieur 3
MS %	10235	46	35	45	56
VEM/kg MS	10235	832	794	835	877
VEVI/kg MS	10235	838	789	842	895
DVE g/kg MS	10235	62	54	61	70
OEB g/kg MS	10235	14	-7	11.0	32.2
Ca g/kg MS	5048	5.8	4.5	5.3	6.6
P g/kg MS	5048	3.4	3.0	3.4	3.8

TABLEAU 11 : VALEUR NUTRITIVE DES FOINS, BASE DE DONNÉES REQUASUD 2013-2017.

	N	Moyenne	Quartile inférieur 1	Médiane	Quartile supérieur 3
MS %	1211	83	81	84	86
VEM/kg MS	1211	813	744	812	878
VEVI/kg MS	1211	862	768	864	948
DVE g/kg MS	1211	62	47	59	75
OEB g/kg MS	1211	-36	-50	-40	-27
Ca g/kg MS	624	4.4	3.1	4.0	5.3
P g/kg MS	624	2.6	2.1	2.5	3.1

TABLEAU 12 : VALEUR NUTRITIVE DES HERBES FRAICHES, BASE DE DONNÉES REQUASUD 2013-2017.

	N	Moyenne	Quartile inférieur 1	Médiane	Quartile supérieur 3
MS %	1930	30	16	23	38
VEM/kg MS	1930	936	869	944	1006
VEVI/kg MS	1930	973	888	984	1066
DVE g/kg MS	1930	84	73	87	97
OEB g/kg MS	1930	10	-20	9	36
Ca g/kg MS	1253	5.4	4.1	5.0	6.2
P g/kg MS	1253	3.5	3.0	3.4	4.0



## LES NOUVEAUX FOURRAGES



Aléas climatiques ponctués par des périodes de canicule et de sécheresse mettent à mal les productions fourragères classiques, base de l'autonomie alimentaire des ruminants. Vers quelles nouvelles ressources fourragères faut-il se tourner afin de sécuriser les stocks ? Ces dernières années, des plantes plus tolérantes à la sécheresse sont testées sous nos climats tant au niveau de leur potentiel de rendement que de leur valeur nutritive pour les ruminants. Silphie perfoliée, kernza, fétuque élevée, moha, teff grass, sorgho, sudan grass, millet perlé, trèfles méditerranéens, cowpea, lablab, chicorée fourragère, plantain, autant de plantes potentiellement intéressantes pour faire face à la sécheresse. Il ne faut cependant pas se leurrer, bien qu'elles supportent mieux la chaleur et soient moins gourmandes en eau, ces fourragères ont quand même besoin d'un minimum d'eau surtout au moment du semis. Ces fourrages alternatifs peuvent être classés en 2 catégories : les pérennes et les annuels.

### FOURRAGES PÉRENNES :

La **silphie perfoliée** (*Silphium perfoliatum*) est originaire d'Amérique du Nord. Cette plante était cultivée en Europe jusque dans les années 70, elle a ensuite été remplacée par le maïs. Elle a un fort développement (jusque 3,5 m de hauteur) et présente de nombreuses fleurs jaunes qui attirent les pollinisateurs. De par son système racinaire profond, la plante tolère la sécheresse. Elle supporte également des températures hivernales et le gel. Son défaut est sa lenteur d'implantation, il ne faut pas compter la récolter la première année. De ce fait, elle peut être implantée sous couvert de

maïs. Pour la production de fourrage, elle peut être récoltée une première fois en juin avec une deuxième coupe possible en septembre. En année normale, le rendement peut atteindre 14T de MS/ha en 2 coupes. Elle peut être conservée sous forme de balles enrubannées ou en silo. Une fois implantée, la silphie peut rester en place plus de 15 ans. Des tests sont en cours en France et en Wallonie pour la détermination de sa valeur nutritive.

Le **Kernza**<sup>1</sup> (*Thinopyrum intermedium*) est une graminée pérenne (3 à 10 ans) qui peut être valorisée sous forme de grains (brasserie, meunerie) et de fourrages. La plante permet une récolte de fourrage au printemps, une récolte de grains et de paille en été, une seconde récolte de fourrage est possible en automne. Selon des essais récents, sous nos climats, les coupes de printemps et d'automne permettent la production de 3 à 4 T MS/ha. Avec 14 T MS/ha, la paille récoltée en été, représente la majeure partie de la production. Sa valeur nutritive est peu connue et dépend du stade de développement de la plante au moment de la récolte. Au stade redressement sa valeur nutritive est comparable à celle d'une herbe jeune (> 950 VEM/kg MS et 100 g DVE/kg MS) mais le rendement est relativement faible (2,6 T MS/ha). Au moment de la récolte, la valeur nutritive est similaire à celle d'une paille (495 VEM/kg MS et 15 g DVE/kg MS) (Dufrane, 2021, Réussir lait, 2021).

### FOURRAGES ANNUELS :

Les **intercultures fourragères et Cipan** sont intéressantes à de nombreux titres. Intégrées dans les rotations de cultures, elles présentent

des avantages agronomiques et environnementaux. Elles assurent une couverture du sol, piègent les nitrates, sont sources de biodiversité (Herremans *et al.* 2018, De Toffoli *et al.* 2013). Leur intérêt principal est de fournir des stocks fourrager supplémentaires, notamment lors de périodes de sécheresse. Elles peuvent être pâturées ou affouragées en vert, conservées sous forme d'ensilage. Deux types sont à distinguer selon le moment de leur semis et de leur récolte (semis d'été et récolte avant l'hiver – semis avant l'hiver et récolte de printemps). Dans tous les cas, les fourrages sont relativement jeunes au moment de la récolte et, de ce fait, la valeur nutritive des fourrages verts est bonne. Pour la conservation sous forme d'ensilage, l'inconvénient majeur est leur faible teneur en matière sèche au moment de la récolte. Un autre inconvénient est la difficulté de mise en œuvre des chantiers de récolte. Le tableau 13 reprend la valeur nutritive moyenne d'intercultures fourragères ensilées en Wallonie.

**TABLEAU 13 : COMPOSITION ET VALEUR NUTRITIVE MOYENNE D'INTERCULTURES ENSILÉES DANS DES FERMES WALLONNES (ANNÉES 2015 – 2016 – 2017) (HERREMEANS ET AL. 2018).**

	Moyenne	Ecart-type	Mode de conservation		Année de récolte		
			Silo	Ballot	2015	2016	2017
n (nombre d'échantillons)	91		30	61	19	30	42
Durée de culture (jours)	73	15	79	71	80	68	73
Durée préfanage (jours)	2,5	1,5	1,8	2,9	2,9	2,2	1,8
MS (%)	38,2	15,4	28,6	43,1	32,5	43,0	37,3
MAT (g/kg MS)	157	38	154	159	164	148	161
Cendres (g/kg MS)	128	43	138	122	150	122	122
CB (g/kg MS)	281	34	280	281	274	292	277
UFL* (/ kg MS)	0,76	0,11	0,73	0,78	0,75	0,74	0,78
PDIE* (g/kg MS)	81,2	10,8	75,8	84,1	80,9	80,2	82,0
PDIN* (g/kg MS)	102,0	24,1	98,6	104,1	105,3	96,6	104,3

\* Calculées selon INRA (2007)

Une autre caractéristique de ces mélanges est la grande variabilité des espèces présentes. Ainsi, lors d'une campagne de prélèvement en ferme, sur les 91 ensilages analysés, plus de 40 associations d'espèces étaient présentes dont, dans la plupart des cas, une graminée (avoine ou ray grass) associée à une ou plusieurs légumineuses et/ou protéagineux (Herremans *et al.* 2018).

Des **graminées annuelles des régions chaudes**<sup>2</sup> telles que le teffgrass, le moha, le millet, le sorgho ; **des légumineuses secondaires du bassin méditerranéen**, sainfoin, trèfle vésiculé, trèfle de

perse, serradelle ; des **légumineuses africaines**, lablab, cowpea... sont actuellement présentées comme des plantes prometteuses et plus tolérantes à la chaleur et à la sécheresse. Il faut cependant garder en tête que toutes les années ne sont pas chaudes et sèches et que ces plantes ont quand même besoin d'eau surtout au moment de l'implantation. Par ailleurs, les pratiques culturales, la valeur nutritive et les rendements sont encore peu documentés sous nos conditions pédo-climatiques. Il n'y a donc pas de plantes « miracle », l'association graminées-légumineuses se doit d'être réfléchi en fonction des besoins et des conditions de sol et de climat de l'exploitation (Réussir Lait, 2021).

2 - Voir dossier du réussir lait 359 de juillet-août 2021

Les **fourrages fibreux ou lignifiés** comme le miscanthus, les résidus de cultures, **pailles de céréales et de protéagineux** peuvent être des fourrages d'appoint intéressants, notamment en période de disette. La valeur nutritive des pailles de céréales ou de protéagineux, obtenues après récolte des grains secs, est faible (tableau 14) mais de par leur teneur en fibres élevées, elles assurent une bonne rumination surtout dans des rations où l'apport d'aliments concentrés est élevé. Comme fourrages d'appoints, ces fourrages sont à réserver aux jeunes ou aux vaches tarées.

TABLEAU 14 : EXEMPLE DE VALEUR NUTRITIVES DE DIFFÉRENTES PAILLES (INRA 2018).

	MS	Encombrement (/kg MS)		Energie (/kg MS)		Protéines (g/kg MS)	
		UEL	UEB	UFL	UFV	PDI	BPR
Paillé d'orge	88	1.6	1.8	0.43	0.32	48	-55
Paille d'avoine	88	1.6	1.8	0.46	0.35	50	-55
Paille de pois	88	1.55	1.7	0.51	0.41	50	-61
Paille de féverole	86	1.14	1.27	0.55	0.46	59	-41
Paille de colza	87	1.17	1.33	0.47	0.36	53	-49

PDI, protéines digestibles dans l'intestin ; BPR, balance protéique dans le rumen.

La **paille de colza**<sup>3</sup> est très riche fibres et est fortement lignifiée (80 à 120g de lignine/kg de MS). Sa valeur énergétique est inférieure à celle des pailles de céréales, elle doit être vue un comme stimulant de la rumination. Il est recommandé de la distribuer hachée en brin de 2 à 3 cm.

Les **pailles de maïs**<sup>4</sup>, peu utilisées en alimentation animales, sont constituées des cannes avec ou sans les spathes, broyées, généralement conservés en silo. La matière sèche de ce résidu et sa valeur nutritive sont très variables (17 à 54 %) et dépendent de la maturité de la plante au moment de la récolte. La teneur en fibres est inférieure à celle de la paille de blé. Un des point d'attention est sa fréquente contamination par des moisissures (problème de mycotoxines).

Les **fânes de pois**<sup>5</sup> de conserverie peuvent être une ressource intéressante, plus riches que les pailles de céréales (teneur en protéines entre 5 et 10 % et teneurs en fibres inférieures).

Elles peuvent se conserver en foin ou en enrubanné. La difficulté principale est liée à la récolte qui est parfois difficile à mener à bien en fonction des conditions de climat et de sol.

Le **miscanthus**<sup>6</sup> est une graminée tropicale pérenne. C'est une ressource fourragère très importante sous les tropiques qui peut être pâturée, distribuée en vert, voir même conservée sous forme de foin ou d'ensilage. Le produit frais présente des teneurs en protéines et en fibres très variables (MPT : 2.8 à 23 % MS ; NDF : 29.5 à 52 % MS) qui sont fonction du stade de développement de la plante au moment de son exploitation. En Wallonie, le **miscanthus** est principalement récolté pour produire de la biomasse à des fins énergétiques. Ces derniers temps, son usage comme litière ou dans les rations des ruminants en remplacement de la paille de céréales tend à se développer. La valeur nutritive de ce type de produit est actuellement peu connue, son rôle principal étant de faire ruminer les animaux.

3- [https://idele.fr/comite-national-des-coproduits/publications/detail?tx\\_atolidelecontenus\\_publicationdetail%5Baction%5D=showArticle&tx\\_atolidelecontenus\\_publicationdetail%5Bcontroller%5D=Detail&tx\\_atolidelecontenus\\_publicationdetail%5Bpublication%5D=3360&cHash=1a4c5ee6d2ba7535e1003f7860a474af](https://idele.fr/comite-national-des-coproduits/publications/detail?tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Baction%5D=showArticle&tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Bcontroller%5D=Detail&tx_atolidelecontenus_publicationdetail%5Bpublication%5D=3360&cHash=1a4c5ee6d2ba7535e1003f7860a474af)

4 - <https://www.feedipedia.org/node/16072>

5 - <http://animalsciencejournal.usamv.ro/pdf/2017/Art15.pdf>

6 - <https://www.feedipedia.org/node/395>

Les **fourrages aériens**, haies, arbres et arbustes sont actuellement des ressources fourragères peu utilisées dans nos régions. Pourtant, les feuillages sont loin d'être dépourvu de valeur nutritive. Des études menées en France (Emile *et al.* 2017) indiquent des teneurs en protéines variables et pouvant atteindre des valeurs proches de celle de la luzerne. Pour certains feuillages, la digestibilité peut également être élevée (mûrier blanc, prunelier, lilas, troëne). La plupart contiennent des tanins condensés qui peuvent fortement réduire la disponibilité des protéines pour les micro-organismes du rumen, la digestibilité réelle des protéines dans l'intestin (protection des protéines) (tableau 15). En Wallonie, une étude récente rapporte les mêmes observations, à savoir des teneurs en protéines et fibres variables entre espèces. La variabilité se marque également entre saison, les feuillages de fin d'été étant moins digestibles que ceux de printemps (Vandermeulen *et al.* 2016). Selon cette étude, l'appétence des espèces ligneuses varie en fonction de la saison, les espèces préférées au printemps étaient l'aubépine, le charme et le noisetier. De même, les préférences varient d'un animal à l'autre.

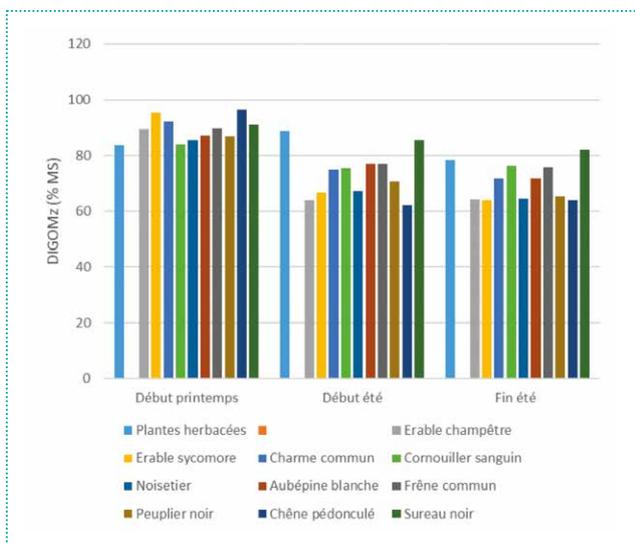
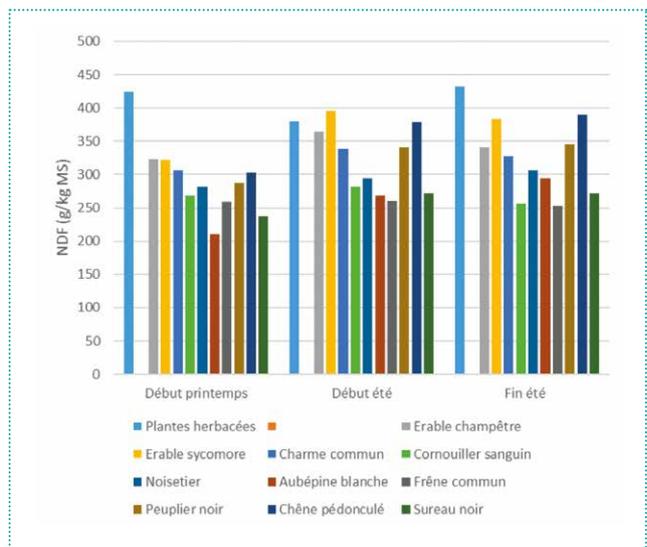
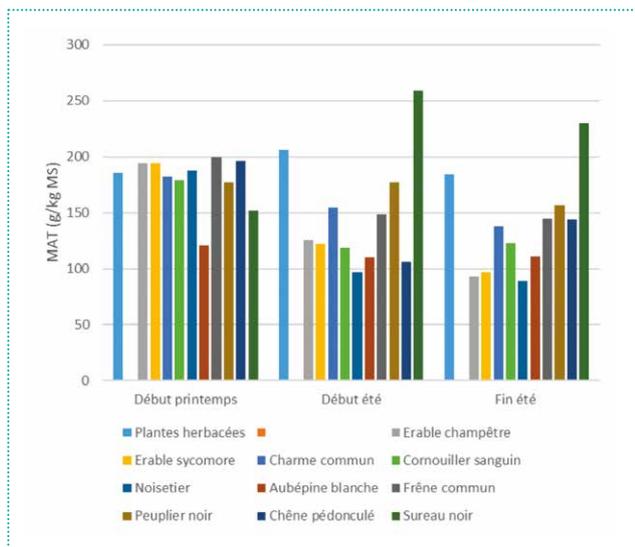
**TABLEAU 15 : EXEMPLE DE COMPOSITION CHIMIQUE ET DIGESTIBILITÉ ENZYMATIQUE DES FEUILLAGES D'ESPÈCE D'ARBRES, ARBUSTES ET LIANES COLLECTÉS EN AOÛT (EMILE ET AL. 2017).**

Espèce	n*	MS	CT	MAT	NDF	ADF	ADL	TANc	DIGz*
		g/kg	g/kg MS						% MS
<b>Arbres</b>									
Aulne de Corse	1	412	60	173	440	312	210	13	60,8
Aulne glutineux	1	386	51	184	430	232	114	8	67,9
Châtaignier	2	366	46	159	502	275	92	3	62,0
Chêne liège	1	538	35	101	550	349	166	15	53,3
Chêne rouge	1	469	39	135	516	275	136	13	56,8
Chêne vert	2	544	35	78	580	383	143	52	46,7
Erable champêtre	1	543	64	117	397	217	95	25	58,0
Figuier	1	315	143	188	321	204	54	2	78,5
Frêne commun	4	433	92	147	348	218	92	2	74,6
Mûrier blanc	2	371	140	165	300	148	50	2	83,2
Noisetier	2	456	61	148	469	240	129	39	52,9
Noyer commun	1	335	70	141	393	243	94	11	75,6
Orme Lutèce	1	463	130	148	391	152	59	30	64,1
Robinier faux acacia	2	369	63	206	491	289	137	169	52,8
<b>Arbustes et lianes</b>									
Aubépine blanche	1	485	82	126	397	174	85	-	68,8
Bignone	1	279	57	131	440	279	110	2	60,0
Eglantier	1	455	71	117	312	153	60	-	80,3
Grenadille	1	600	138	152	225	141	44	4	87,4
Houx	1	402	54	86	514	368	140	1	51,5
Jasmin hiver	1	376	69	159	289	167	85	-	84,2
Kiwi	1	313	139	134	416	245	98	52	70,5

Lierre terrestre	1	340	74	87	437	323	148	-	70,1
Lilas	1	365	67	97	257	156	81	-	86,5
Prunellier	1	526	85	156	337	162	93	-	80,2
Ronce commune	1	503	39	125	373	172	50	2	73,1
Troène	1	436	45	112	261	177	121	-	84,1
Vigne	9	306	56	175	364	273	191	66	67,9
<b>Données moyennes</b>									
Arbres	15	429	73	149	438	253	112	27	63,4
Arbustes et lianes	13	414	75	127	356	215	100	21	74,2
Témoin luzerne	1	355	85	176	439	304	77	1	64,3

\* n : nombre de prélèvements pour cette espèce ; Composition chimique : MS/CT/MAT : matière sèche / cendres totales / matières azotées totales, NDF/ADF : fibres, insolubles dans détergents neutres/acides, ADL : lignines insolubles dans détergents acides, TANc : tanins condensés, DIGz : digestibilité enzymatique (%)

### COMPOSITION CHIMIQUE (G/KG MS) ET DIGESTIBILITÉ IN VITRO DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DES ESPÈCES LIGNEUSES ET DE L'HERBE SELON LA SAISON, EN WALLONIE (VANDERMEULEN ET AL. 2016).



## LES FOURRAGES ISSUS DE L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE EN WALLONIE

L'agriculture biologique continue de se développer en Wallonie (12.4% de la SAU en 2022) et l'élevage biologique nécessite de tendre vers l'autonomie fourragère. Il est donc nécessaire pour les éleveurs d'ajuster leur offre fourragère aux besoins de leur troupeau, tant en termes de quantité que de qualité. *Pour plus de détails, consulter les dossiers de l'Autonomie alimentaire en élevage bovin biologique-CRA-W.*

Les pratiques différentes de celle du conventionnel permettent de supposer que les productions fourragères sont différentes entre ces deux systèmes. Les référentiels classiquement utilisés nécessitent donc sans doute une révision. Quelques données expérimentales sont disponibles mais cela ne couvre pas encore suffisamment l'ensemble du secteur.

Où en sommes-nous dans la base de données REQUASUD ? Au moment de la rédaction de cette brochure, il n'y a qu'une vingtaine d'échantillons de fourrages biologiques présents dans la base de données. Cette information dans le signalétique est relativement récente (2018) et ce nombre tendra donc à croître dans les prochaines années pour autant que les agriculteurs continuent d'analyser leurs productions.





## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette nouvelle synthèse démontre l'utilité des analyses aussi bien du point de vue économique qu'environnemental, que ce soit en termes de gestion des productions fourragères par l'établissement de schémas de fertilisation raisonnée adaptés au mieux aux caractéristiques des parcelles, qu'en terme de gestion des stocks et d'établissement des rations. Les laboratoires du réseau REQUASUD restent un outil essentiel pour les agriculteurs wallons afin d'optimiser et de caractériser la qualité de leurs productions fourragères.

Les techniques rapides d'analyse telle que la spectrométrie dans le proche infrarouge, utilisée en dans tous les laboratoires du réseau, est un atout supplémentaire. Cet outil permet désormais d'établir rapidement les paramètres nécessaires à l'établissement des calculs de ration alimentaires de façon très précise. La mise au point de nouvelles bases de données, concernant d'autres fourrages susceptibles d'être produits dans notre région, sera également un plus pour les années à venir. La base de données existante peut désormais être considérée comme un outil d'aide à la décision de premier ordre permettant à l'agriculteur de gérer au mieux ses ressources fourragères.

Le secteur des productions fourragères en Wallonie va devoir continuer à s'adapter pour relever les challenges actuels et à venir. L'un des principaux axes sera de continuer à augmenter la diversité des cultures fourragères afin de réduire la vulnérabilité de ces cultures aux variations climatiques tout en augmentant la résilience des systèmes de production. Les agriculteurs vont devoir sélectionner des variétés de cultures fourragères qui sont plus résistantes aux variations climatiques, comme la luzerne ou le trèfle qui sont plus tolérants à la sécheresse.

Les pratiques culturales doivent également s'adapter aux conditions climatiques changeantes, notamment pour la gestion de la ressource en eau. Augmenter la capacité de rétention en eau des sols est sans doute la meilleure option à moyen et long terme pour relever ce défi.

Il est toutefois important de continuer à investir dans la recherche et le développement du secteur pour identifier et mettre en place les technologies et les pratiques agricoles adaptées aux défis liés au changement climatique, à la préservation des ressources naturelles et à l'évolution sociétale.





## GLOSSAIRE

<b>ADF</b>	fibres au détergent acide
<b>ADL</b>	lignine détergente acide
<b>BACA</b>	Balance Anions- Cations
<b>BBB</b>	Blanc Bleu Belge
<b>BPR</b>	Balance Protéique dans le Rumen
<b>BRE</b>	Stabilité des protéines dans le rumen
<b>CB/CEL</b>	Cellulose Brute
<b>CEC</b>	Capacité d'Echange Cationique
<b>COMIFER</b>	Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée
<b>Conc</b>	Concentrés
<b>CRA-W</b>	Centre wallon de Recherches Agronomiques
<b>CT</b>	Cendres Totales
<b>CVB</b>	Centraal Veevoeder bureau
<b>DCS</b>	Digestibilité Cellulase pour le système français
<b>dMO</b>	Digestibilité de la Matière Organique
<b>DMORT</b>	Digestibilité Cellulase pour le système hollandais
<b>DT-N</b>	Dégradabilité théorique de l'azote (système français)
<b>DVE</b>	Protéine digestibles dans l'intestin
<b>DVBE</b>	Protéines alimentaires non dégradées dans le rumen digestibles dans l'intestin
<b>DVME</b>	Protéines digestibles microbiennes dans l'intestin
<b>DVMFE</b>	Protéines endogènes dans les fèces
<b>EB</b>	Energie brute
<b>FG</b>	Fourrages Grossiers
<b>h</b>	Heure
<b>IK</b>	Indice de Nutrition Potassique
<b>ILVO</b>	INSTITUT POUR LA RECHERCHE AGRICOLE ET HALIEUTIQUE en Flandre
<b>INN</b>	Indice de nutrition Azotée
<b>IP</b>	Indice de Nutrition Phosphorique
<b>K</b>	Potassium
<b>kcal</b>	KiloCalorie
<b>K<sub>EDTA</sub></b>	Potassium extrait à l'acétate d'ammonium et EDTA en milieu acide

<b>Kg</b>	Kilogramme
<b>m</b>	mètre
<b>MAT</b>	Matières Azotées Totales
<b>mEq</b>	milliéquivalent
<b>Mg</b>	Magnésium
<b>MOD</b>	Matière Organique Digestible
<b>MREE</b>	Protéines microbiennes permises par l'énergie disponible dans le rumen
<b>MREN</b>	Protéines microbiennes permises par l'azote disponible dans le rumen
<b>MS</b>	Matière sèche
<b>MSVI</b>	Matière Sèche Volontairement Ingérée
<b>N</b>	Azote
<b>NDF</b>	fibres au détergent neutre
<b>OEB</b>	Balance azotée dans le rumen
<b>P</b>	Phosphore
<b>PDI</b>	Protéines digestibles dans l'intestin
<b>PDIA</b>	Protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire
<b>PDIE</b>	Protéines digestibles dans l'intestin quand l'énergie limite la synthèse microbienne
<b>PDIN</b>	Protéines digestibles dans l'intestin quand l'azote limite la synthèse microbienne
<b>P<sub>EDTA</sub></b>	Phosphore extrait à l'acétate d'ammonium et EDTA en milieu acide
<b>PF</b>	Produit de Fermentation
<b>pH</b>	Potentiel Hydrogène
<b>S</b>	Soufre
<b>SAU</b>	Surface Agricole Utilisée
<b>SO<sub>3</sub></b>	Trioxide de Soufre
<b>SO<sub>4</sub></b>	Ion sulfate
<b>t</b>	tonne
<b>UE</b>	Unité d'Encombrement
<b>UFL</b>	Unité Fourragère pour le Lait dans le système français
<b>UFV</b>	Unité Fourragère pour la production de viande dans le système français
<b>Uliège GX ABT</b>	Université de Liège Gembloux Agro Bio Tech
<b>VEM</b>	Unité fourragère pour le lait dans le système hollandais
<b>VEVI</b>	Unité fourragère pour la production de viande dans le système hollandais
<b>VS</b>	Valeur de Structure
<b>VSFG</b>	Valeur de Structure des Fourrages Grossiers
<b>VSS</b>	Valeur de structure des suppléments



## BIBLIOGRAPHIE

- Alimentation des ruminants, INRA, 2018. Editions QUAE, 728p.
- Brown L., Scholefield D., Jewkes E.C., Preedy N., 2000. The effect of sulphur application on the efficiency of nitrogen use in two contrasting grassland soils. *The Journal of Agricultural Science*, volume 135, Numero 2, September 2000, pp.131-138.
- Deprez B., Lambert R., Peeters A., 2005. Assessment of the nitrogen nutrition index (inn) by the nitrogen concentration of the upper part of the sward. In XX International grassland congress.
- De Toffoli M., Decamps C., Lambert R., 2013. Évaluation de la capacité de cultures intermédiaires à piéger l'azote et à produire un fourrage, *BASE*, Volume 17, numéro spécial 1, 237-242.
- Dufrane C., 2021. Etude du potentiel fourrager du Kernza® (*Thinopyrum intermedium*), une culture céréalière pérenne. TFE Ulg, GbABT, 59p.
- Dufrane, 2021, Réussir lait, 2021.
- Duru M., Cruz P., Jouany C., Theau J.P. Intérêt, pour le conseil, du diagnostic de nutrition azotée de prairies de graminées par analyse de plante. *Fourrages*, Association Française pour la Production Fourragère, 2000, pp.381-395.
- Emile JC., Barre P., Delagarde R., Niderkorn V., Novak S., 2017. Les arbres, une ressource fourragère au pâturage pour des bovins laitiers ? in *Fourrages* 230, 155-160
- Gastal, F., Farrugia, A., and Hacquet, J. (2001). "The nitrogen nutrition index of grass can be evaluated through determination of N concentration of upper leaves," in *Proceedings of the 2001 11th NitrogenWorkshop (Reims)*, 449-450.
- Herremans S., Féraud A. , Wyss U., Maxin G., 2018. Les cultures dérobées : des fourrages de qualité nutritive intéressante. *Fourrages*, 233: 39-46. <https://equipedia.ifce.fr/elevage-et-entretien/alimentation/fourrage/analyse-chimique-des-fourrages>
- Lambert R., 2001. Influence du climat et de la disponibilité en azote sur la croissance printanière du ray-grass anglais. Thèse de doctorat. UCL 97 p.
- Lambert R., Mathot M., Toussaint B. and Peeters A. – 2003. Grass sulfur status and non-protein nitrogen accumulation: a preview in the South-East part of Belgium. In "Sulfur Transport and Assimilation in Plants". J.C. Davidian and D. Grill, L.J. Kok, I.Stulen, M.J. Hawkesford, E. Schnug and H. Rennenberg (eds), Backhuys Publishers, The Netherlands: 257-259.
- Lemaire G., Gastal F., Salette J., 1989. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. *Proceedings XVIth International Grassland Congress*, Nice, France, pp. 179-180.
- Lemaire G., Salette J., 1984a. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I-Etude de l'effet du milieu. *Agronomie* 4, 423- 430.
- Louarn G, Chabbi A, Gastal F. Nitrogen concentration in the upper leaves of the canopy is a reliable indicator of plant N nutrition in both pure and mixed grassland swards. *Grass Forage Sci.* 2020;75:127-133. <https://doi.org/10.1111/gfs.12466>
- Mathot M., Lambert R., Mertens J., 2004. Effect of sulphur fertilisation on Belgian grasslands. *Grassland Science in Europe*, vol. 9, 699-701.
- Mathot M., Théliier-Huché L., Lambert R., 2009. Sulphur and nitrogen content as sulphur deficiency indicator for grasses, *European Journal of Agronomy*, Volume 30, Issue 3, Pages 172-176, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.09.004>.
- Melkveevoeding, ILVO, 2011. [https://www.rundveeloket.be/sites/default/files/inline-files/Brochure\\_Melkveevoeding\\_2011.pdf](https://www.rundveeloket.be/sites/default/files/inline-files/Brochure_Melkveevoeding_2011.pdf)
- Salette J., 1992. Approche de la dynamique du magnésium dans les peuplements prairiaux. In : *Le magnésium en agriculture*, INRA, pp. 213-226.
- Vandermeulen S., Ramirez-Restrepo C., Marche C., Decruyenaere V., Beckers Y., Bindelle J., 2016. Behaviour and browse species selectivity of heifers grazing in a temperate silvopastoral system. *Agroforest. Syst.* doi:10.1007/s10457-016-0041-x, 1-12.
- Voeding van runderen van het belgisch witblauwe ras, ILVO, 2013. [https://www.rundveeloket.be/sites/default/files/inline-files/oeding\\_runderen\\_witblauw-ras.pdf](https://www.rundveeloket.be/sites/default/files/inline-files/oeding_runderen_witblauw-ras.pdf)



## LABORATOIRES DE PROXIMITÉ

### **Hainaut Analyses – Site de Ath**

Rue Paul Pastur, 11 à 7800 ATH  
068 26 46 90  
ha.labo-ath@hainaut.be

### **Laboratoire de l'Office Agricole de la Province de Namur - ASBL OPA - Qualité Ciney**

Chemin d'Haljoux, 4 à 5590 CINEY  
081 77 68 16  
office.agricole@province.namur.be

### **Centre provincial de l'agriculture et de la ruralité - ASBL Brabant Wallon Agro-Qualité**

Rue Saint Nicolas, 17 à 1310 LA HULPE  
02 656 09 70  
agriculture@brabantwallon.be

### **ASBL Centre de Michamps**

Horritine, 1 à 6600 BASTOGNE  
061 21 08 20  
centredemichamps@uclouvain.be

### **Laboratoires de la Province de Liège - ASBL CPL-PROMOGEST**

Rue de Dinant, 110 à 4557 TINLOT-SCRY  
04 279 38 00  
spaa@provincedeliege.be

### **Laboratoires de la Qualité du lait et d'Agrolab - ASBL COMITE DU LAIT**

Route de Herve, 104 à 4651 BATTICE  
087 69 26 30  
info@comitedulait.be









**Cellule d'appui de REQUASUD**  
Centre wallon de Recherches agronomiques  
Rue de Liroux, 9 · 5030 Gembloux  
081 87 58 96 · [requasud@cra.wallonie.be](mailto:requasud@cra.wallonie.be)  
[www.requasud.be](http://www.requasud.be)

