

Qualité du **fourrage** en Région Wallonne



Source : Département Production végétale - CRA-W

Par
V. Decruyenaere ⁽¹⁾ ,
R. Agneessens ⁽¹⁾
B. Toussaint ⁽²⁾ ,
C. Anceau ⁽²⁾ ,
M.-J. Goffaux ⁽²⁾ ,
R. Oger ⁽³⁾ .

Avec la collaboration
des laboratoires
des Chaînes NIR et
Minérales-produits ⁽¹⁾
et la cellule de coordi-
nation ⁽²⁾ de l'ASBL
REQUASUD.



Avec le soutien du
Ministère de la
Région wallonne,
Direction Générale
de l'Agriculture



Les auteurs tiennent à remercier,

(1)

V. Decruyenaere **Section Systèmes Agricoles (CRA-W)**

R. Agneessens **Section Systèmes Agricoles (CRA-W)**

(2)

B. Toussaint, **Conseiller pour la qualité du milieu, cellule de coordination de RÉQUASUD, Laboratoire d'écologie des prairies (UCL)**

C. Anceau, **Conseiller pour la qualité des produits, cellule de coordination de RÉQUASUD, Unité de Technologie des Industries Agroalimentaires (FUSAGx)**

M-J. Goffaux, **Coordinatrice de la cellule de coordination, RÉQUASUD**

(3)

R. Oger, **Section biométrie, Gestion des Données et Agrométéorologie (CRA-W)**

Nous remercions également **D. Stilmant** (Section Systèmes Agricoles – CRA-W), **G. Sinnaeve** (Département Qualité des Productions agricoles – CRA-W) et **E. Winance** (MRW-DGA - Direction du Développement et de la Vulgarisation Service de Libramont), pour leurs conseils judicieux et leurs relectures attentives.
Brochure FOURRAGES



Source : Département Production végétale - CRA-W

- 4 Introduction
- 6 Base de données REQUASUD
- 7 Paramètres analysés au sein des laboratoires du réseau
- 7 **Teneur en eau (%)**
- 7 **Cendres (% dans la matière sèche)**
- 7 **Matières protéiques totales (% dans la matière sèche)**
- 7 **Hydrates de carbone de réserve : sucres solubles et amidon (% dans la matière sèche)**
- 7 **Hydrates de carbone de structure : fibres (% dans la matière sèche)**
- 8 **Dégradabilité enzymatique de la matière organique**
- 10 **Minéraux**
- 11 **Analyse rapide : la spectrométrie dans le proche infrarouge**
- 12 L'échantillonnage des fourrages
- 12 **Que faut-il échantillonner ?**
- 12 **Comment échantillonner ?**
- 14 Valeur nutritive des fourrages
- 15 Caractéristiques et utilisation des fourrages
- 15 **Valeur énergétique et protéique**
- 16 **Valeur minérale**
- 22 Hétérogénéité des productions fourragères
- 22 **Facteurs de variation liés au végétal**
- 24 **Facteurs liés à la récolte et à la conservation**
- 26 **Valorisation des fourrages par le bétail : exemple de l'ensilage d'herbe**
- 30 Conclusions et perspectives
- 31 Glossaire
- 32 Références bibliographiques

Introduction

Dans le cadre du réseau **REQUASUD**, des moyens analytiques efficaces, fiables et performants sont mis à la disposition des agriculteurs et des éleveurs wallons. Les laboratoires du réseau proposent notamment un ensemble d'analyses permettant de caractériser la qualité des fourrages produits. Ceux-ci sont principalement consommés par le cheptel bovin, mais ils peuvent également être valorisés par les autres herbivores (chevaux, moutons, chèvres, lapins, etc.). Les résultats d'analyses sont centralisés au sein d'une base de données, pour être ensuite exploités en vue de caractériser la qualité de la production. Le réseau **REQUASUD** est soutenu par une convention cadre de la Direction générale de l'Agriculture du Ministère de la Région wallonne.

L'analyse des fourrages est aussi un outil précieux d'aide à la gestion de la production fourragère. La connaissance de la valeur alimentaire des fourrages produits à la ferme permet par exemple d'évaluer avec précision les stocks disponibles pour l'hiver et d'établir des plans d'affouragement adaptés.

Elle présente également un intérêt phytotechnique, dans la mesure où elle permet de déterminer les quantités d'éléments minéraux prélevés au sol par la récolte et de calculer des indices de nutrition. Ces éléments sont utiles voire indispensables pour une gestion raisonnée de la fertilisation du sol. Dans

L'intérêt des analyses de fourrages et des aliments grossiers en général se situe essentiellement au niveau zootechnique. Ceux-ci étant destinés à l'alimentation des animaux, il est important de bien connaître leur valeur alimentaire. En effet dans une exploitation laitière par exemple, les frais alimentaires interviennent pour plus de 50% dans le prix de revient du lait. De plus, une alimentation appropriée est indispensable pour permettre aux animaux dotés d'un potentiel génétique élevé de pouvoir le valoriser pleinement. La ration doit être équilibrée en énergie, protéines, minéraux, oligoéléments, vitamines et doit contenir suffisamment d'éléments fibreux.

Il est donc primordial d'aligner les apports tant de protéines que d'énergie et de minéraux sur les besoins des animaux pour concilier santé, productivité et rentabilité économique. Si cet ajustement nécessite le recours à des aliments du commerce, l'analyse des fourrages et autres aliments grossiers de la ration permet de déterminer avec précision le volume et les caractéristiques de ce complément alimentaire.



le même contexte, le suivi d'année en année de la valeur alimentaire permet de contrôler les effets des améliorations techniques éventuelles décidées au niveau de la production fourragère.

L'analyse des fourrages et des aliments est intéressante aussi d'un point de vue environnemental. Un affouragement judicieux, permettant à la vache d'atteindre une production *optimum*, peut être calculé en veillant à réduire autant que possible les rejets d'azote dans l'environnement : l'établissement de rations équilibrées en azote et en énergie en est un exemple.

Il existe dans la littérature un grand nombre de valeurs de référence auxquelles l'agriculteur pourrait faire appel pour calculer ses rations hivernales. D'autre part, pour les aliments du commerce, il peut 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 valeur alimentaire de ses fourrages et de

ne pas couvrir les besoins de ses animaux, soit au contraire de la sous-estimer et de gaspiller, voire de polluer l'environnement par le rejet de déjections trop riches.

La **valeur alimentaire** d'un aliment, qui permet d'évaluer la contribution de cet aliment à la couverture des besoins nutritionnels de l'animal, intègre deux notions : l'**ingestibilité**, qui influence la quantité que l'animal peut ingérer et la **valeur nutritive**, qui reprend les concentrations de cet aliment en éléments nutritionnels.

L'**ingestibilité** d'un fourrage est déterminée par sa valeur d'encombrement. L'ingestibilité d'une espèce végétale donnée dépend, comme la digestibilité, du stade de végétation. Il existe par conséquent une liaison entre l'ingestibilité et la digestibilité.

La **valeur nutritive** d'un fourrage regroupe à la fois sa teneur en énergie, en protéines et en minéraux. Les teneurs en énergie et en protéines sont fonction de la digestibilité de la matière organique et de la dégradabilité de l'azote. La composition chimique peut être influencée éventuellement par la fermentation lors de l'ensilage ou, de manière plus générale, par le mode de conservation. Il faut pouvoir évaluer ces paramètres à l'aide d'une méthode scientifique fondée.

Tant que les bovins seront des ruminants, c'est-à-dire des herbivores capables de dégrader la cellulose et l'hémicellulose, les fourrages seront des aliments essentiels à leur rumination et devraient constituer la principale portion de leur ration. A l'heure où l'agriculture durable est une préoccupation de société, les agriculteurs doivent réaliser que leurs bovins transforment des fourrages – un aliment indigeste pour l'homme – en produits de haute valeur ajoutée tels que le lait et la viande (Berthiaume, 1998).



2. Bases de données

Grâce aux collaborations développées entre 1994 et 2006 au sein du réseau **REQUASUD**, la Région wallonne dispose actuellement d'une base de données relativement bien étoffée : en ce qui concerne les fourrages, +/- 75 000 échantillons sont référencés pour les valeurs alimentaires et +/- 39 000 échantillons pour les analyses minérales. La base de données comporte deux types d'informations : des données signalétiques permettant de caractériser l'échantillon et l'origine du prélèvement, et des données analytiques.

La collecte de ces données au sein des différents laboratoires du réseau repose non seulement sur la mise en place de règles communes de présentation, mais aussi sur l'organisation de contrôles interlaboratoires destinés à assurer la qualité des résultats des analyses et, par conséquent, des conseils et recommandations qui sont fournis. Une procédure de validation des données a également été développée afin de vérifier la cohérence des informations qui sont transmises et de détecter la présence éventuelle de valeurs aberrantes qui pourraient fausser l'analyse des résultats et leur l'interprétation.

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 productions fourragères ou l'alimentation de leur bétail. Toutes les informations contenues dans la base de données ne peuvent cependant pas être considérées comme le reflet fidèle de la qualité des fourrages dans une région. En effet dans certains cas, le recours à l'analyse a pour but de trouver une solution à un problème particulier. D'autre part, les conditions d'échantillonnage et de représentativité des échantillons peuvent ne pas avoir été respectées.

Néanmoins le volume des données actuellement disponibles permet, grâce à l'utilisation de techniques d'analyses statistiques robustes, de dégager des indications précieuses sur la qualité des fourrages en fonction de leur origine ou du type de conservation. La variabilité des

paramètres observés pour un même type de produit met clairement en évidence tout l'intérêt de la mise en commun des résultats issus de l'ensemble des laboratoires pour définir des valeurs de référence par type de produit.

Un des intérêts de la base de données réside aussi dans le fait que les équations qui ont servi à estimer la valeur alimentaire peuvent être réactualisées ou adaptées en fonction de l'évolution des techniques ou des connaissances dans le domaine.

Le référencement géographique des échantillons est actuellement réalisé par l'intermédiaire du code postal du lieu de prélèvement. A l'avenir, le développement de systèmes de localisation à la parcelle (par exemple le GPS) sera probablement une opportunité si l'on veut lier la qualité des fourrages aux caractéristiques du milieu.



3. Paramètres analysés au sein des laboratoires du réseau

L'évaluation de la qualité des fourrages est basée sur un ensemble d'analyses chimiques couramment réalisées dans les laboratoires du réseau **REQUASUD**. Certains paramètres (teneur en eau, protéines, fibres, ...), déterminés par des méthodes de référence standardisées, sont facilement transférables vers les techniques rapides d'analyses (spectrométrie dans le proche infrarouge, ...) et permettent d'appréhender rapidement la qualité et de comparer de manière pertinente les différents substrats fourragers.

3.1. Teneur en eau (%)

La mesure de la teneur en eau est une opération analytique capitale utile à :

- l'établissement des rations en rapport avec la capacité d'ingestion des animaux ;
- la nécessité de rapporter les résultats d'analyses de toute nature à une base fixe (matière sèche ou teneur en eau standard) et de pouvoir ainsi comparer différents aliments entre eux.
- l'évaluation des risques pendant la conservation.

La méthode de référence consiste en un séchage à l'étuve à pression atmosphérique : les conditions de température et de temps sont contrôlées mais peuvent varier selon la nature du fourrage envisagé.

3.2. Cendres (% dans la matière sèche)

La teneur en cendres intervient dans l'estimation de la valeur énergétique des fourrages. Les cendres totales sont obtenues par calcination de la matière sèche dans un four à mouffles à 550°C. Elles sont ensuite solubilisées à l'aide d'acide nitrique ou chlorhydrique sur bain de sable.

Par filtration, on sépare les cendres solubles et insolubles ; ces dernières contiennent surtout de la silice et ne devraient pas dépasser 2% dans l'herbe. Une teneur supérieure à 2% indique la présence de terre (contamination) notamment dans les ensilages. Les cendres solubles contiennent les éléments minéraux.

3.3. Matières protéiques totales (% dans la matière sèche)

La teneur en matières protéiques totales (MPT) est la base de l'estimation de la valeur protéique. Elle définit l'aptitude d'un aliment à fournir des acides aminés sous une forme utilisable par l'animal, pour son métabolisme.

La méthode de référence consiste à déterminer la teneur en azote après destruction de la matière organique par une méthode chimique (méthode de KJEL-DAHL selon la norme NF V 18-100), cette teneur étant ensuite multipliée par un facteur de conversion conventionnel de 6,25 pour obtenir la teneur en matières protéiques totales.

3.4. Hydrates de carbone de réserve : sucres solubles et amidon (% dans la matière sèche)

Les sucres font partie des hydrates de carbone de réserve de la plante et représentent la source d'énergie la plus facilement utilisable par l'animal puisqu'ils sont totalement solubles dans le système digestif.

La méthode de référence comprend une extraction en milieu éthanolique suivie d'un dosage selon la méthode de Luff-Schoorl avant inversion (sucres réducteurs) et après inversion (sucres totaux), les résultats étant exprimés en pourcentage de glucose.

L'amidon est l'hydrate de carbone de réserve le plus répandu dans le règne végétal et représente la 2^e source d'énergie. On peut estimer que sa digestibilité est totale, bien que sa vitesse de dégradabilité varie en fonction de son origine :

- amidon facilement soluble et dégradable : orge, avoine, ...
- amidon peu soluble et lentement dégradable : maïs, sorgho, ...

La méthode de référence est basée sur la différence entre la mesure du pouvoir rotatoire par polarimétrie d'un hydrolysate (acide chlorhydrique) et celle d'un extrait éthanolique de l'échantillon, les résultats étant exprimés en pourcentage d'amidon.

3.5. Hydrates de carbone de structure : fibres (% dans la matière sèche)

L'importance de la teneur en fibres des aliments est liée tout autant à l'aspect « énergétique » qu'à l'aspect « encombrement », nécessaire au bon fonctionnement du système digestif de l'animal.

La valeur de structure (VS)

Outre les protéines, l'énergie, les minéraux, les oligoéléments et les vitamines, la ration pour ruminants doit contenir suffisamment d'éléments fibreux, c'est-à-dire avoir une bonne structure physique et donc une bonne valeur d'encombrement.

Un aliment riche en fibres stimule l'activité de mastication, ce qui induit une augmentation de la sécrétion de salive ; celle-ci agit comme tampon sur le contenu du rumen et y maintient ainsi un pH optimum.

Un manque de structure physique peut se traduire, entre autres, par une diminution de l'ingestion, une digestion moins efficace, des troubles de santé (acidose du rumen, boiterie), une diminution de la teneur en matière grasse du lait et même de la production laitière.

Définition de la structure :

La structure mesure la contribution d'un aliment à un fonctionnement *optimum* et stable du rumen, sur base de la quantité et des propriétés de ses hydrates de carbone.

Le stade de croissance de l'herbe et le stade de maturité du maïs sont les facteurs qui influencent le plus leur valeur de structure.

Le système d'évaluation de la structure est basé sur des résultats d'essais normatifs. On y tient compte notamment des indices de mastication et des teneurs en NDF.

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 1^{ère}, 2^{ème} ou 3^{ème} lactation et qui reçoit des concentrés en 2 fois).

Valeurs de structure (VS) pour vaches laitières :

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.

Ensilage d'herbe :	$VS = 0,35 + 0,013 \times CB$
Foin :	$VS = (0,35 + 0,013 \times CB) + 7\%$
Ensilage de maïs :	$VS = - 0,55 + 0,011 \times CB$
Herbe de printemps :	$VS = 1,80$
Herbe d'arrière-saison :	$VS = 2,60$
Paille :	$VS = 4,2$

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:

$$[(\%FG/100) \times VS_{FG}] + [(\%Conc/100) \times VS_{Conc}] + [(\%S/100) \times VS_S] = 1$$

où:

%FG = % de fourrages grossiers

VS_{FG} = Valeur de structure des fourrages grossiers

%Conc = % de concentrés

VS_{FG} = Valeur de structure des concentrés

%S = % de suppléments

VS_S = Valeur de structure des suppléments

(De Brabander *et al.*, 1996)

La méthode de Weende est la plus utilisée et permet de déterminer la cellulose brute (CB en % dans la MS) ; elle est basée essentiellement sur une attaque acide (acide sulfurique) de l'échantillon suivie d'une attaque alcaline (hydroxyde de sodium).

Une caractérisation plus précise des parois cellulaires, basée sur l'utilisation de solutions détergentes à différents pH, permet la quantification de 3 fractions distinctes, à savoir :

- les fibres insolubles après un traitement à pH neutre, comprenant l'hémicellulose, la cellulose et la lignine, ce qui correspond à l'ensemble des parois cellulaires (N.D.F. pour Neutral Detergent Fiber) ;
- les fibres insolubles après un traitement à pH acide, comprenant la cellulose et la lignine (A.D.F. pour Acid Detergent Fiber). L'hémicellulose est obtenue par différence entre N.D.F. et A.D.F.
- les fibres insolubles après une attaque par H_2SO_4 72% correspondant à la lignine (A.D.L. pour Acid Detergent Lignin). La cellulose est obtenue par différence entre A.D.F. et A.D.L.

3.6. Dégradabilité enzymatique de la matière organique (%)

La digestibilité de la matière organique (dMO) est le paramètre déterminant dans la prédiction de la valeur énergétique d'un aliment. En effet l'énergie digeste et la dMO sont étroitement corrélées pour un substrat donné. Il existe un grand nombre de méthodes pour mesurer la dMO, les plus facilement standardisables et applicables en routine font appel aux techniques enzymatiques utilisant la pepsine et la cellulase.

Tableau 1

Valeurs indicatives pour des ensilages de très bonne qualité.

Critères	Unités	Ensilage d'herbe	Ensilage de maïs
Teneur en MS	%	35 - 45	30 - 35
Cendres	g/kg MS	< 110	< 50
Cellulose brute	g/kg MS	200 - 250	180 - 200
Matière azotée	g/kg MS	150 - 200	70 - 90
pH		4,3 - 4,7	3,8 - 4,2
Acide lactique	g/kg MS	50 - 100	40 - 80
Acide acétique	g/kg MS	< 30	< 30
Acide butyrique	g/kg MS	0	0
N NH ₃ /N tot	%	< 10	< 10

Les indicateurs de conservation

I. Le degré d'acidité : pH

Le degré d'acidité est le moyen le plus simple et le plus rapide pour appréhender la qualité de conservation d'un ensilage non préfané. En effet, le pH *optimum* dépend beaucoup de la teneur en matière sèche : plus celle-ci est faible, plus le pH doit être bas pour obtenir un ensilage de qualité (cfr. Graphique 1).

Par contre, le pH n'est pas un critère fiable pour juger de la réussite de l'ensilage préfané.

II. Les acides organiques

Acide lactique : c'est la fermentation lactique qui induit les plus faibles pertes en nutriments dans les ensilages, l'acide lactique abaissant le pH le plus sûrement et le plus rapidement. Dans un bon ensilage, la teneur en acide lactique se situe entre 1,2% et 1,5% de la matière fraîche. Les meilleurs en contiennent plus de 1,5%. Avec des teneurs inférieures à 1,2%, par contre, la conservation est compromise.

Acide acétique : du point de vue de l'animal, un ensilage à haute teneur en acide acétique a une valeur nutritive plus élevée. Toutefois, un bon ensilage ne doit pas en contenir plus de 0,5 à 1 % dans la matière fraîche, dose à laquelle il a un effet inhibiteur sur le développement des levures dans l'ensilage.

Acide butyrique : la présence de cet acide représente le critère principal d'une mauvaise conservation, les bons ensilages en sont totalement exempts. La fermentation butyrique conduit à la dégradation des sucres et de l'acide lactique, induisant une augmentation du pH. La flore butyrique protéolytique entraîne la désamination des acides aminés qui se traduit par l'apparition des acides propionique, iso butyrique et des acides à plus de 4 atomes de carbone en quantité non négligeable. Ceci provoque des pertes élevées lors de la conservation et des teneurs en énergie plus faibles.

Les divers acides gras volatils formés -acides acétique, propionique, iso butyrique, butyrique, caproïque et valérique- sont,

avec l'acide lactique, le reflet même des processus fermentaires qui se sont développés ; il est donc primordial de tenir compte à la fois de la nature et de la concentration de ces acides pour juger de la conservation d'un ensilage.

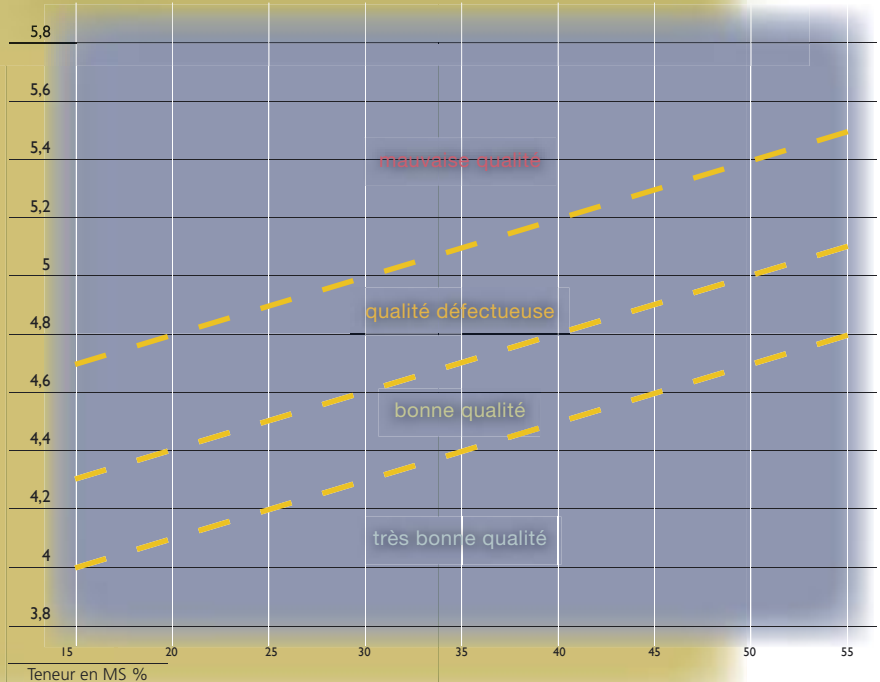
III. L'ammoniac : N ammoniacal/N total

Le rapport azote ammoniacal/azote total indique l'état de dégradation des protéines de l'ensilage et représente donc un test d'appréciation du niveau de conservation de celles-ci (Vanbelle *et al.*, 1981). Ce paramètre, plus facile à établir en routine que la détermination des acides organiques, donne en définitive une bonne indication de la qualité de la conservation.

L'ammoniac est toujours présent dans les ensilages de fourrages, à raison d'au moins 3,5% de l'azote total. Cependant, une proportion supérieure à 7 ou 8% indique un développement de la flore butyrique et donc le risque d'une protéolyse destructrice.

Graphique 1

Appréciation de la qualité des ensilages sur base de leur pH et de leur teneur en MS.



3.7. Minéraux

Lors de l'analyse en laboratoire, les éléments minéraux se retrouvent dans les cendres solubilisées à l'acide nitrique ou chlorhydrique.

On distingue les éléments majeurs (0,2 à 1 %) et les éléments mineurs ou oligoéléments (10 à 500 ppm ou mg/kg), mais cette distinction est purement quantitative, car les oligoéléments sont aussi indispensables que les éléments majeurs.

Les éléments majeurs analysés en routine sont le potassium (K), le phosphore (P), le sodium (Na), le magnésium (Mg) et le calcium (Ca). Les oligoéléments analysés le plus souvent sont le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le manganèse (Mn). La détermination de cations est basée sur l'absorption atomique à l'aide d'un spectrophotomètre, celle du phosphore est réalisée par colorimétrie.



Modes de conservation des fourrages

Même si l'objectif de l'éleveur est de privilégier le pâturage, il doit envisager l'entreposage des fourrages pour gérer les excédents de pâturage et pour s'assurer un stock pour la saison hivernale.

En matière de conservation des fourrages, il existe plusieurs voies :

- la voie sèche dont le résultat est le foin ; la conservation est rendue possible par la dessiccation, soit uniquement sous l'action du soleil, soit complétée par de l'air chaud produit par des brûleurs en grange ; un pourcentage de matière sèche voisin de 85% assure la stabilité du fourrage.
- la voie humide dénommée **ensilage** ; la conservation est assurée par l'acidification du fourrage ensilé, générée par une fermentation lactique en l'absence d'oxygène. On obtient ainsi un fourrage acide dont le pourcentage de matière sèche varie de 20% à 40%. Dans la majorité des cas, le stockage en condition anaérobie se fait en silos horizontaux.
- il existe une technique intermédiaire d'**ensilage préfané** pour laquelle le fourrage est récolté autour de 50% de matière sèche ; l'entreposage est réalisé soit en silo, soit en balles enrubannées ; dans ce cas, l'anaérobiose et donc l'étanchéité sont garanties par un film plastique qui entoure chaque balle.

L'entreposage du fourrage sous forme d'ensilage ou d'ensilage préfané plutôt que sous forme de foin, présente divers avantages, notamment :

- de moindre pertes de récolte,
- des coûts de main-d'œuvre inférieurs en raison de la mécanisation,
- une réduction de la dépendance aux bonnes conditions de séchage, ce qui permet de faucher le fourrage à la maturité désirée.

3.8. Analyse rapide : la spectrométrie dans le proche infrarouge



Les méthodes spectroscopiques telles que la spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) sont largement utilisées pour déterminer la composition de la matière organique. Le principe de la méthode repose sur l'absorption, par les différents constituants organiques majeurs des fourrages (eau, matière protéique totale, sucres, amidon et fibres), d'énergie transmise par un faisceau lumineux dont les longueurs d'onde sont comprises entre 780 et 2500 nm. On peut estimer de manière indirecte la teneur en cendres (cendres = 100 - matières organiques).

Le spectre d'un échantillon de fourrage intègre les absorptions élémentaires de chaque constituant, auxquelles viennent s'ajouter des contributions liées à la complexité et aux caractéristiques physiques du fourrage.

La SPIR ne permet pas un dosage direct des constituants, il s'agit d'une méthode indirecte qui requiert un étalonnage par rapport aux méthodes de référence. Celles-ci pouvant être des dosages (teneur en eau, matière protéique totale, cendres, amidon, sucres solubles, fibres) ou des propriétés telles que la dégradation enzymatique des matières organiques voire des propriétés résultant d'expérimentations animales (digestibilité *in vivo*, ingestion).

L'étalonnage est le développement d'un modèle mathématique reliant les données spectrales d'échantillons représentatifs du fourrage à analyser aux valeurs obtenues par les méthodes de référence. La démarche classique consiste à établir un modèle pour chaque type de fourrage (herbes-foins, maïs plantes entières, ...), chaque mode de présentation des fourrages (séchés – broyés ou en frais) et chaque paramètre à estimer. Ces modèles sont ensuite utilisés en routine pour analyser rapidement de grandes séries d'échantillons et estimer simultanément plusieurs composants organiques, à partir des seules données optiques.

La performance d'une équation est évaluée par deux paramètres statistiques :

- le coefficient de détermination (R^2), qui exprime la part de la variation du critère considéré expliquée par le modèle,
- l'erreur standard de prédiction (SEP), qui traduit la précision du modèle : pour 95% des échantillons, les écarts entre les valeurs estimées et les valeurs analytiques sont compris entre + 2 SEP et -2 SEP).

Un étalonnage est d'autant plus performant que la valeur R^2 est proche de 1,0 et que la valeur SEP est proche de la reproductibilité intralaboratoire de la méthode de référence correspondante.

Pour autant que les spectromètres fonctionnent correctement et que la préparation d'échantillon soit standardisée, la fiabilité d'une détermination obtenue par SPIR est essentiellement liée à la qualité de l'étalonnage, à la connaissance et au respect de ses limites. Le spectre d'un nouvel échantillon doit être similaire à ceux qui ont servi à l'établissement du calibrage et le niveau du paramètre à prédire doit être inclus dans la gamme de variation prévue par l'étalonnage. En aucun cas, cet étalonnage ne peut être extrapolé.

Dans le cadre du réseau REQUASUD, huit spectromètres sont répartis en région wallonne, dans les laboratoires partenaires et gérés par le CRA-W (Département Qualité des Productions agricoles et Section Systèmes agricoles). Ce mode d'organisation permet :

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

4. L'échantillonnage des fourrages

4.1. Que faut-il échantillonner ?

La première étape de l'échantillonnage consiste à identifier des lots de fourrages ayant des caractéristiques identiques (même flore, même itinéraire phytotechnique, ...), produits et/ou conditionnés dans des circonstances identiques. Les critères définissant un lot de fourrages peuvent donc être la composition botanique, le type de sol, la fertilisation, le stade de coupe, le numéro de coupe, les conditions de récolte, l'utilisation d'additif, les conditions d'entreposage, les infestations éventuelles.

4.2. Comment échantillonner ?

La seconde étape consiste à prélever un échantillon qui soit représentatif du lot de fourrages déterminé.

Echantillonnage des balles

Une sonde bien aiguisée est nécessaire pour l'échantillonnage des balles rondes et des balles carrées de foin sec ou d'ensilage. Dans les deux cas, les parties non consommables par les animaux (moisies, ...) ne sont pas échantillonnées. Pour réaliser un échantillon représentatif, on recommande de prélever au moins dans 10 balles, tout en sachant que plus le nombre de balles échantillonnées augmente, plus la précision de l'analyse s'améliore.

Les sondes les plus utilisées sont celles « à vilebrequin » ou « à perceuse électrique ». Plusieurs modèles récents sont munis d'un réceptacle pour recueillir les échantillons. Que leur extrémité soit

dentelée ou droite, les sondes « à enfoncer » doivent, quant à elles, être très coupantes. Les sondes dont le taillant est émoussé risquent de pousser le matériel végétal (notamment les tiges) au lieu de les couper et ainsi de fausser l'échantillonnage. De nombreuses sondes se prêtent à un aiguisage manuel.

Le diamètre intérieur de la sonde doit être compris entre 1,0 et 3,5 cm. Une sonde d'un diamètre plus petit pourrait ne pas couper adéquatement les feuilles ou les tiges. Enfin, les gouges sont à éviter, car elles risquent d'engendrer des pertes de particules de feuilles lorsqu'on les retire de la balle.

La sonde doit pénétrer à 45 cm de profondeur *minimum* dans les grosses balles (rondes ou carrées) et à 30 cm de profondeur *minimum* dans les petites balles carrées. Elle doit être enfoncée sur un côté rond de la balle en visant le centre (balles rondes) ou au centre d'une des extrémités des balles carrées.

Dans le cas des balles enrubannées, les trous provoqués par la sonde dans le plastique doivent être soigneusement

Tâche paraissant a priori assez simple, l'échantillonnage se révèle souvent un maillon faible du processus d'évaluation de la qualité du fourrage. En effet un bon échantillon pèse en moyenne entre 500 g et 1 kg, suivant la teneur en matière sèche, et il doit être un reflet fidèle de plusieurs tonnes de fourrage. En d'autres mots, il importe d'effectuer un échantillonnage qui soit représentatif de l'ensemble du lot, notamment en terme de composition botanique du fourrage.

rebouchés immédiatement après avoir effectué les prélèvements. Ceci afin d'éviter l'entrée d'air dans les balles et leur détérioration subséquente.

Echantillonnage des silos

Dans le cas des silos (tour, couloir, taupinière, ...), l'échantillonnage peut être effectué au moment de la mise en silo, pendant la conservation ou lors du désilage. Bien qu'il soit plus facile de constituer l'échantillon au moment de la mise en silo, on conseille généralement de prendre l'échantillon une fois que le fourrage a fermenté, de façon à ce qu'il soit stabilisé et que les conditions d'entreposage soient connues. Il ne faut pas oublier d'identifier ou de repérer l'endroit dans le silo où se situe le lot de fourrages échantillonné.

Concrètement, on peut pratiquer comme suit :

- Au moment de la mise en silo, prélever une poignée à chaque arrivage au silo. Ces poignées de fourrage seront conservées à l'abri du soleil.





- Pendant la conservation en silo couloir ou taupinière, réaliser 10 ou 12 prises, sur toute la hauteur, à différents endroits de la surface du silo.
- Lors du désilage d'un silo tour, placer un grand récipient (10 litres) sous la chute pendant quelques secondes et

répéter plusieurs fois l'opération au cours d'un désilage. Dans le cas d'un silo couloir ou taupinière, prélever 20 poignées à 10 ou 12 endroits différents du front d'attaque, à 45 cm de profondeur.

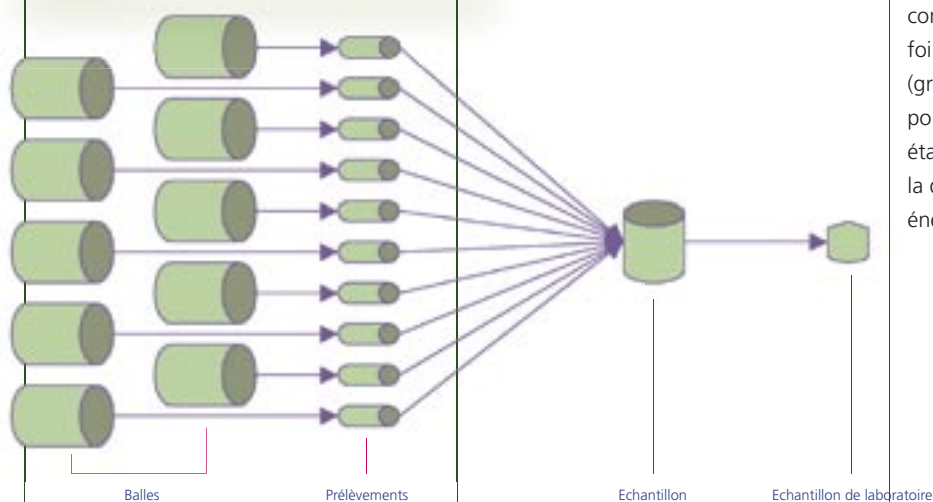
Quels que soient le type de silo et le

moment de l'échantillonnage, les prélèvements sont mélangés dans un grand récipient et conservés à l'abri du soleil ou de la pluie. Un échantillon d'au moins 500 g y est prélevé et placé dans un sac en plastique fermé hermétiquement. Il faut éviter les échantillons trop petits qui ne seraient pas représentatifs de même que les échantillons trop volumineux que le laboratoire aurait du mal à broyer sans en faire des sous-échantillons ; ce qui risquerait de fausser les résultats. . D'autre part il est important d'identifier et d'étiqueter clairement les échantillons et de les maintenir au frais. S'ils ne sont pas envoyés immédiatement au laboratoire, ils seront conservés au congélateur.

Le fait de bien remplir la fiche de renseignements fournie par le laboratoire permettra d'obtenir les résultats correspondants à l'échantillon et de trouver facilement le lot de fourrages auquel ils correspondent. Les informations contenues dans cette fiche influencent la précision des résultats, notamment pour les paramètres calculés ou estimés. Ainsi, il est important de préciser le type de conservation (ensilage, herbe préfanée, foin, ...) ainsi que la nature du fourrage (graminées, légumineuses, maïs, ...) pour que le laboratoire puisse utiliser les étalonnages SPIR adéquats et calculer la digestibilité des protéines ou la valeur énergétique.

Figure 1

Préparation d'un échantillon représentatif de fourrage.



5. Valeur nutritive des fourrages

La valeur nutritive d'un fourrage repose à la fois sur sa valeur énergétique, sur sa valeur protéique et sur sa teneur en minéraux.

La valeur énergétique d'un aliment est déterminée par référence à la quantité de kilo-calories fournie par un kilo d'orge. Elle correspond à la quantité d'énergie qu'un kilo d'aliment apporte pour couvrir les besoins d'entretien et de production des animaux. Cette valeur s'exprime en terme d'unité fourragère lait (UFL) dans le système français ou *voedereenheid melk* (VEM) dans le système hollandais, si l'aliment est destiné à du bétail laitier. Elle s'exprime en unité fourragère viande (UFV) dans le système français ou *veevoedereenheid vleesvee intensief* (VEVI) dans le système hollandais, si l'aliment est destiné à du bétail allaitant.

Ces unités fourragères sont calculées à partir de la digestibilité de la matière organique et des relations ont été établies par catégories de fourrages.

La valeur protéique peut s'exprimer de plusieurs façons : soit par la teneur en protéines brutes totales qui correspond à la concentration totale en protéines de l'aliment ; soit par la teneur en protéines brutes digestibles (PBD), c'est-à-dire la part des protéines brutes qui est globalement digérée par l'animal. La notion de protéines digestibles dans l'intestin (PDI, correspondant soit à la valeur PDIN ou

PDIE) dans le système français ou *darm verteerbaar eiwit* (DVE) dans le système hollandais est utilisée dans le cas des ruminants. Le système hollandais précise en supplément le bilan des protéines dégradables au niveau du rumen, soit *onbestendige eiwit balans* (OEB). Cette valeur exprime l'équilibre entre la protéine et l'énergie d'un aliment pour l'alimentation des micro-organismes du rumen. Elle 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. Ainsi, un fourrage comme le maïs présente une valeur OEB négative, ce qui signifie que ce fourrage, proposé aux animaux en plat unique présente trop peu de protéines pour que le rumen fonctionne à son optimum.

A côté des besoins protéique et énergétique, le rôle des minéraux est multiple et les besoins varient selon l'espèce animale et son stade physiologique (croissance, engraissement, lactation, gestation...). Les minéraux interviennent au niveau du squelette (rôle majeur du calcium, du phosphore et du magnésium), de l'activité des cellules de l'organisme (rôle du potassium), des réactions hormonales et enzymatiques (rôle des oligoéléments) et de la digestion ruminale des aliments. Les micro-organismes du rumen ont des besoins spécifiques en éléments majeurs, comme le phosphore et le soufre, et en



oligo-éléments, comme le cuivre, le zinc, le cobalt et le manganèse (INRA, 1988).

Les fourrages contiennent ces éléments minéraux, mais dans des concentrations telles que les besoins de l'animal ne sont pas toujours couverts. Les apports en minéraux doivent couvrir les besoins d'entretien et de croissance et compenser également les exportations *via* le lait ou le fœtus chez les femelles. Une insuffisance minérale se traduira par des productions médiocres et, à l'extrême, par des signes cliniques de carences qui peuvent être mortels. A l'inverse, certains minéraux apportés en excès peuvent se révéler toxiques. C'est notamment le cas du cuivre chez le mouton.

6. Caractéristiques et utilisation des fourrages

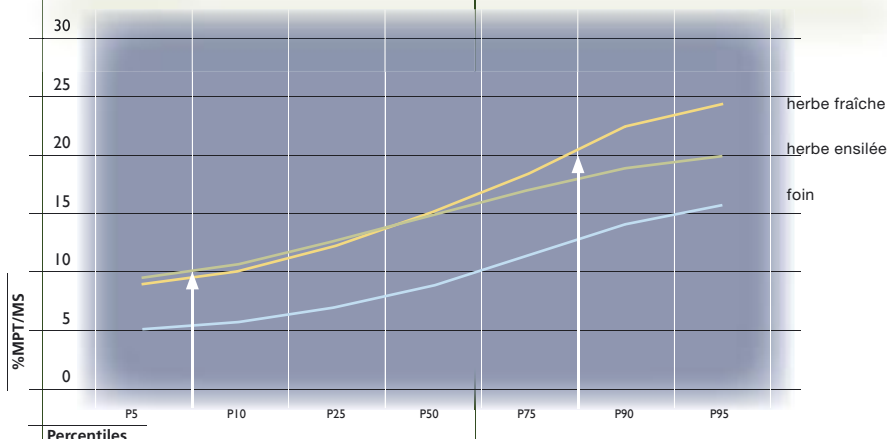
Différentes ressources fourragères sont disponibles sur l'exploitation : herbe pâturée, ensilage d'herbe, ensilage de maïs, foin, etc. Cette synthèse ne concerne toutefois que les fourrages dont l'effectif est suffisant dans la base de données **REQUASUD** pour extraire des informations fiables.

Les valeurs nutritives moyennes ont été calculées sur l'ensemble des résultats disponibles dans la base de données, mais les valeurs extrêmes n'ont pas été reprises dans ce document.

Par contre il est fait référence aux valeurs qui correspondent aux percentiles P25 et P75, soit 10% et 20% MPT dans l'herbe fraîche par exemple (cf graphique 2). Ces valeurs délimitent un intervalle autour de la moyenne, englobant 50% de l'effectif pour chaque catégorie de produit. Les valeurs qui ne se trouvent pas dans cette fourchette sont soit inférieures au seuil P25 soit supérieures au seuil P75. Dans le cas de l'herbe fraîche, 50% des échantillons ont une teneur en matières azotées totales comprise en tre 10 et 20% MPT /MS.

Graphique 2

Distribution des teneurs en matières azotées totales (MPT) dans les différents groupes de fourrage.



6.1. Valeur énergétique et protéique

L'herbe pâturée (2.044 échantillons analysés) est la source principale de l'alimentation du bétail du printemps à l'automne. Sa teneur en matière sèche (MS) varie de 15 à 20 %. Exploitée au bon moment (stade de développement de la plante adéquat), elle est un aliment assez riche en protéines (12,6 à 18,8 % MPT dans la MS), apportant une quantité importante de protéines digestibles dans l'intestin (75 à 95 g de DVE par kg de MS). Sa teneur en énergie n'est pas négligeable (870 à 980 VEM par kg de MS).

Les ensilages d'herbe (40.512 échantillons analysés) sont considérés comme des aliments riches en protéines digestibles dans l'intestin (51 à 69 g de DVE par kg MS), leur valeur OEB est généralement positive (11 à 66 g/kg MS). Ils ont par contre une teneur plus faible en énergie (771 à 858 VEM par kg de MS) et doivent être complétés avec des aliments énergétiques afin d'être pleinement valorisés par le bétail. Leur valeur alimentaire est inférieure à celle de l'herbe sur pied et leur teneur en MS est très variable,

dépendant du degré de préfanage avant la récolte :

- Les ensilages récoltés directement après la coupe ont une teneur en MS de l'ordre de 20 % ;
- Quand la teneur en MS est supérieure à 30 %, on parle déjà d'ensilage d'herbe préfanée ;
- Les ensilages d'herbe très préfanée peuvent atteindre des teneurs en MS voisines de 75 %. Dans ce cas, il s'agit presque de foin.

Les ensilages de maïs (22.270 échantillons analysés) sont riches en énergie (878 à 925 VEM par kg de MS), en raison de leur teneur en amidon et en fibres digestibles, mais ils sont pauvres en protéines (7,3 à 8,3 % MPT dans la MS ; 42 à 48 g de DVE par kg de MS) et en minéraux. Leur valeur OEB est négative (-20 à -27 g/kg de MS). Ces caractéristiques nécessitent dès lors une complémentarité protéique et minérale adéquate. Idéalement, un ensilage devrait toujours présenter une teneur en matière sèche supérieure ou égale à 30 %.

Les foin (4.159 échantillons analysés) sont généralement riches en protéines digestibles dans l'intestin (45 à 70 g de DVE par kg de MS), mais ils présentent une valeur OEB négative (-50 à -28 g/kg de MS). En raison du séchage qui modifie la disponibilité des protéines, ils nécessitent souvent une complémentarité protéique pour être valorisés de façon optimale par les ruminants. Leur valeur énergétique est souvent faible (701 à 811 VEM par kg de MS). Leur teneur en matière sèche doit être supérieure à 80 % dans tous les cas.

Les autres ressources fourragères de l'exploitation comme les céréales immatures ensilées, les betteraves fourragères et l'épeautre peuvent être utilisées en association avec les autres fourrages produits. Cependant, le nombre de résultats présents dans la base de données n'est pas suffisant pour en tirer des tendances.

6.2. Valeur minérale

La teneur minérale des plantes est extrêmement variable. Les principaux facteurs de variation sont : l'espèce végétale, la variété (au sein d'une même espèce, les capacités génétiques d'absorption peuvent varier très fortement), le stade de développement, le type d'organe considéré (racines, feuilles, tiges ou fruits), le type de sol, le niveau de fertilisation, ...

Le tableau 2 a été établi pour les fourrages les mieux représentés dans la base de données de REQUASUD, c'est-à-dire le maïs frais ou ensilé, l'herbe fraîche ou ensilée et le foin. Il contient les teneurs moyennes en potassium (K), sodium (Na), phosphore (P), magnésium (Mg) et calcium (Ca) exprimées en g/kg de MS, de même que les valeurs correspondant aux percentiles P25 et P75. Celles-ci donnent, pour chaque élément, une indication de la dispersion autour des moyennes : en effet 50% des échantillons ont une teneur comprise entre ces valeurs.

Tous les produits herbagers frais ou conservés sont riches en **potassium** (plus de 20 g/kg de MS). Le maïs, par contre, présente des teneurs nettement plus faibles (en moyenne 12 à 13 g/kg de MS). Toutefois le potassium ne manque jamais dans la ration alimentaire, le seuil *minimum* de 5 g/kg étant toujours largement dépassé.

A l'inverse du potassium, le **sodium** est généralement insuffisant pour couvrir les besoins des animaux. La ration alimentaire devrait contenir au moins 1,5 g de Na/kg de MS (INRA, 1988) ; un complé-

ment minéral s'impose souvent, surtout dans une alimentation à base de maïs.

Le **phosphore** est l'élément qui risque le plus d'être déficitaire surtout dans des

ractions riches en fourrages. La ration devrait en contenir au moins 3 à 3,5 g par kg de MS, compte-tenu du fait que son coefficient d'absorption se situe entre 60 et 70 % (INRA, 2007); de plus le besoin

Tableau 2

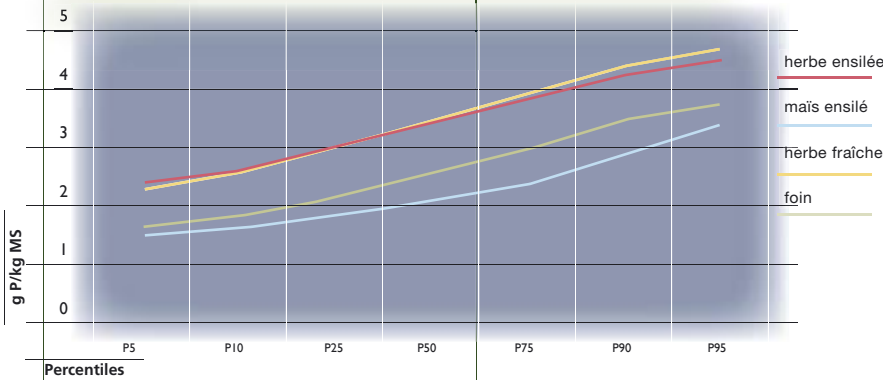
Teneurs en éléments minéraux majeurs des principaux fourrages analysés dans le réseau REQUASUD (en g/kg de MS)

		Maïs ensilé	Maïs frais	Herbe ensilée	Herbe fraîche	foin
Effectif		4026	1550	27542	1622	3303
Potassium	Moyenne	13,1	12,1	27,9	29,3	21,7
	P 25	10,0	10,1	23,8	24,7	17,6
	P 75	13,2	13,3	32,0	33,7	25,4
Sodium	Moyenne	0,55	0,40	1,76	1,45	1,04
	P 25	0,09	0,07	0,91	0,61	0,39
	P 75	0,75	0,18	2,29	1,80	1,37
Phosphore	Moyenne	2,17	2,08	3,44	3,48	2,59
	P 25	1,81	1,81	3,01	3,00	2,13
	P 75	2,36	2,31	3,87	3,94	2,98
Magnésium	Moyenne	1,45	1,33	2,17	1,92	1,55
	P 25	1,12	1,10	1,81	1,52	1,16
	P 75	1,62	1,52	2,48	2,24	1,84
Calcium	Moyenne	2,54	2,28	5,46	5,12	3,87
	P 25	1,75	1,56	4,49	4,04	2,78
	P 75	2,71	2,34	6,18	5,86	4,68



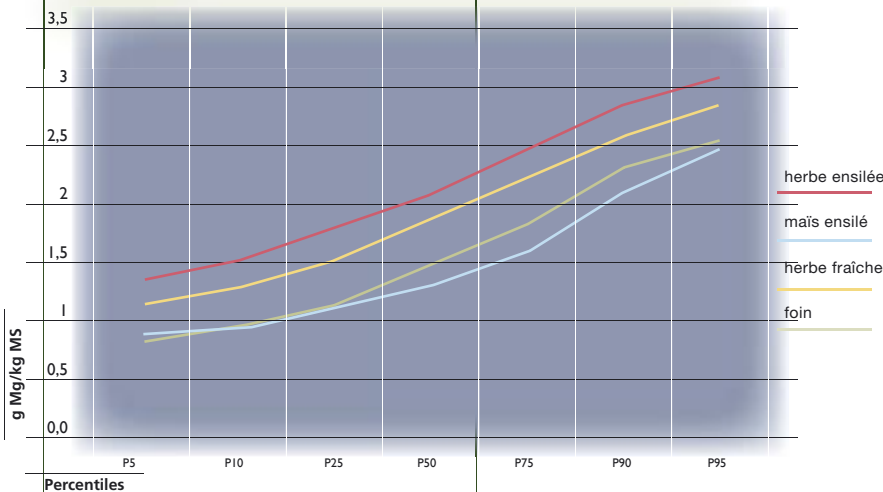
Graphique 3

Distribution des teneurs en phosphore dans les différents groupes de fourrage.



Graphique 4

Distribution des teneurs en magnésium dans les différents groupes de fourrage.



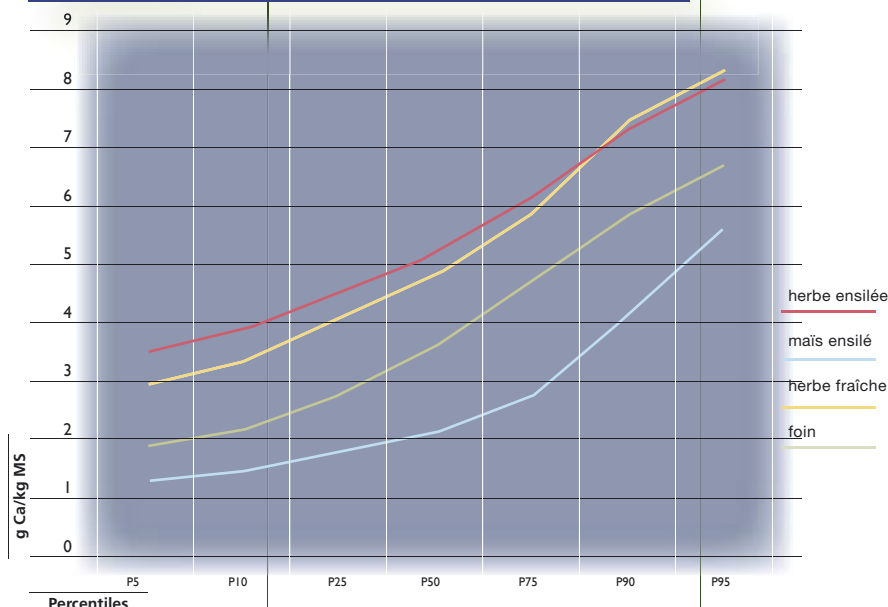
augmente avec le niveau de lactation et peut atteindre 3,8 à 4 g de P/kg de MS. Les maïs et les foin récoltés tardivement sont souvent trop pauvres. Le graphique 3, qui donne un aperçu de la dispersion des teneurs en P pour chaque type de fourrage, montre que 75% des foin et plus de 90% des maïs ont une teneur inférieure à 3 g/kg de MS. Par contre 75% des échantillons d'herbe fraîche ou ensilée atteignent cette teneur *minimum* de 3 g /kg de MS.

La ration alimentaire devrait contenir au moins 1,5 g de **magnésium** par kg de MS, avec une teneur souhaitée de 2,5 g/kg de MS lors de la mise à l'herbe au printemps ; en effet le coefficient d'absorption de cet élément ne dépasse pas 50% chez les bovins. Le graphique 4 montre que, dans 50 à 60% des cas, le maïs et le foin n'atteignent pas le seuil *minimum* de 1,5 g/kg de MS. Par contre 50% environ des échantillons d'herbe fraîche ou ensilée ont au moins 2 g de Mg/kg de MS.

La teneur *minimum* de la ration en **calcium** doit être comprise entre 4,6 et 5,5 g/kg de MS, compte-tenu d'un coefficient d'absorption compris entre 30 et 40 % (INRA, 2007). L'apport recommandé se situe entre 6,5 et 7,2 g de Ca/kg de MS pour une production de 20 l de lait par jour. Les teneurs moyennes montrent clairement la pauvreté du maïs en calcium. Cela se confirme sur le graphique 5. En prenant la teneur de 5 g/kg comme repère, on constate que 50% des échantillons d'herbe ne l'atteignent pas. Cette proportion monte à 75% dans le cas des foin et à 90% dans les maïs.

Graphique 5

Distribution des teneurs en calcium dans les différents groupes de fourrage.



En ce qui concerne les **oligoéléments**, le tableau 3 a été établi pour les mêmes produits, c'est-à-dire le maïs frais ou ensilé, l'herbe fraîche ou ensilée et le foin, avec les teneurs moyennes en fer (Fe), cuivre (Cu), zinc (Zn) et manganèse (Mn), en mg/kg de MS. Comme pour les éléments majeurs, les valeurs correspondant aux percentiles P25 et P75 indiquent la dispersion des teneurs.

Selon Loué (1993), la teneur normale en **fer** d'une plante est comprise entre 50 et 250 mg/kg de MS. Les teneurs très élevées en fer sont révélatrices d'une pollution éventuelle du fourrage par de la terre, notamment lorsque l'ensilage a été réalisé dans des conditions difficiles.

Cet élément ne pose pas de problème dans l'alimentation des ruminants : les besoins sont couverts avec une ration

contenant 4 à 5 mg/kg de MS pour les bovins et 10 à 15 mg pour les ovins. Un excès de fer diminue la solubilité et la digestibilité de trois autres oligoéléments (Cu, Zn, Mn), mais ce phénomène n'apparaît qu'avec des teneurs en fer supérieures à 2.000 mg/kg de MS.

Tableau 3

Teneurs en oligoéléments des principaux fourrages analysés dans le réseau REQUASUD (en mg/kg de MS).

		Maïs ensilé	Maïs frais	Herbe ensilée	Herbe fraîche	foin
	Effectif	828	74	6253	532	315
Fer	Moyenne	82	398	588	327	206
	P 25	9	24	148	93	21
	P 75	111	228	750	368	242
	Effectif	11171	80	8817	721	425
Cuivre	Moyenne	5,3	5,9	8,3	8,6	6,0
	P 25	0,8	2,3	5,8	5,9	1,3
	P 75	7,1	10,0	10,0	10,3	8,4
Zinc	Moyenne	20,5	29,9	30,9	26,2	23,6
	P 25	4,3	10,0	24,6	20,0	5,3
	P 75	24,2	40,0	37,5	33,6	32,7
Manganèse	Moyenne	29,0	39,5	106,2	76,0	87,1
	P 25	3,8	9,6	65,0	42,2	23,1
	P 75	30,4	39,0	141,0	100,0	116,0

Les indices de nutrition (iK et iP)

Selon Salette et Huché (1991), l'analyse de l'herbe peut être utilisée comme outil de pilotage de la fertilisation des prairies naturelles et temporaires notamment pour le potassium et le phosphore. En effet l'analyse d'un échantillon représentatif de la biomasse aérienne rend compte de la disponibilité de ces 2 éléments, qu'ils proviennent du sol ou de la fertilisation, et de l'aptitude de la prairie à les prélever.

Le principe est le suivant : 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 :

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

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

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 :

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

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

Ces indices permettent ainsi *a posteriori* de porter un jugement sur la pertinence de la fertilisation et d'en proposer une éventuelle modification. En pratique, l'état de nutrition potassique ou phosphorique de la prairie est considéré comme :

Excédentaire pour des indices > 120 : la suppression de la fumure K ou P correspondante n'entraînera pas de diminution de la production, mais éventuellement une diminution de teneur.

Satisfaisant pour des indices proches de 100 ($80 < i < 120$) : une augmentation des apports dans cette zone n'entraîne pas de gain de production mais seulement une augmentation des teneurs.

Insuffisant pour des indices inférieurs à 80 : l'effet dépressif sur la production

dépend alors des conditions climatiques. Il est systématique pour des indices inférieurs à 60. Une fertilisation plus importante entraîne alors une augmentation de la production et des teneurs.

Un premier aperçu des indices de nutrition, calculés à partir de la base de données de REQUASUD, a été présenté récemment dans les livrets de l'agriculture (Knoden *et al.*, 2007). Cette synthèse porte sur l'ensemble des produits herbagers, englobant les échantillons d'herbe fraîche, préfanée ou ensilée et les échantillons de foin.

Il en ressort essentiellement que plus de 60 % des échantillons considérés présentent des indices de nutrition phosphorique (iP) et potassique (iK) compris entre 80 et 120. En d'autres termes, 60% des prairies d'où proviennent ces fourrages analysés ont une fertilité P et K suffisante.

Toutes régions agricoles confondues, il y aurait même un excédent de phosphore

d'herbe et les foins. Les échantillons présentant des teneurs en matières azotées totales trop faibles ont été éliminés, considérant *a priori* que ces ensilages et ces foins ont été récoltés à un stade de maturité trop avancé. Les ensilages dont le rapport NH_3/N_{total} était supérieur à 5% ont été éliminés également, afin de réduire les risques d'erreurs dues aux pertes d'azote pendant la conservation.

Les résultats présentés ci-dessus confirment bien les tendances observées précédemment : en moyenne, 60% des indices de nutrition iK et iP sont compris entre 80 et 120, qu'il s'agisse d'herbe, d'ensilage d'herbe ou de foin. L'état de fertilité de la parcelle en K et P serait donc satisfaisant dans 60% des prairies concernées. Environ 30% des échantillons ont un indice iP supérieur à 120, ce qui justifierait un ajustement des normes de fumure phosphorique. Enfin, l'indice iK est inférieur à 80 dans 11,2% des échantillons d'herbe, 20,6% des échantillons

Tableau 4

Indices de nutrition potassique (iK) et phosphorique (iP) des fourrages.

	Herbe	Ensilage	foin
Indice de nutrition K	409	5161	592
Inf à 80	11,2	20,6	25,7
De 80 à 100	28,4	37,2	31,3
De 100 à 120	40,6	31,1	27,5
Sup à 120	19,8	11,0	15,5
Indice de nutrition P			
Inf à 80	2,7	4,6	4,6
De 80 à 100	18,3	21,0	20,4
De 100 à 120	39,6	46,2	39,4
Sup à 120	39,4	28,3	35,6

dans 35% des prairies. Par contre dans 15% des échantillons, l'indice iK est inférieur à 80, ce qui indiquerait une fertilisation potassique insuffisante.

Etant donné que cette méthode d'appréciation a été mise au point pour caractériser l'herbe à l'état frais, ces mêmes résultats d'analyses ont été repris en distinguant toutefois les herbes fraîches, les ensilages

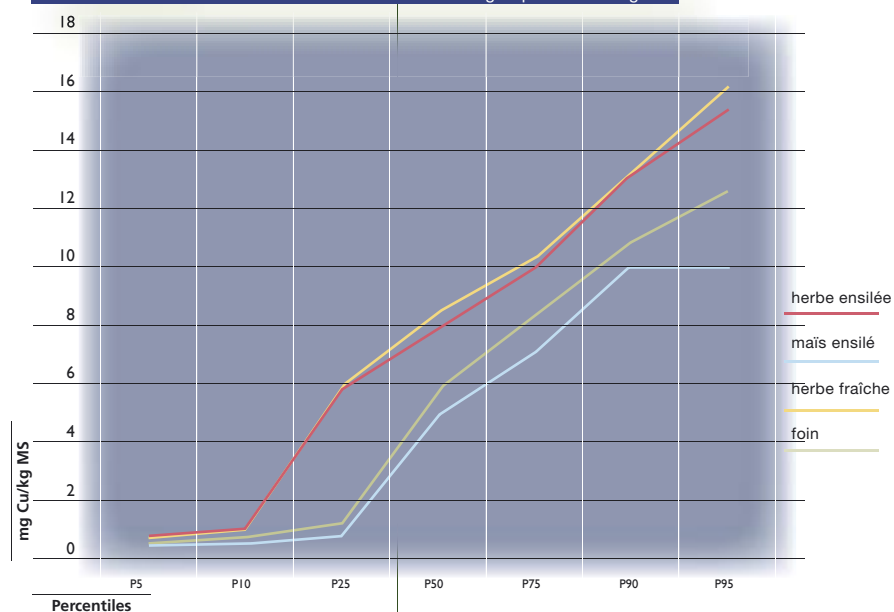
d'ensilage et 25,7% des échantillons de foin. Cette différence entre l'herbe d'une part et les ensilages et les foins d'autre part, pourrait partiellement s'expliquer par l'influence du stade de maturité lors de la récolte (notamment pour les foins) et par la perte en K dans les jus d'écoulement (pour les ensilages).

La teneur en **cuivre** peut varier dans le végétal entre 5 et 10 mg/kg de MS. Pour l'animal, la ration doit en contenir au moins 7 mg/kg de MS et idéalement 10 mg/kg de MS. Dans 75% des cas, la teneur du maïs ensilé est inférieure au seuil *minimum* et une complémentation en cuivre est nécessaire. Par contre, 50% des échantillons d'herbe fraîche ou ensilée atteignent 8 mg/kg de MS (graphique 6).

La teneur en **zinc** peut varier de 25 à 150 mg/kg de MS dans les végétaux et la ration des ruminants doit en contenir au moins 40 à 45 mg/kg de MS (INRA, 1988). *A priori* la plupart des fourrages et le maïs en particulier présentent une teneur insuffisante en cet élément. Le graphique 7 montre en effet que ce taux *minimum* de 45 mg n'est pas atteint dans plus de 75% des échantillons d'herbe et de foin et il ne l'est jamais dans le cas du maïs ensilé.

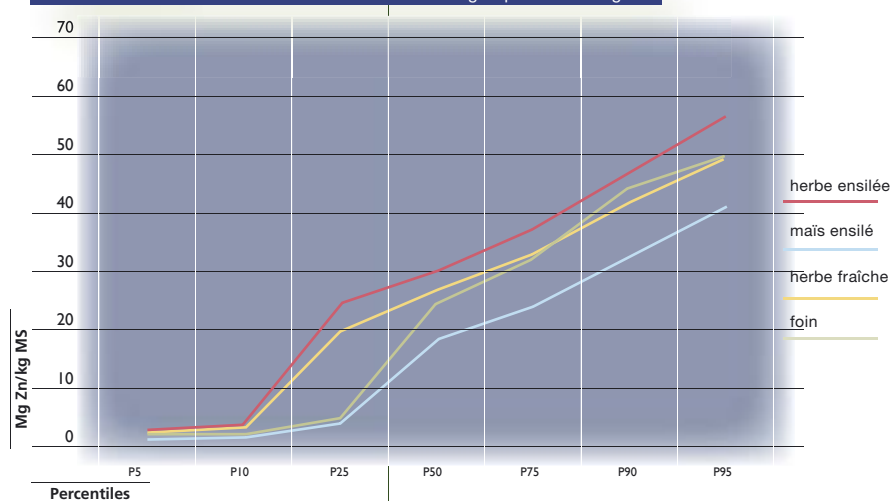
Graphique 6

Distribution des teneurs en cuivre dans les différents groupes de fourrage.



Graphique 7

Distribution des teneurs en zinc dans les différents groupes de fourrage.

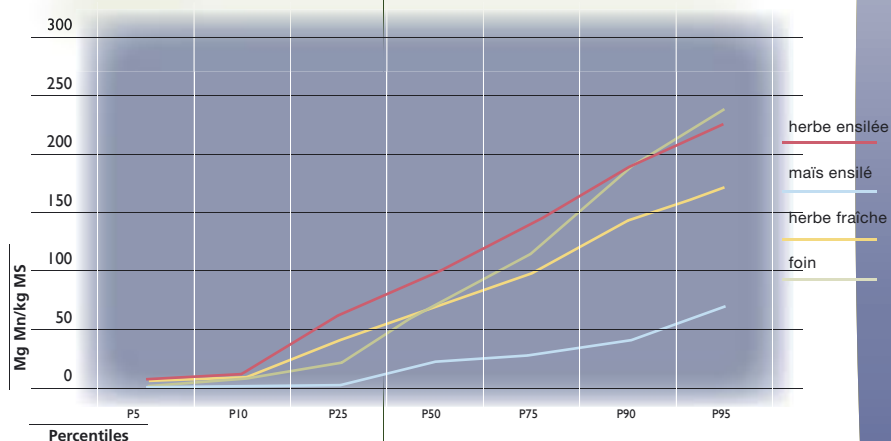




La teneur en **Manganèse** varie entre 20 à 500 mg/kg de MS dans les végétaux ; sa solubilité dans le sol est fortement influencée par le pH. Pour les ruminants, la ration doit contenir au moins 40 à 45 mg de Mn/kg de MS. Le graphique 8 montre que le maïs est généralement très pauvre : 90 % des échantillons ont moins de 50 mg de Mn/kg de MS. Par contre 75% des produits herbagers (herbes et foins) ont une teneur égale ou supérieure à 50 mg de Mn/kg de MS.

Graphique 8

Distribution des teneurs en manganèse dans les différents groupes de fourrage.



7. Hétérogénéité des productions fourragères

Les fourrages sont des aliments très hétérogènes de par leur nature (foin, ensilage d'herbe, ensilage de maïs, ...). Cette hétérogénéité est également présente au sein d'un même type de fourrage. Dès lors, à l'échelle de l'exploitation, les stocks produits en prévision de l'alimentation hivernale du cheptel sont hétérogènes. La composition de la ration hivernale doit donc tenir compte de ces différences afin de couvrir au mieux les besoins des animaux.

Parmi les facteurs de variation de la qualité des fourrages, on distingue des facteurs liés à la nature du végétal et des facteurs liés à la récolte et à la conservation.

7.1. Facteurs de variation liés au végétal

La première source de variation est la **différence entre les espèces végétales** récoltées : il y a une différence fondamentale entre un maïs, une betterave et une herbe de prairie par exemple. En effet pour ne prendre que quelques éléments de comparaison, le maïs contient jusqu'à 30% d'amidon, quand ses épis ont atteint le stade pâteux, mais il est relativement pauvre en éléments minéraux. Par contre l'ensilage d'herbe contient peu de sucres mais est très riche en minéraux.

Dans le cas des fourrages de prairies, **la composition botanique** prend toute son importance. C'est essentiellement la présence ou non de légumineuses qui va influencer la valeur alimentaire : en

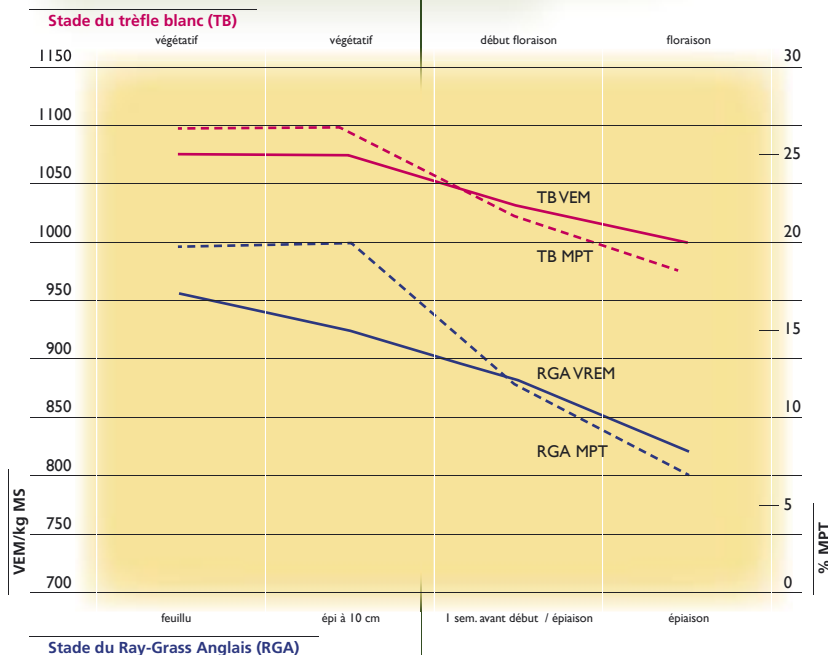


effet les légumineuses sont notamment plus riches en protéines et en minéraux bivalents que les graminées. Il existe aussi des différences entre graminées, mais leur influence sur la valeur nutritive est moins importante. Par exemple, à stade végétatif égal, les ray-grass anglais sont plus riches en sucres et en minéraux que la fléole et le dactyle. Par conséquent, tous les autres facteurs restant identiques, un ray-grass anglais en monoculture aura une meilleure valeur nutritive qu'une fléole. En pratique, la monoculture est assimilée à une culture d'herbe et elle est pratiquée dans le cadre d'une agriculture intensive avec une bonne maîtrise des itinéraires culturaux. La réussite d'une monoculture reste cependant plus aléatoire (mauvaise implantation, attaque de rouilles, ...) que celle de mélanges fourragers où les risques sont répartis sur plusieurs espèces. En ce qui concerne la valeur nutritive, c'est le stade de récolte des espèces dominantes qui est déterminant. La présence d'espèces adventices dans la prairie influence aussi la qualité de la récolte, notamment les teneurs minérales.

Le stade de développement du végétal au moment **de la coupe** est un élément déterminant également : en effet les caractéristiques du végétal évoluent au fur et à mesure de sa croissance et de son développement. Ainsi, pour certains éléments comme la digestibilité de la matière organique, facteur clé de la valeur énergétique, cette source de variation est plus importante que les écarts observés entre espèces prairiales. Le graphique 9 illustre les modifications des teneurs en énergie et en protéines au cours du cycle de développement de la plante.

Graphique 9

Evolution de la teneur en énergie (VEM) et de la teneur en protéines (MPT) du trèfle blanc (TB) et du ray-grass anglais (RGA) au cours de leur cycle de développement (adapté de Le Gall et Guernion, 2004).



De même, pour la production herbacée, **la saison et le cycle de végétation** ont une influence sur la valeur énergétique, car les teneurs en sucres solubles diminuent du printemps à l'automne et, par conséquent, de la première à la dernière coupe.

Dans une moindre mesure, la nature (texture, profondeur, hydromorphie, topographie, exposition) et la fertilité du sol peuvent influencer la qualité du fourrage. Dans des conditions identiques d'exploitation, une prairie sur sol calcaire présente plus de légumineuses que sur sol acide. **Le sol et le climat** constituent les 2 éléments qui peuvent expliquer des différences entre régions naturelles ou même entre parcelles d'une même exploitation.

La fertilisation est aussi un facteur de variation important ; l'apport d'azote minéral, par exemple, agit rapidement sur la vitesse de croissance et la digestibilité de l'herbe et sur l'absorption des éléments minéraux.

7.2. Facteurs liés à la récolte et à la conservation.

Si le fourrage présente une bonne qualité sur le champ, les opérations de récolte et de conservation qui suivront, doivent garantir le maintien de cette qualité, mais elles ne permettront jamais d'améliorer un produit qui laisse à désirer.

1. De toutes les opérations mises en jeu, **la fauche et l'andainage** sont certainement les plus susceptibles d'introduire de la terre dans le fourrage, avec pour conséquence un accroissement de la teneur en cendres. Il est impératif de régler correctement la hauteur de travail (hauteur de coupe de l'ordre de 5 cm). Afin de respecter au mieux cette hauteur de coupe, les constructeurs ont développé des systèmes de suspension des organes de coupe de plus en plus

performants. D'autre part le recours à une faucheuse conditionneuse permet d'obtenir plus rapidement une teneur en matière sèche donnée et donc de réduire le risque climatique, ce qui est particulièrement intéressant pour la conservation en balles enrubannées.

2. **Le matériel de récolte** (ensileuse, remorque autochargeuse, presse) peut, dans une certaine mesure, avoir des incidences sur la conservation du produit. Dans l'ensilage classique, un hachage fin (2 à 3 cm) du produit et une densité de stockage suffisante sont essentiels. Pratiquement, le véhicule qui assure le tassement du silo doit être suffisamment lourd et avoir le temps d'effectuer son travail.

3. Actuellement **la conservation des fourrages par ensilage** est une technique parfaitement au point que la plupart des agriculteurs maîtrisent bien. L'objectif est d'obtenir une acidification de la masse ensilée par un démarrage rapide de la fermentation anaérobie. L'utilisation d'additifs peut améliorer la qualité du fourrage, mais ceux-ci ne remplacent pas une technique minutieuse d'ensilage. Certains facteurs, comme la souillure par de la terre, le degré de préfanage, la finesse de hachage ou le tassement du silo peuvent influencer la valeur nutritive du fourrage et son ingestibilité.

4. **La conservation** du fourrage sous forme **enrubannée** dépend très largement du pressage (régularité et densité des balles) et de la qualité des films plastiques. Un film de qualité doit offrir des garanties en matière d'étirabilité, de résistance aux déchirures, à la perforation ou à l'usure. Il doit être résistant aux ultraviolets et présenter un certain pouvoir collant pour permettre l'étanchéité entre les couches. Il est conseillé d'appliquer le film plastique en disposant deux fois deux couches avec un recouvrement de 50 %. En cas d'infiltration fortuite, ce recouvrement oblige l'air à parcourir une plus grande distance

avant de pouvoir entrer en contact avec le fourrage.

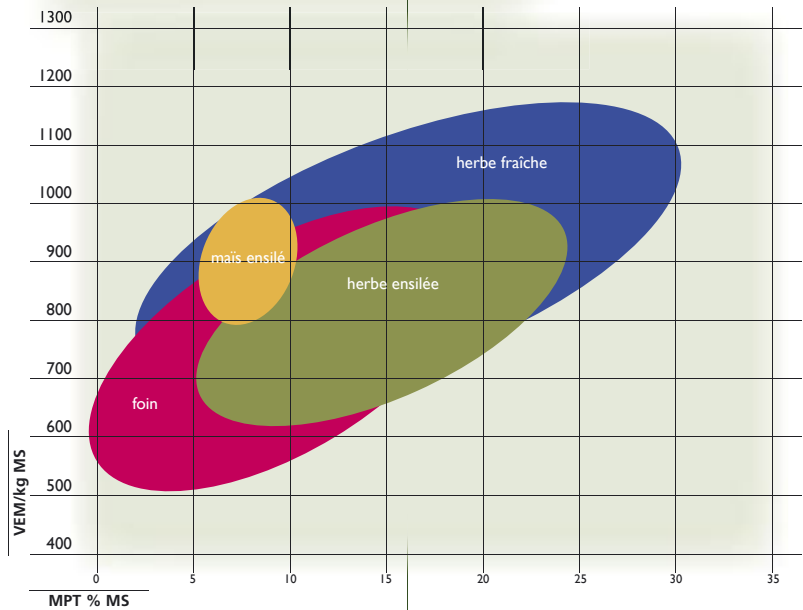
5. En ce qui concerne **la conservation** sous forme de **foin**, la réussite de la fenaison dépend essentiellement des conditions climatiques. Le séchage artificiel est une technique qui permet de réduire les pertes au champ surtout si les mélanges sont riches en légumineuses qui perdent facilement leurs feuilles au fanage.

En définitive, le nombre de facteurs qui influencent la valeur alimentaire d'un fourrage est tel qu'il est impossible de prévoir celle-ci sans passer par l'analyse. Certains critères, comme la couleur, l'odeur, la structure ou le goût de l'ensilage, ont été avancés pour apprécier sa qualité sans l'analyser, mais ils s'avèrent non seulement très subjectifs, mais également peu fiables. Même si une odeur fruitée, douce et légèrement acide laisse présager d'une bonne conservation, la méthode reste très fantaisiste.

Les graphiques 10 et 11 illustrent l'hétérogénéité des fourrages produits ces 12 dernières années en région wallonne. L'hétérogénéité est ici représentée par des ellipses de concentration englobant 95 % des observations contenues dans la base de données.

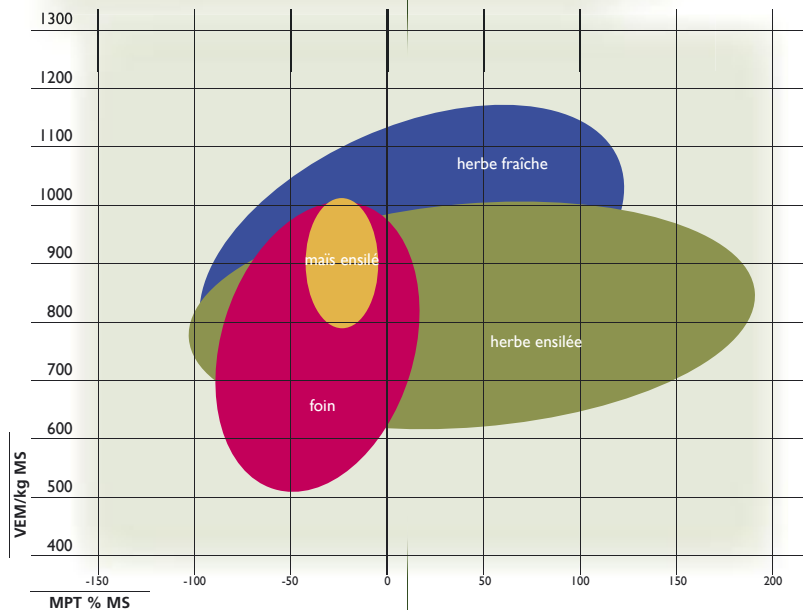
Graphique 10

Hétérogénéité des productions fourragères en fonction des teneurs en énergie (VEM) et en protéines (MPT)



Graphique 11

Hétérogénéité des productions fourragères en fonction de la teneur en énergie (VEM) et de la balance protéique dans le rumen (OEB)



7.3. Valorisation des fourrages par le bétail : exemple de l'ensilage d'herbe

Si les fourrages conservés sont des aliments fort hétérogènes, il est toujours possible de les classer et de les distribuer au mieux aux différentes catégories de bétail de l'exploitation.

Par exemple les ensilages d'herbe produits en région wallonne entre 1994 et 2005, toutes années et coupes confondues, peuvent être répartis dans les classes de valeurs alimentaires définies dans le tableau 5.

Dans 91% des cas, les fourrages ont une valeur alimentaire relativement équilibrée. Toutefois, il existe différents niveaux de richesse dont les valeurs moyennes sont reprises au tableau 6.

Tableau 5

Répartition des ensilages d'herbe de la base de données REQUASUD (1994 – 2005) sur base de leur valeur alimentaire.

	Effectif en %	Protéines (% de la MS)	Energie (VEM/kg MS)
Equilibrée			
Très bonne	2,9	> 20	> 850
Bonne	16,0	17,5 à 20	800 à 970
Moyenne	43,2	13,5 à 17	750 à 950
Insuffisante	28,6	< 13,5	< 850
Sous-total	<u>90,7</u>		
Déséquilibrée			
Riches en énergie, pauvres en protéines	3,4	< 13,5	> 850
Très riches en énergie, moyennement riches en protéines	0,5	13,5 à 20	> 950
Pauvres en énergie, assez riches en protéines	5,4	> 13	< 850
Sous-total	<u>9,3</u>		

Tableau 6

Caractéristiques moyennes des différentes classes de fourrages utilisées.

		VEM /kg MS	DVE g/kg MS	OEB g/kg MS
Classe 1	Très bon	905	78	116
Classe 2	Bon	870	72	83
Classe 3	Moyen	826	60	37
Classe 4	Insuffisant	756	50	12



Compte tenu des différences de qualité observées, **quelles performances peut-on atteindre avec ces fourrages ? Autrement dit, quels fourrages distribuer à quelles catégories animales ?**

La ration doit couvrir les besoins d'entretien (respiration, déplacement, digestion, ...) et de production (croissance, lait ou viande) tout en tenant compte de la capacité d'ingestion qui se trouve limitée par l'effet d'encombrement du fourrage, lorsqu'il est de qualité insuffisante.

Les valeurs alimentaires moyennes (tableau 6) et les besoins journaliers (tableau 7) permettent d'estimer :

- les quantités de fourrages potentiellement ingérables ;
- les kg de lait standard permis par le fourrage ;
- la proportion des besoins de croissance couverts par le fourrage pour des génisses laitières ;
- la proportion des besoins couverts par le fourrage pour des vaches BBB avec un veau.

Tableau 7

Besoins journaliers de différents types de bétail.

	Performances souhaitées	Ingestion (kg de matière sèche /jour)	DVE (g/jour)	OEB (g/jour)
Génisse BBB (350 kg)	850 g/j	7,0	330	
Génisse laitière (320 kg)	700 g/j	6,5	310	
Vache BBB (650kg)		12,0-14,0	470	
Vache laitière (600 kg)	40 l/j	23,0		

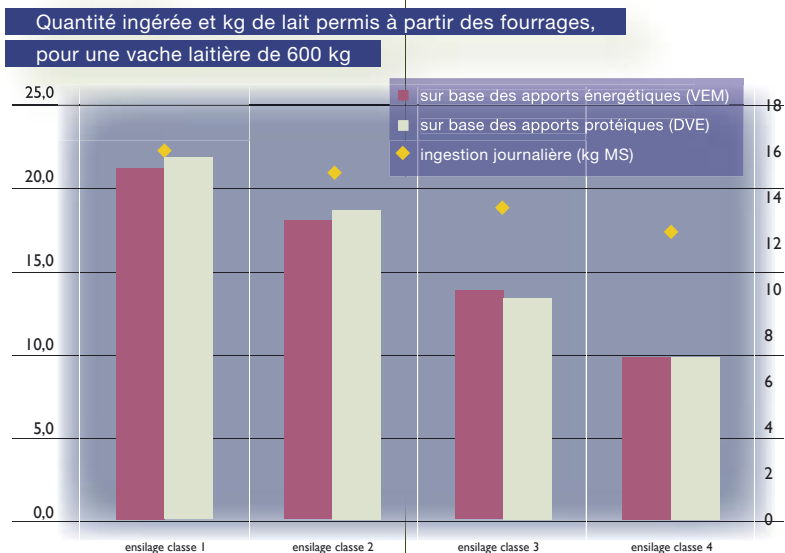
Ces estimations sont illustrées dans les figures suivantes.

Dans les graphiques 12 à 14, on observe que la capacité d'ingestion varie avec la qualité de l'ensilage, quelles que soient les catégories animales considérées (vaches laitières, génisses d'élevage, vaches issues de troupeaux allaitants). Les ensilages de classes 1 et 2, riches en énergie et en protéines contiennent d'ordinaire moins de fibres, ils sont moins encombrants au niveau du rumen, plus digestibles et peuvent, en conséquence, être ingérés en quantité plus importante que les ensilages de classes 3 et 4.

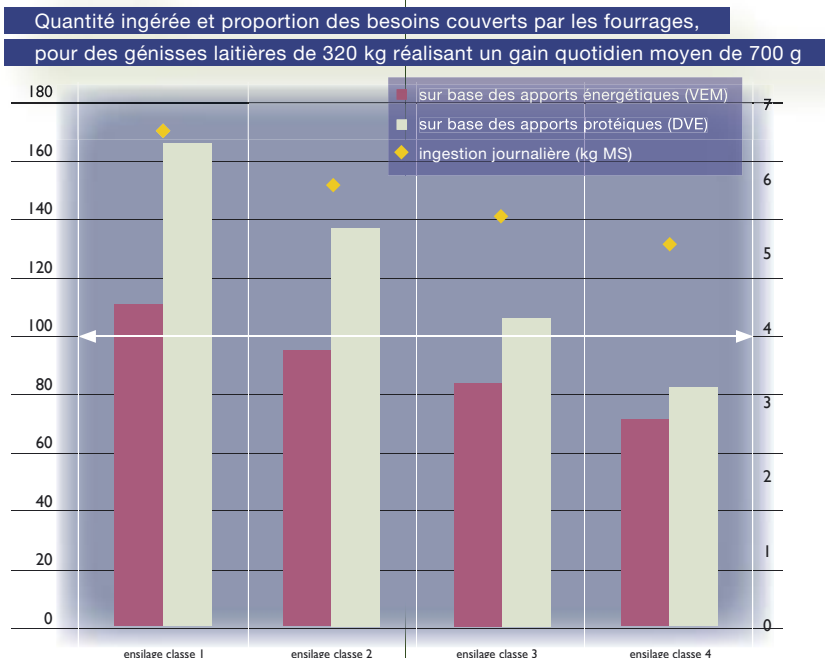
Avec des ensilages de très bonne qualité (classes 1 et 2), la ration de base permet la production de 18 à 21 kg de lait standard. Par contre, avec un ensilage de classe 4, plus grossier, la production de lait est réduite de moitié. La complémentation des fourrages devra évidemment être adaptée à la qualité du fourrage proposé.

Pour des génisses d'élevage, l'objectif de 700 et 850 g/jour peut être atteint avec des fourrages dont la valeur énergétique est de l'ordre de 850 VEM/kg de MS et dont la valeur protéique est comprise entre 55 et 65 g de DVE (ensilages de classe 2). Affourager des génisses avec des ensilages de très bonne valeur alimentaire (ensilages de classe 1) n'est pas recommandé, les apports tant énergétiques que protéiques étant supérieurs à leurs besoins. A l'inverse, réserver systématiquement les moins bons fourrages aux génisses ne permet pas d'atteindre le niveau de performance souhaité et n'aboutira qu'à un allongement de la période d'élevage, option économiquement peu intéressante.

Graphique 12

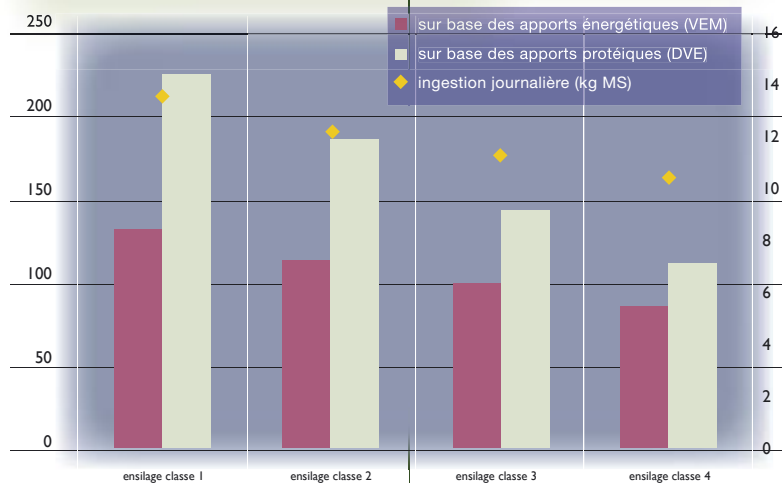


Graphique 13



Graphique 14

Quantité ingérée et proportion des besoins couverts par les fourrages, pour des vaches BBB allaitantes de 650 kg



Les vaches allaitantes restent la catégorie animale la plus apte à valoriser les fourrages de qualité inférieure (ensilages de classe 3 et 4) ; la couverture de leurs besoins est en effet largement dépassée lorsqu'on leur distribue des ensilages plus riches.

Notons que, moyennant une complémentarité adéquate et ajustée en fonction des résultats d'analyse, il est souvent possible de valoriser des fourrages de moindre qualité dans les rations hivernales de tous les types d'animaux présents sur l'exploitation.

8. Conclusions et perspectives

Sans valeur commerciale directe, les ressources fourragères sont néanmoins des productions à part entière et doivent être gérées comme telles, d'autant plus qu'elles restent le constituant essentiel de tout système d'alimentation des ruminants. Cependant leur hétérogénéité naturelle rend impossible toute comparaison à des standards existants et une utilisation optimale passe donc par la détermination analytique de leur valeur alimentaire et de leur composition minérale.

Cette note constitue une première synthèse des résultats d'analyse de fourrages (herbe, ensilage d'herbe, ensilage de maïs et foin) contenus dans la base de données du réseau REQUASUD. Elle couvre la période 1994 - 2005 et concerne tant les valeurs alimentaires que la teneur en minéraux. Cette approche globale de la caractérisation des fourrages produits

et climatiques. Ainsi, contrairement aux idées reçues, il s'avère que les produits herbagers peuvent atteindre des valeurs énergétiques élevées et que, dans 90% des cas, l'ensilage d'herbe présente un bon équilibre énergieprotéines. Par conséquent, il reste un aliment de base intéressant, dont la complémentation est relativement aisée. Par contre, une



en région wallonne donne une dimension nouvelle aux résultats ponctuels d'analyses en permettant de visualiser la richesse et la variabilité des productions fourragères régionales. Elle constitue de ce fait un référentiel de base d'aide à l'exploitation des ressources fourragères en général.

Après un rappel de quelques principes fondamentaux et recommandations en matière de production fourragère, de conservation et d'alimentation, ce document décrit essentiellement des tendances susceptibles d'orienter les systèmes de production actuels et futurs en fonction de l'évolution des conditions économi-

alimentation à base d'ensilage de maïs est beaucoup plus délicate et nécessitera toujours des complémentations protéique et minérale adéquates.

Suite à l'amélioration des performances animales et l'évolution des techniques d'alimentation, avec, notamment, la simplification des régimes et l'utilisation de fourrages plus productifs, les minéraux exigent, à l'heure actuelle, une attention toute particulière. Certains éléments minéraux ne posent pas de problème : soit les fourrages en contiennent assez, comme c'est le cas pour le potassium ou le fer, soit ils sont présents d'office dans

Glossaire

la plupart des compléments minéraux, comme c'est le cas pour le sodium. Mais les teneurs en phosphore, magnésium et calcium sont à surveiller, de même que celles en cuivre, zinc et manganèse qui sont souvent insuffisantes pour couvrir les besoins de l'animal. Dans ce cas il est nécessaire d'assurer un apport complémentaire dans la ration.

Enfin cette synthèse montre de façon évidente l'utilité des analyses aussi bien du point de vue économique qu'environnemental et ce au niveau de la gestion des stocks, de l'établissement des rations, de la complémentation ou même de la gestion des productions fourragères en général. A cette fin, les laboratoires du réseau REQUASUD sont, pour l'exploitant agricole, de précieux outils de proximité permettant de caractériser la qualité des productions fourragères. Le transfert de la chimie classique aux techniques rapides d'analyse telle que la spectrométrie dans le proche infrarouge, utilisée en commun dans tous les laboratoires adhérant au réseau, est un atout supplémentaire. A l'avenir, grâce au développement de ces nouvelles technologies, il sera vraisemblablement possible d'aller plus loin dans la caractérisation des fourrages en abordant, par exemple, les paramètres de fermentescibilité. La mise au point de nouvelles bases de données, concernant d'autres fourrages susceptibles d'être produits dans notre région (céréales immatures, ensilages mixtes, ...), sera également un plus.

Finalement, la base de données existante et à venir permettra l'établissement de modèles d'estimation de l'évolution des productions fourragères en région wallonne. Elle pourra dans ce cadre être considérée comme un outil d'aide à la décision permettant à l'agriculteur de gérer au mieux ses ressources fourragères.

A.D.F.	Acid Detergent Fiber
A.D.L.	Acid Detergent Lignin
BBB	Blanc Bleu Belge
CB	teneur en cellulose brute
CRA-W	Centre wallon de Recherches agronomiques
dMO	digestibilité de la matière organique
DVE	= PDI dans le système Français ou DVE dans le système Hollandais
FG	fourrages grossiers
iK	indice de nutrition du potassium
iP	indice de nutrition du phosphore
MPT	matières protéiques totales
MS	matière sèche
N.D.F.	Neutral Detergent Fiber
OEB	bilan des protéines dégradables
PBD	protéines brutes digestibles
PDI	protéines digestibles dans l'intestin dans le système Français = DVE dans le système Hollandais
R ²	coefficient de détermination
RGA	ray grass anglais
SEP	erreur standard de prédiction
SPIR	spectrométrie dans le proche infrarouge
TB	trèfle blanc
UF	unité fourragère
UFL	unité fourragère lait dans le système français ou VEM dans le système hollandais
UFV	unité fourragère viande dans le système français ou VEVI dans le système hollandais
VEM	unité fourragère lait dans le système hollandais ou UFL dans le système français
VEVI	unité fourragère viande dans le système hollandais ou UFV dans le système français
VS	Valeurs de structure
VS _{FG}	Valeur de structure des concentrés
VS _S	Valeur de structure des suppléments
%Conc	% de concentrés
%S	% de suppléments

Références bibliographiques

HACHEZ J.P., FLABA J. et PAUWELS H., 1996. Brochure : La vache allaitante. Ed. Ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture, 80 p.

Collectif, 1993. Brochure : L'alimentation de la vache laitière. Ed Ministère de l'Agriculture, 72 p.

BERTHIAUME R., 1998. Stratégies permettant de maximiser la valeur alimentaire des fourrages. Symposium sur les bovins laitiers. Conseil des productions animales du Québec, www.agrireseau.qe.ca.

DE BRABANDER D.L., DE BOEVER J.L., DE SMET A.M., VANACKER J.M., BOUCQUÉ Ch.V., 1996. Brochure: Evaluation de la structure physique dans l'alimentation de la vache laitière. Ed Ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture, 28 p

INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Editions R. Jarrige, 479 p.

INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Edition QUAE, 307 p.

KNODEN D., LAMBERT R., NIHOUL P., STILMANT.D., POCHET.P., CREMER S., LUXEN P., 2007. Fertilisation raisonnée des prairies. Fourrages-Mieux asbl, 45 p.

LE GALL A. et GUERNION J.-M., 2004. Associations Graminées- Trèfle blanc-Le paturage gagnant. Collection "synthèse". Institut de l'élevage, 64 p

LOUE A., 1993. Oligoéléments en agriculture. Editions Nathan, 577 p.

SALETTE J. et HUCHE L., 1991. Diagnostic de l'état de nutrition minérale d'une prairie par analyse de végétal : principes, mise en œuvre, exemples. *Fourrages*, n° 125, 3-18.

THELIER-HUCHE L., FARRUGGIA A., CASTILLON P., 1999. L'analyse d'herbe: un outil pour le pilotage de la fertilisation phosphatée et potassique des prairies naturelles et temporaires. Institut de l'élevage, 31 p..

VANBELLE M., ARNOULD R., DESWYSEN A., MOREAU I., 1981. L'ensilage, un problème d'actualité. I.R.S.I.A. Comité pour l'étude de l'alimentation du bétail, section ensilage. 89 p.

WYSS U. Appréciation de la qualité des ensilages – fiche technique pour la pratique, ALP actuel 2005, n°18

édité et distribué par :
ASBL **REQUASUD**
chaussée de Namur, 24
B - 5030 Gembloux
Belgique

Dépôt légal : D/2006/8689/1

Conception graphique : **filigrane**