



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département des Sciences Agronomiques

Polycopié de cours :
« Ressources fourragères »

Destiné aux étudiants de Master I :
« Production et Nutrition Animale »

Préparé par :
Dr ZIRMI-ZEMBRI Nacima

Année universitaire 2025/2026

Intitulé du Master : Production et Nutrition Animale

Semestre : 1

Intitulé du cours : Ressources fourragères

Crédit : 06

Coefficient : 03

Durée : 13 semaines

Charge horaire semestrielle : 67h30 mn

Charge horaire hebdomadaire : 03h de Cours et 1h30 mn de Travaux Pratiques

Travail personnel : 82h30 mn

**Modalité d'évaluation : Control Continu pour les TP (40 %) et
Examen final pour le cours (60%)**

Enseignante de cours et de TP : Dr. ZEMBRI Nacima épouse ZIRMI (MCB)

Contact Email : nacima.zembri@ummt.dz

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure 01	Carte mentale de la matière « Ressources fourragères ».	01
Figure 02	Exemple de Ressources fourragères.	05
Figure 03	Les différents modes d'utilisation des plantes fourragères.	09
Figure 04	Structure générale d'une graminée.	11
Figure 05	Structure générale d'une graminée au stade floraison.	11
Figure 06	Structure des épillets (épillets uniflore et pluriflore).	12
Figure 07	Les différents types d'inflorescences des graminées.	13
Figure 08	Représentation des stades phrénologiques des graminées.	14
Figure 09	Représentation des différentes parties d'une graminée annuelle.	15
Figure 10	Aspect d'une graminée cespiteuse.	16
Figure 11	Aspect d'une graminée gazonnante.	16
Figure 12	Structure générale d'une légumineuse.	17
Figure 13	Représentation de la structure d'une feuille d'une légumineuse.	18
Figure 14	Exemples de tiges de légumineuse.	19
Figure 15	Représentation de la composition de la fleur de légumineuse.	19
Figure 16	Exemple de nodosités sur les racines d'une plante.	20
Figure 17	Représentation des premiers stades de développement des légumineuses.	21
Figure 18	Représentation des stades végétatifs des légumineuses.	21
Figure 19	Vue du fruit de légumineuse (gousse de luzerne).	22
Figure 20	Époque optimale de récolte de fourrage.	32
Figure 21	Effet de la teneur en lignine d'une plante sur sa digestibilité.	33
Figure 22	Relation entre la valeur énergétique des fourrages et leur teneur en parois végétales.	34
Figure 23	Relation entre la valeur énergétique des fourrages et leur teneur en protéines.	36
Figure 24	Évolution de la biomasse totale des différentes parties de la plante entière de Maïs.	38
Figure 25	Exposition du foin fauché au soleil sous forme d'andains.	44
Figure 26	Séchage par ventilation en grange.	45
Figure 27	Activité des micro-organismes dans un ensilage.	50
Figure 28	Les composants d'un système fourrager.	60
Figure 29	Représentation des différentes zones pédoclimatiques d'Algérie.	65

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 01	Évolution de la composition morphologique d'une graminée fourragère : Le dactyle.	24
Tableau 02	Évolution de la composition morphologique d'une légumineuse fourragère : la luzerne.	25
Tableau 03	Composition chimique de la plante entière de Maïs selon le stade de maturation du grain.	38
Tableau 04	Valeur nutritive de la plante entière de Maïs à différents stades de maturation des grains.	39
Tableau 05	Modification de la composition chimique, de digestibilité et d'ingestibilité entre fourrage vert et foin.	48
Tableau 06	Barème d'appréciation de la qualité de conservation des ensilages.	57

Table des matières

Introduction	1
Chapitre I : Introduction au ressources fourragères	4
I-1. Objectifs du premier chapitre.....	4
I-2. Généralités	4
I-3. Définitions.....	4
I-3-1. Les formes de cultures fourragères	5
I-3-2. Le choix des cultures fourragères	6
I-4. Les caractéristiques des plantes fourragères.....	6
I-5. Les prairies	7
I-5-1. Les fourrages annuels.....	7
I-5-2. Les fourrages pluriannuels (prairies)	7
I.6. Les modes d'utilisation des plantes fourragères	9
Chapitre II : Origine botanique des ressources fourragères	10
II.1. Objectifs du deuxième chapitre.....	10
II.2. Introduction	10
II.3. Les Graminées.....	10
II.3.1. Les caractères habituels des graminées	10
II.3.2. La phénologie des graminées	13
II.3.3. Pérennité des graminées.....	14
II.4. Légumineuses.....	17
II.4.1. Les caractéristiques des légumineuses:	18
II.4.2. Principaux stades de développement d'une légumineuse (Cas de la luzerne).....	20
II.4.3. Les caractéristiques des légumineuses en rapport avec un usage fourrager.....	22
Chapitre III : Valeur alimentaire des ressources fourragères	23
III.1. Objectifs du Troisième chapitre.....	23
III.2. Introduction.....	23
II.3. Morphologie des graminées et des légumineuses fourragères	24
III.4. Évolution des cycles végétatifs des graminées et des légumineuses fourragères	25
III.5. Composition chimique des graminées et légumineuses fourragères	26
III.5.1. Relation entre la composition morphologique et la composition chimique.....	26

III.5.2. La composition chimique des graminées et légumineuses fourragères	27
III.6. Valeur alimentaires des graminées et légumineuses fourragères	30
III.6.1. Digestibilité et valeur nutritive des graminées et des légumineuses	30
III.6.2. La valeur énergétique des fourrages	34
III.6.3. La valeur azotée des fourrages.....	35
III.7. Valeur alimentaire de Céréale plante entière.....	37
III.7.1. Évolution de la composition chimique de la plante entière de Maïs	38
III.7.2. Valeur alimentaire des Maïs fourragers plante entière	39
Chapitre IV : Récolte et conservation des ressources fourragères	40
IV.1. Objectifs du quatrième chapitre.....	40
IV.2. Introduction	40
IV.3. Récolte et conservation des fourrages par voie sèche	41
IV.3.1 Fanage	41
IV.3.2. Époque de récolte.....	41
IV.3.3. Pertes au cours du fanage	42
IV.3.4. Conduite du fanage au sol	43
IV.3.5. Séchage du foin par ventilation	45
IV.3.6. La déshydratation.....	45
IV.3.7. Appréciation de la qualité du foin.....	46
IV.3.8. Valeur alimentaire des foins récoltés	47
IV.4. Récolte et conservation des fourrages par voie Humide : Ensilage	48
IV.4.2. Transformations biochimiques dans le fourrage	49
IV.4.3. Réalisation d'un ensilage	52
IV.4.4. Transformations post-fermentaires	55
IV.4.5. Appréciation des résultats de la fermentation	55
Chapitre V : Système fourrager	58
V.1. Objectif du chapitre 5	58
V.2. Système fourrager: un concept, plusieurs définitions	58
V.2.1. Le Système de culture	58
V.2.2. Le système d'élevage	59
V.3. Les principes de fonctionnement du système fourrager.....	61

V.3.1. Le système de culture conditionne l'offre de fourrage	61
V.3.2. Le système d'élevage conditionne les rations	62
V.4. Le système fourrager dispose des outils de l'alimentation du troupeau	62
V.5. Les facteurs agissants sur les pratiques de la gestion du système fourrager	63
V.6. Les pratiques de la gestion du système fourrager	63
V.6.1 Le bilan fourrager	63
V.6.2. Le calendrier fourrager	64
V.7. La diversité des systèmes fourragers	64
V.7.1. La typologie des systèmes fourragers	64
V.7.2. Les facteurs combinés pédoclimatiques	64
V.7.3. La culture des éleveurs	65
V.8. Les systèmes fourragers en Algérie	65
Conclusion	68
Références bibliographiques.....	69

Introduction au cours « ressources fourragères »

Le cours est composé de cinq chapitres (unités d'apprentissage), chaque unité est traitée à travers des séquences pédagogiques permettant l'assimilation des concepts prévus, cette dernière est consolidée par des activités d'apprentissage (TP) où ces notions sont mises en œuvre (Figure 1) :

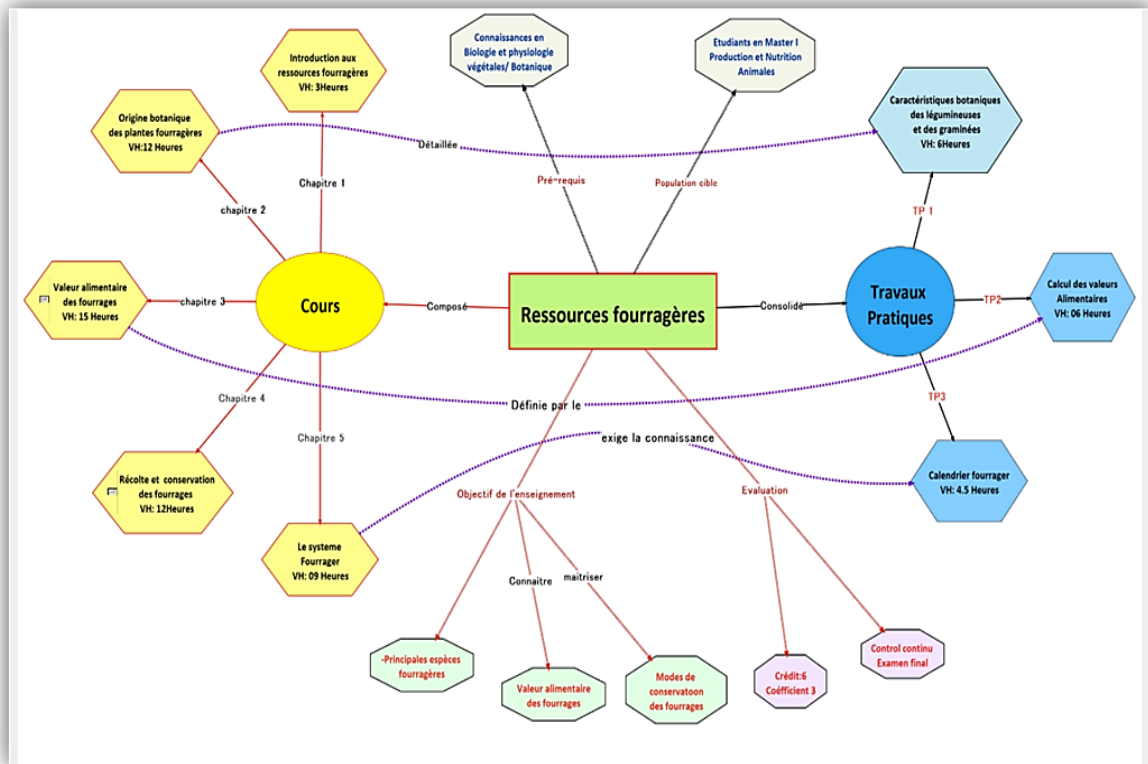


Figure 01 : Carte mentale de la matière « Ressources fourragères ».

Le premier chapitre (Introduction aux ressources fourragères) : comprend des rappels sur les notions fondamentales des ressources fourragères, indispensables pour la suite du cours. Ce chapitre permet de revenir sur les notions de base des ressources fourragères.

Le deuxième chapitre (Origine botanique des ressources fourragères) : présente les origines botaniques des espèces les plus utilisées en alimentation animale, en parallèle grâce aux premier TP, l'étudiant va lui-même identifier les caractéristiques

botaniques des graminées et légumineuses fourragères à partir de différents échantillons d'espèces fourragères mises à sa disposition.

Le troisième chapitre (Valeur alimentaire des ressources fourragères), a pour objectif d'introduire la notion de valeur alimentaire d'un fourrage, qu'il s'agisse de graminées fourragères, légumineuses fourragères ou plantes entières. L'appui du deuxième TP est indispensable, durant lequel des calculs de valeurs alimentaires des différentes catégories de ressources fourragères sont effectués.

Le quatrième chapitre (Récolte et conservation des fourrages) aura accès sur les différentes méthodes de conservation des ressources fourragères, par voie sèche et par voie humide de façon à conserver leur valeur alimentaire.

Dans le cinquième chapitre (Système fourrager) ; nous allons aborder la notion de système fourrager, qui est l'ensemble des moyens de production, des techniques et des processus qui, sur un territoire ont pour fonction d'assurer la correspondance entre le ou les systèmes de culture et le ou les systèmes d'élevage. Le système fourrager est donc une chaîne formée d'un certain nombre de maillons, où le système d'élevage constitue l'extrémité de cette chaîne. En complément de ce cinquième chapitre, le troisième et dernier TP consolide les notions abordées et de ce fait pratiquées sous forme d'un calendrier fourrager.

Prérequis

Pour pouvoir suivre cette unité d'enseignement, il faut avoir des connaissances de base sur :

- La biologie végétale
- La physiologie végétale
- La botanique

Les compétences visées par cette unité d'enseignement

L'étudiant doit être capable de :

- Décrire les principales espèces fourragères;
- Illustrer l'intérêt des ressources fourragères dans l'alimentation des animaux d'élevage;
- Déterminer la valeur alimentaire des fourrages;
- Maîtriser les différents modes de récolte et de conservation de fourrages;
- Élaborer un calendrier fourrager.

Chapitre I : Introduction aux ressources fourragères

I-1. Objectifs du premier chapitre

- Définir la ressource fourragère
- Distinguer les classes de fourrages
- Illustrer les différentes formes de fourrages
- Rechercher les caractéristiques des ressources fourragères
- Apprécier les types de prairies

I-2. Généralités

Trois à quatre milliards d'hectares, soit près de 80 % de toutes les terres utilisées pour la production agricole, servent à nourrir le bétail.

La production animale prend une importance croissante dans les pays en développement: la demande en produits de l'élevage a connu une croissance spectaculaire au cours des dernières décennies et devrait continuer à progresser ; on parle de « révolution de l'élevage ».

L'amélioration des productions animales dépend non seulement de l'amélioration génétique et de la maîtrise de la santé du bétail, mais aussi pour beaucoup de l'alimentation des animaux. En plus des plantes et des pâturages naturels, on applique des techniques culturales adéquates (travail du sol, semis, entretien) pour produire des fourrages complémentaires. Ce sont les « cultures fourragères ».

Des considérations éthiques amènent à nourrir les ruminants avec des fourrages plutôt qu'avec des aliments à base de céréales concurrents de l'alimentation humaine. Problème environnemental considérable inhérent à l'élevage des ruminants : l'émission de CH₄, un important GES, provenant de la fermentation dans le rumen.

I-3. Définitions

Le terme fourrage désigne l'ensemble des aliments ligneux consommés par les herbivores (figure 2). Ces végétaux appartiennent à diverses familles mais surtout à celles des graminées, des légumineuses, des astéracées et des chénopodées.



Figure 02 : Exemple de Ressources fourragères.

On distingue généralement **5 classes de fourrages** :

- ✓ **Fourrages verts** : herbe, Maïs en vert, céréales en vert,
- ✓ **Fourrages ensilés** : ensilages d'herbe, de Maïs plante entière, ...
- ✓ **Fourrages secs** : foin, regain, ...
- ✓ **Fourrages déshydratés artificiellement** : cubes de luzerne, ...
- ✓ **Pailles et rafles** : pailles de céréales, de pois, rafle de Maïs, ...

I-3-1. Les formes de cultures fourragères

Elles sont nombreuses; on peut semer :

- **De l'herbe** pour créer une prairie améliorée qui sera ensuite pâturée ou fauchée pour faire des réserves;
- **Une plante annuelle** qui sera intégralement récoltée pour faire de l'ensilage ou pour stocker ses graines;
- **Des espèces pérennes** que l'on fauche de temps en temps pour obtenir du fourrage vert et qui repoussera, ...etc.

I-3-2. Le choix des cultures fourragères : Il est multiple :

- On choisit d'abord le mode de culture (pure, en dérobé après une céréale, ...etc.) ;
- Le mode d'exploitation (pâture, coupe) ;
- Le mode de conservation (stockage en vert ou en sec) ;
- L'espèce selon ses qualités (plante tendre, plante riche en protéines ou à haut rendement ;
- Plante produisant des grains pour une alimentation riche de complément, ...etc.).

Remarque

L'ensemble des surfaces consacrées aux pâturages, aux parcours naturels, aux produits de post récolte et à l'affouragement en stabulation, bases de l'alimentation des animaux herbivores, représente actuellement 25% des terres émergées, ce qui correspond à des biomasses annuelles de fourrage considérables.

I-4. Les caractéristiques des plantes fourragères

Les plantes sont définies suivant trois groupes de caractéristiques:

a- Les caractères biologiques

- Morphologie de la plante ;
- Famille botanique ;
- Mode de reproduction ;
- Régularité de la croissance végétale ;
- Adaptation au milieu.

b- Les caractères Agronomiques

- Facilité de mise en place ;
- Compétitivité par rapport aux autres adventices ;
- Aptitude à l'association avec d'autres plantes ;
- Résistance aux maladies et parasites ;
- Tenue au pâturage.

c- Les qualités fourragères :

- L'aptitude à être consommée: l'appétibilité, l'ingestibilité ;
- Valeur nutritive: teneur en énergie, azote, minéraux ;
- Plasticité aux modes d'exploitation.

Les espèces fourragères cultivées, très nombreuses, ont été repérées dans les milieux naturels parce qu'elles étaient bien consommées par le bétail, puis elles ont été sélectionnées génétiquement sur différents caractères. Elles appartiennent principalement à deux familles botaniques : les graminées ou Poacées (herbacées) et les légumineuses (herbacées et ligneuses).

Dans la nature, les graminées sont moins diversifiées que les légumineuses; on trouve environ 10 000 espèces de graminées et 17 000 espèces de légumineuses.

I-5. Les prairies

Les espèces fourragères sont classées en deux grands groupes:

I-5-1. Les fourrages annuels : Ce sont toutes les cultures fourragères occupant le sol au maximum un an, soit:

- **En culture pure:** Avoine fourrager, trèfle, sorgho fourrager, Maïs fourrager, Colza Fourrager, Ray Grass Italien...
- **En culture associée :** Vesce –Avoine, Pois –Avoine...

I-5-2. Les fourrages pluriannuels (prairies) : La prairie est un peuplement végétal composé principalement de graminées (Poacées) et de légumineuses (Fabacées) fourragères. Elle est destinée à l'alimentation du bétail, principalement celle des ruminants.

La composition botanique d'une prairie peut être fort différente selon l'âge de la prairie, les techniques d'exploitation (fauche, pâturage), la fertilisation...etc.

On distingue plusieurs types de prairies :

I.5.2.1. La prairie permanente (prairie naturelle) : C'est une surface enherbée dont le peuplement végétal est à flore complexe et de durée illimitée, donc non assolée (Assolement : méthode consistant à alterner différentes cultures sur un terrain).

Ce sont des prairies non semées ou des prairies semées depuis plus de 10 ans. Elle représente le système originel exclusif de l'alimentation des animaux domestiques et le système le plus extensif d'affouragement (approvisionnement en fourrage des animaux d'une ferme).

Elle est composée d'espèces pérennes comme le ray-grass anglais, la fétuque des prés, la fléole, le dactyle et le trèfle blanc.

I.5.2.2. La prairie temporaire : Elle entre régulièrement dans la rotation (1 an à 4-5 ans). Ensemencée en graminées fourragères (ray-grass, fétuque, dactyle ...) en culture pure, en mélange de graminées, ou en mélange avec des espèces légumineuses (trèfle, luzerne...). Les espèces qui la composent sont peu pérennes mais très productives. On retrouve notamment le ray-grass italien, le ray-grass hybride, le trèfle violet...etc.

I.5.2.3. La prairie Artificielle : Ce sont des prairies de 0 à 5 ans ensemencées exclusivement en légumineuses fourragères (luzerne, sainfoin, trèfles...) en culture pure ou en mélange. Son intérêt principal réside dans la richesse en protéines de son fourrage et dans l'azote qu'elle accumule dans le sol grâce aux bactéries symbiotiques. En règle générale, les prairies temporaires sont fauchées alors que les prairies permanentes sont le plus souvent pâturées ou exploitées sous régime mixte fauche/pâturage.

I.6. Les modes d'utilisation des plantes fourragères

Les ressources fourragères se présentent sous diverses formes, classes et ainsi les modes d'exploitation varient d'un élevage à un autre (figure 03).

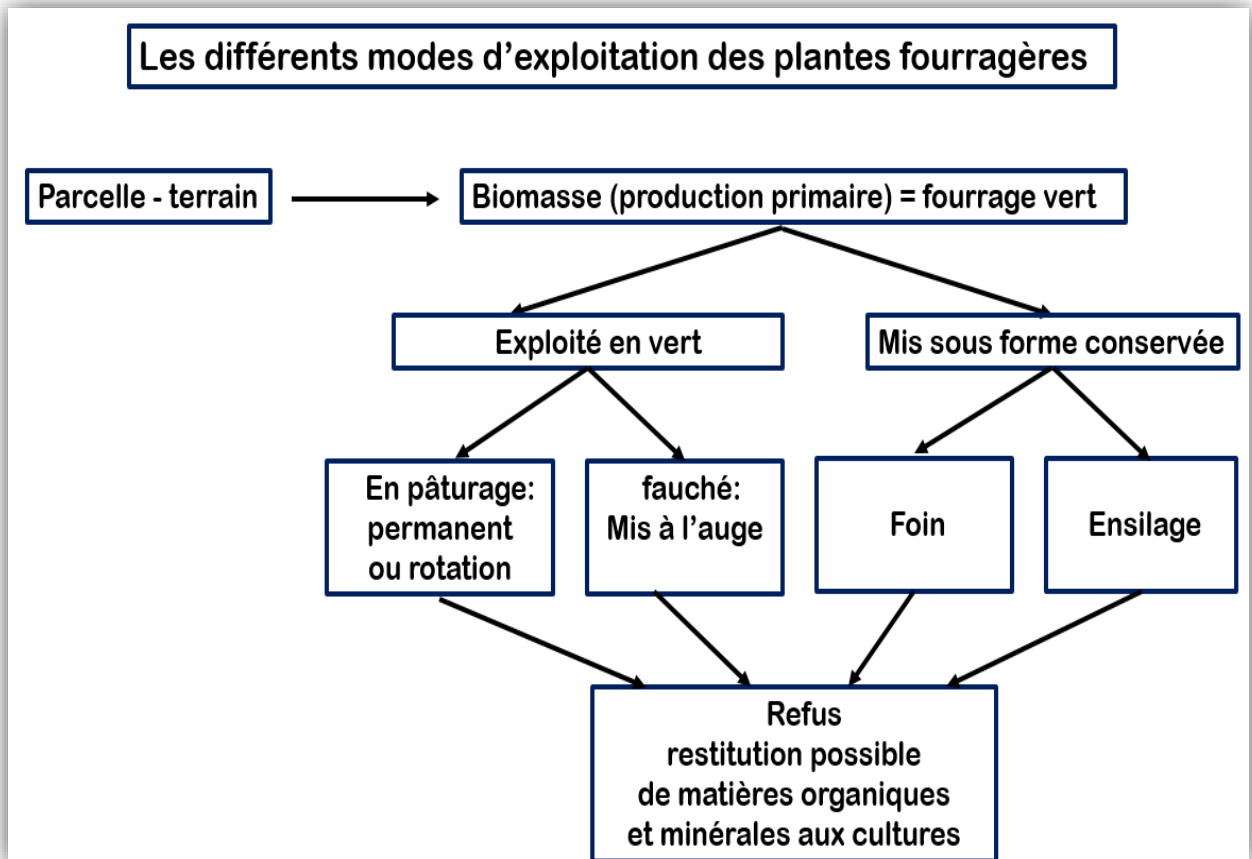


Figure 03 : Les différents modes d'utilisation des plantes fourragères.

Chapitre II : Origine botanique des ressources fourragères

II.1. Objectifs du deuxième chapitre

- Définir les caractères de sélection des espèces fourragères ;
- Examiner les caractères phénologiques des graminées ;
- Rechercher l'apport des légumineuses en tant que ressource fourragère ;
- Apprécier l'importance fourragère de la luzerne.

II.2. Introduction

De nombreuses espèces fourragères cultivées ont été repérées dans les milieux naturels ont été sélectionnées génétiquement. Les caractères de sélection sont :

- Adaptation à différents milieux (la température, besoin en eau et sol) ;
- Résistance aux maladies ou à des ravageurs ;
- Capacité de production assurant une biomasse importante ;
- Production de semence ;
- Leur valeur alimentaire.

II.3. Les Poacées (Graminées)

Les Poacées (graminées) sont des plantes monocotylédones, aux épis peu voyants, aux fruits réduits à des grains (caryopses) et au port herbacé comportant environ 10 000 espèces. Certaines sont à la base de l'alimentation des herbivores, d'autres cultivées pour l'alimentation humaine, d'autres sont utilisées pour l'ornement, la construction, les bioénergies (Ray-grass anglais, fléole, riz, Maïs, canne à sucre, bambou...). Généralement, elles forment des peuplements denses qui forment un écosystème particulier : la prairie.

II.3.1. Les caractères habituels des graminées :

Ils peuvent être (figure 04) :

- ✓ Des racines fasciculées à partir du collet de la plante;
- ✓ Des tiges appelées chaumes, composées de nœuds et d'entrenœuds :

- ✓ Des feuilles naissant aux nœuds et formant une gaine qui se prolonge en limbe allongé; entre gaine et limbe présence ou non d'une ligule ;

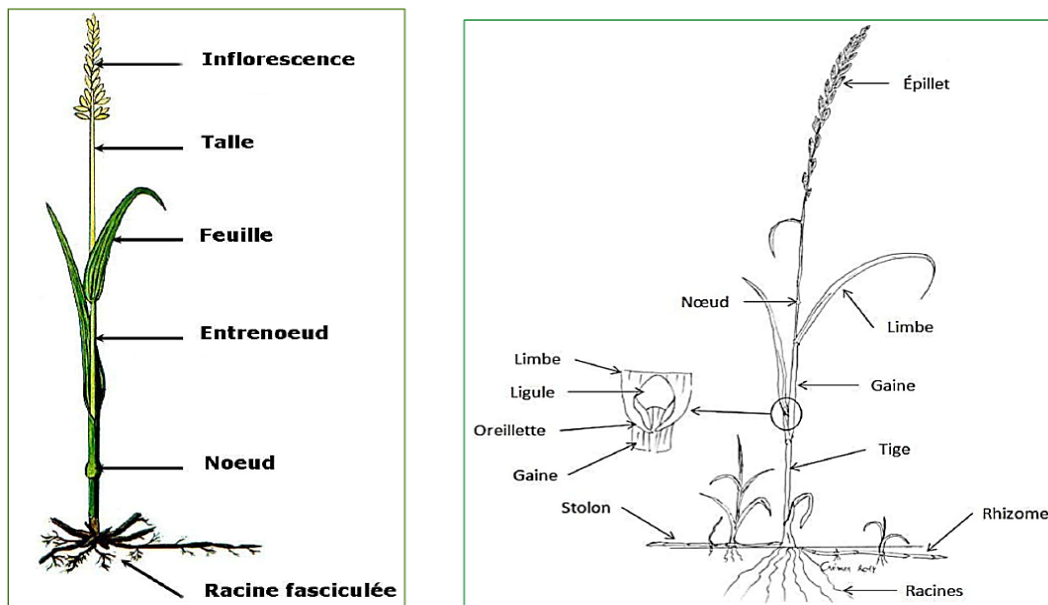


Figure 04 : Structure générale d'une graminée (Crémer, 2014).

- ✓ Des fleurs très petites et nombreuses (figure 05), enveloppées chacune par deux glumelles (une inférieure et une supérieure) faites de deux pièces opposées, sorte de coquilles protégeant l'ovule puis la graine ;

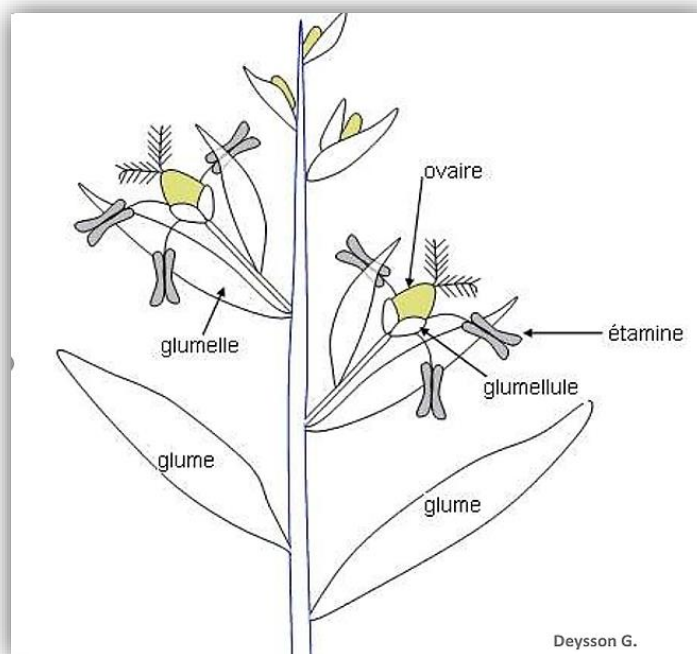


Figure 05 : Structure générale d'une graminée au stade floraison.

- ✓ Des épillets (figure 06) ; unités élémentaires de l'inflorescence composées d'une ou plusieurs fleurs et entourées par deux glumes, une inférieure et une supérieure;

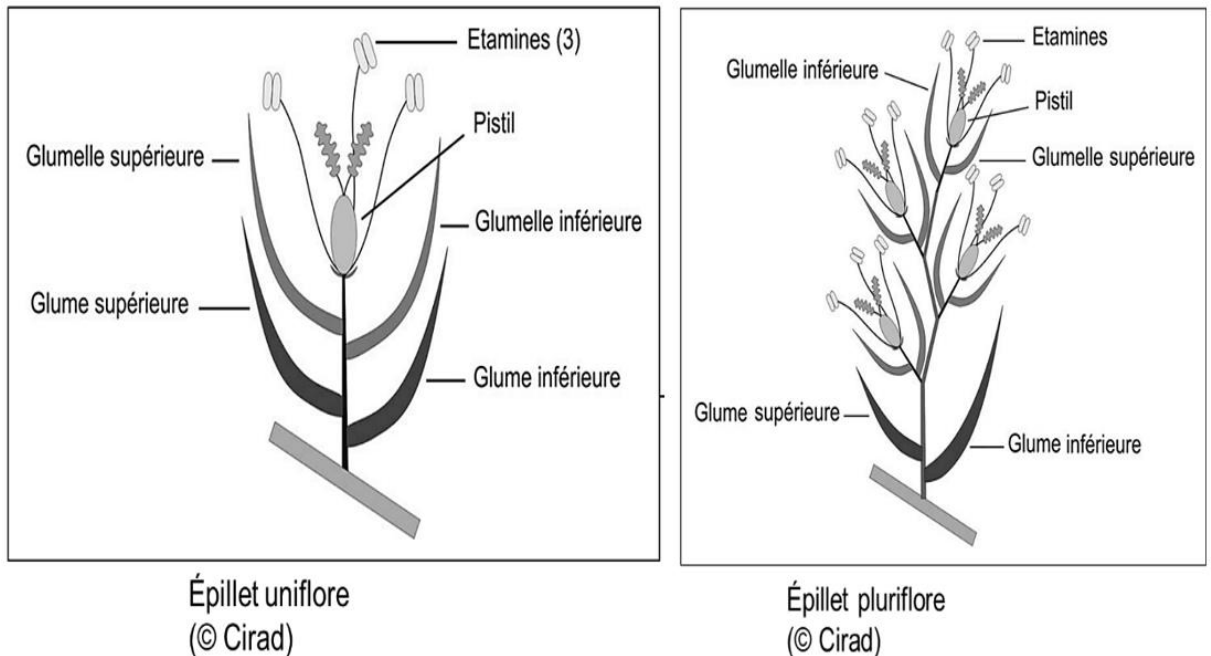


Figure 06 : Structure des épillets (épillets uniflore et pluriflore)

- ✓ Des inflorescences au sommet de la tige composées d'épillets regroupés en épis (figure 07), en panicules ou en racèmes paniculés, digités, subdigités ou géminés.

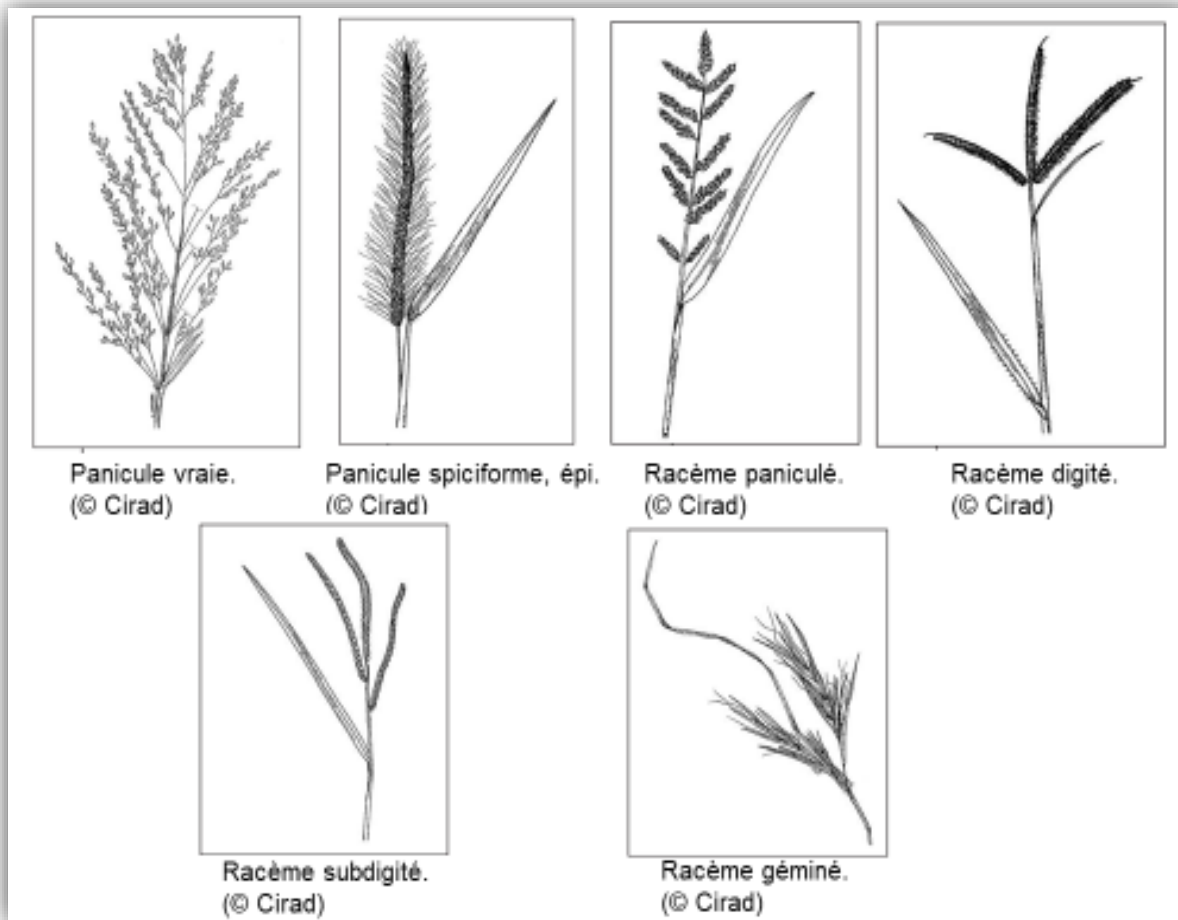


Figure 07 : Les différents types d'inflorescences des graminées

II.3.2. La phénologie des graminées

Les graminées passent par plusieurs Stades de croissance et de reproduction (Figure 08) :

- a- Phase végétative :** Cette phase commence à la levée de la graine et se termine à l'apparition des premiers nœuds, avec l'émergence des premiers ensembles gaines-feuilles et éventuellement de talles latérales.
- b- Montaison :** Cette étape couvre l'élongation de la tige et l'apparition des nœuds. Le bourgeon floral se trouve à l'extrémité de la tige, caché par la gaine foliaire supérieure.
- c- Épiaison :** Ce stade est celui de l'apparition du bourgeon floral hors de la dernière gaine et différenciation de l'inflorescence.

- d- Floraison :** Ce stade est celui de l'apparition des fleurs et des organes reproducteurs (pistil et étamines).
- e- Fructification :** Cette étape couvre la formation des graines jusqu'à leur maturité.
- d- Dissémination des semences :** Au cours de cette phase, les graines, avec ou sans leurs enveloppes selon les espèces, sont mûres et se détachent de la plante. La tige fertile meurt et se dessèche.

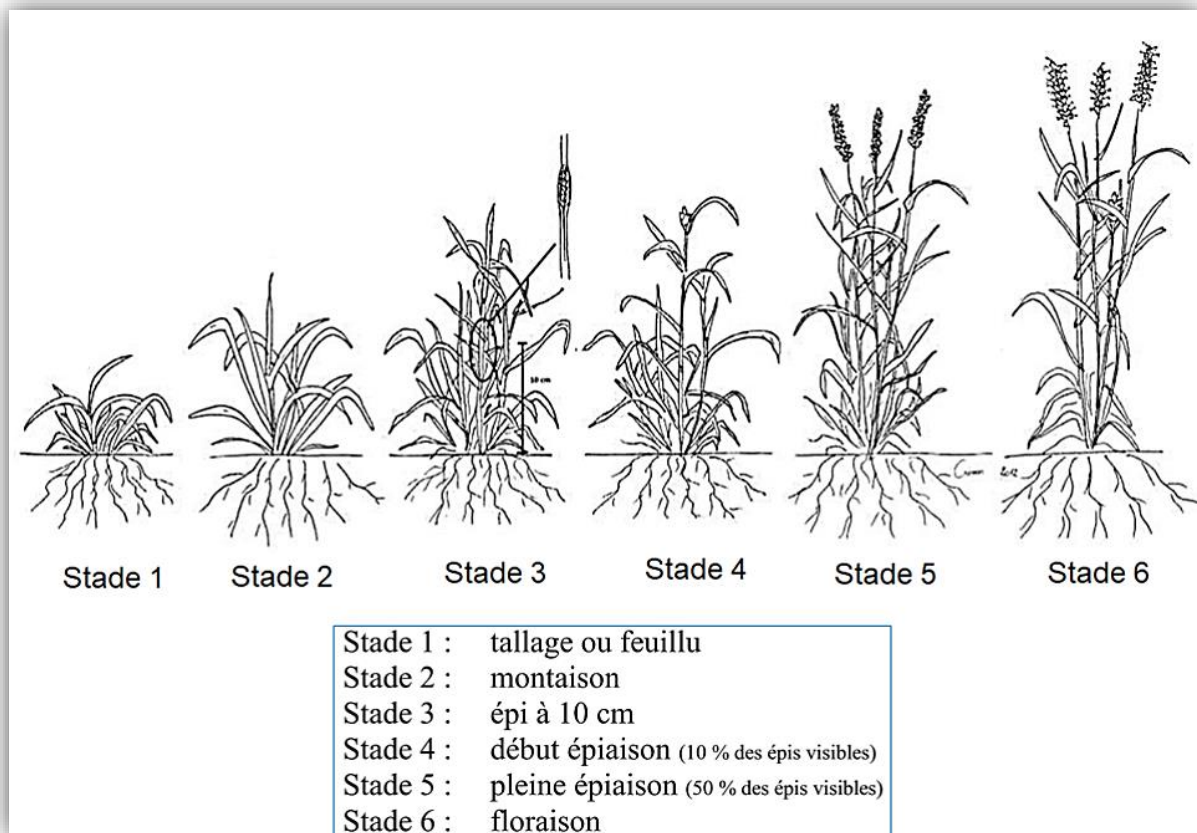


Figure 08 : Représentation des stades phénologiques des graminées

II.3.3. Pérennité des graminées : Les graminées peuvent être annuelles ou vivaces, selon la durée du cycle de développement :

- a- Les graminées annuelles (Figure 09):** ne se développent qu'au cours de la saison des pluies et ensuite la plante entière se dessèche et meurt.

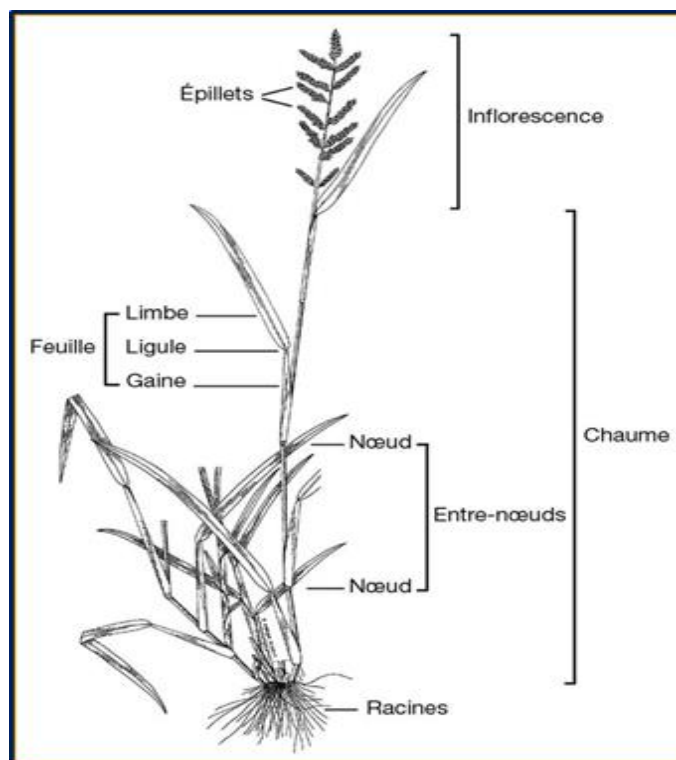


Figure 09 : Représentation des différentes parties d'une graminée annuelle.

b- Les graminées vivaces ou pérennes : Ils persistent plusieurs années consécutives grâce à leurs racines et leurs bourgeons latéraux.

La capacité de repousse après pâture ou fauche, voire après feu, est importante, mais diffère selon les types de graminées, les modes et les rythmes d'exploitation (pâture ou fauche) et la hauteur de la coupe :

- ✓ Les graminées annuelles coupées en vert se régénèrent peu ou meurent;
- ✓ Les graminées cespiteuses pérennes (Figure 10), coupées ou brûlées vont repousser et produire de nouvelles tiges, à condition que leurs bourgeons aient été préservés. Une touffe de graminée pérenne est comparable à un bouquet de tiges d'âges différents, chaque tige développant ses feuilles, son chaume et son inflorescence. Tant que le plateau de tallage est intact et n'est pas épuisé, il peut produire de nouvelles tiges. Une coupe effectuée à la montaison (phase précédant l'apparition de l'inflorescence) retarde la phase de reproduction jusqu'à la floraison d'autres tiges. La section de la tige loin de sa base permet souvent des repousses au niveau des nœuds en-dessous de la coupe ;



Figure 10 : Aspect d'une graminée cespiteuse.

- ✓ Les espèces gazonnantes (à port étalé) pâturées ou fauchées produisent des tiges prostrées (Figure 11), ce qui accroît la tendance à l'étalement et au recouvrement du sol.

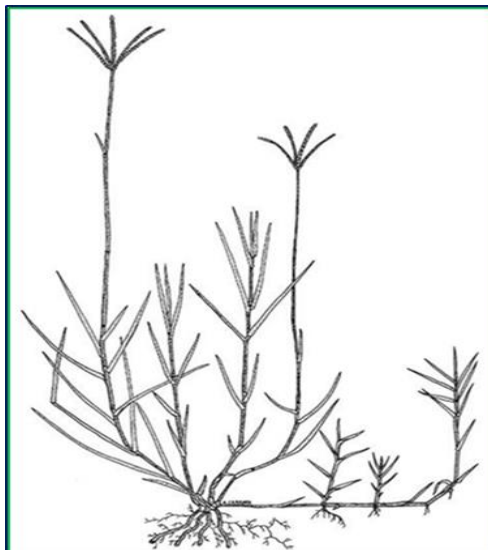


Figure 11 : Aspect d'une graminée gazonnante.

II-4. Légumineuses

Les légumineuses sont, avec les graminées, les familles botaniques les plus utiles à l'alimentation dans le monde. Les légumineuses regroupent trois sous-familles :

- Les Fabaceae (ou Papilionaceae),
- Les Mimosaceae
- Les Caesalpiaceae.

Parmi les 17 000 espèces connues, seules 3700 environ ont été repérées pour leurs qualités fourragères.

La majorité des Fabaceae sont des plantes herbacées ou des arbustes et arbrisseaux, adaptés aux régions tropicales ou tempérées, tandis que la plupart des Mimosaceae et des Caesalpiaceae sont des arbres et des arbustes des régions tropicales et méditerranéennes.

Les légumineuses (Fabacées) : dicotylées annuelles, pluriannuelles ou vivaces (Figure 12).

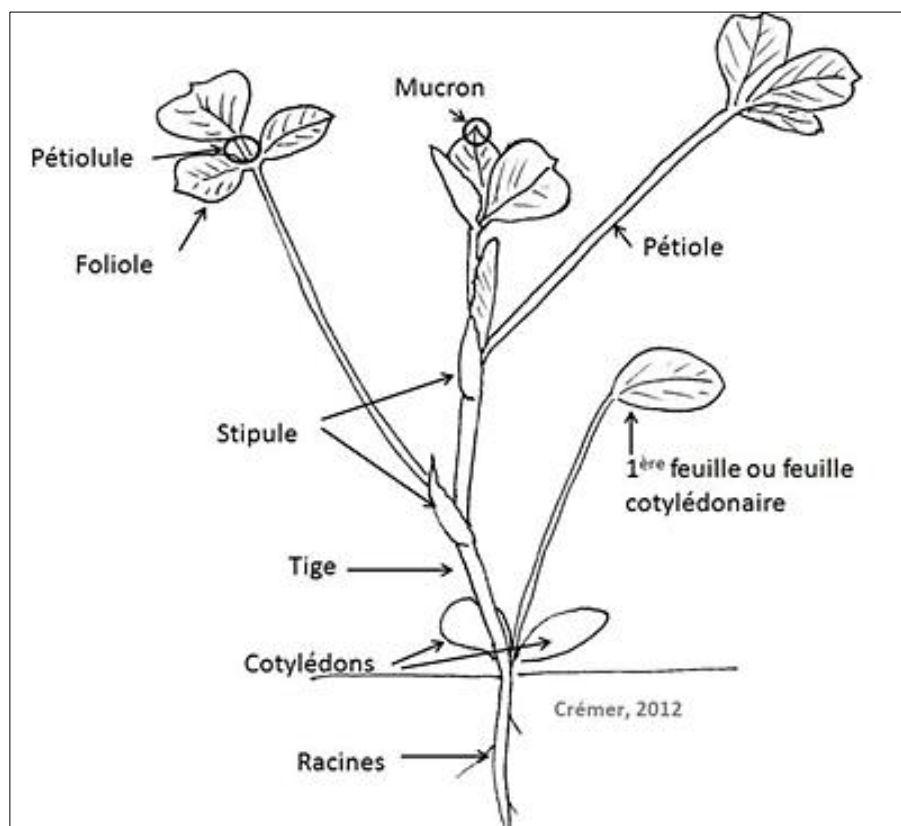


Figure 12 : Structure générale d'une légumineuse.

II.4.1. Les caractéristiques des légumineuses

a- **Les feuilles** des légumineuses (Figure 13) sont composées de plusieurs parties : les stipules, le pétiole, les folioles. Sur certaines espèces, on peut aussi observer des pétiolules et de vrilles.

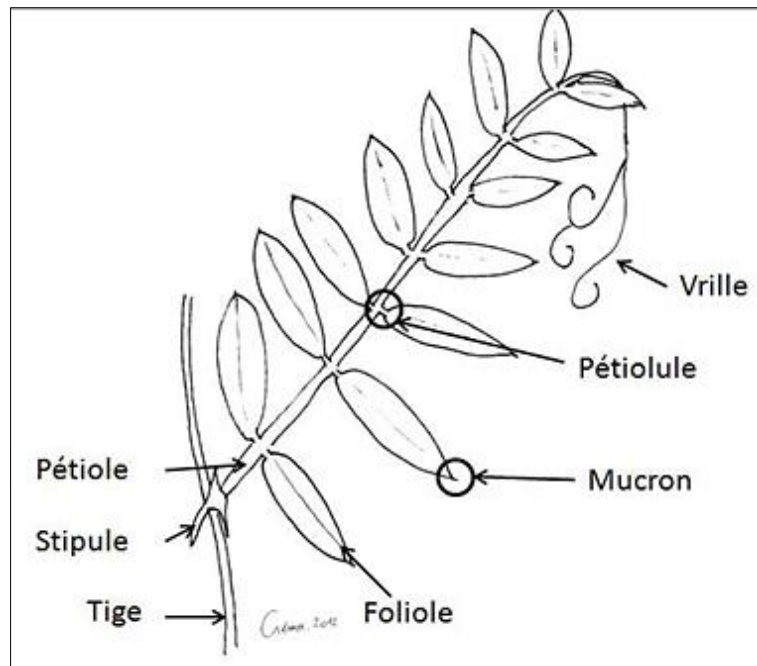


Figure 13 : Représentation de la structure d'une feuille d'une légumineuse

b- **Les tiges des légumineuses :** (Figure 14) peuvent présenter des caractéristiques différentes d'une espèce à l'autre ; les tiges peuvent être pleines (*Lotus corniculatus*), creuses (*Lotus pedunculatus*), simples (*Trifolium repens*), ramifiées (*Trifolium hybridum*). Elles peuvent être cylindriques chez certaines espèces (*Trifolium pratense*), tandis qu'elles sont anguleuses chez d'autres (*Lathyrus pratensis*).

Lotus corniculatus



Lotus pedunculatus



Trifolium repens



Trifolium hybridum



Figure 14 : Exemples de tiges de légumineuse.

Le port des tiges est aussi caractéristique; certaines espèces ont un port dressé (*Medicago sativa*) alors que d'autres sont couchées (*Trifolium repens* ou *Vicia cracca*).

c- L'inflorescence : il existe plusieurs types d'inflorescence chez les légumineuses.

Cependant, les fleurs des légumineuses sont hermaphrodites et dites à symétrie bilatérale (Figure 15). Elles sont composées de 5 sépales soudés formant le calice et de 5 pétales généralement libres entre eux. On peut distinguer l'étendard, 2 ailes et 2 carènes.

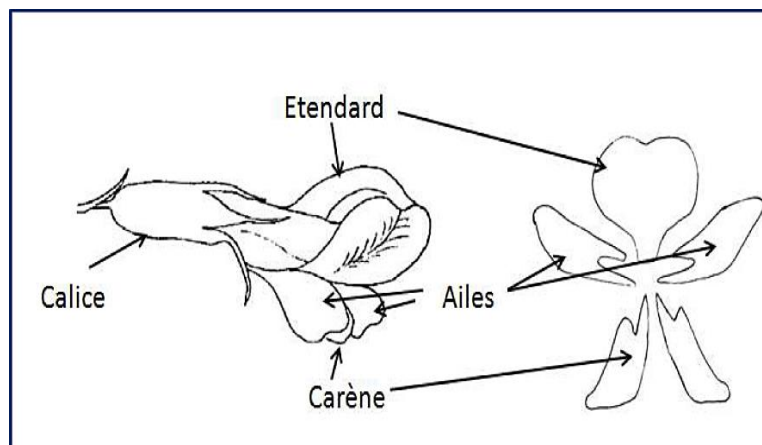


Figure 15 : Représentation de la composition de la fleur de légumineuse.

d-Les racines : les racines des légumineuses sont généralement constituées d'une racine pivot importante. Les racines pivotantes des légumineuses,

permettent de valoriser l'eau en profondeur (parfois à plusieurs mètres) et aussi des éléments nutritifs. Elles sont capables de fixer l'azote atmosphérique au niveau de leurs racines grâce à une symbiose avec des bactéries du genre *Rhizobium*. Ces bactéries sont regroupées au niveau des racines dans des renflements appelés nodosités (Figure 16).



Figure 16 : Exemple de nodosités sur les racines d'une légumineuse.

Comme chez les graminées, certaines espèces de légumineuses peuvent présenter des stolons (*Trifolium repens*) ou des rhizomes (*Lathyrus pratensis*).

II.4.2. Principaux stades de développement d'une légumineuse (Cas de la luzerne)

a- De la germination au stade 4 feuilles : durant ce stade il y a la formation de la radicule, au même moment la portion de la tigelle comprise entre les cotylédons et la radicule s'allonge et perce le sol pour laisser sortir les cotylédons. Suivi de la formation de la première feuille qui est unifoliée et appelée également feuille cotylédonaire. Les feuilles suivantes sont composées de 3 folioles rattachées à la tige par un pétiole (Figure 17).

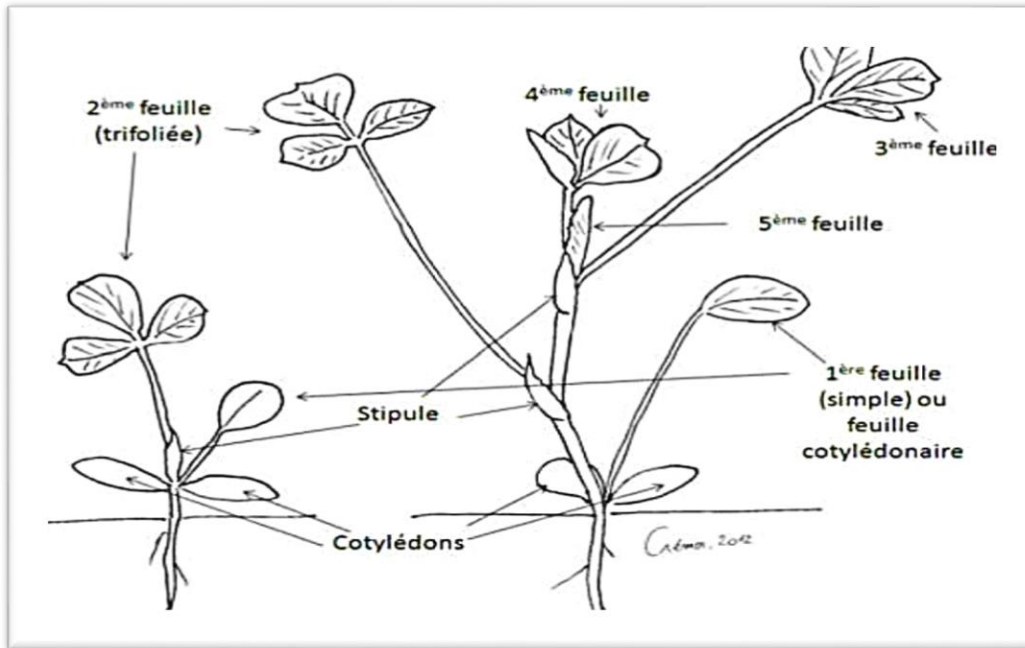


Figure 17 : Représentation des premiers stades de développement des légumineuses.

b- La phase végétative : La tige principale continue son élongation en produisant des feuilles alternées (Figure 18). Au stade 7-8 feuilles, des tiges secondaires se développent. La luzerne développe dans le même temps sa racine pivotante principale et ses racines secondaires. Les premières nodosités apparaissent aussi à ce stade.



Figure 18 : Représentation des stades végétatifs des légumineuses.

c- Phase reproductive : cette phase commence par l'apparition des boutons floraux à l'extrémité des tiges. La floraison intervient ensuite. Une fois la fécondation effectuée, la fructification débute. Chez les légumineuses, le fruit est une gousse (Figure 19).



Figure 19 : Fruit de *Medicago sativa* (gousse de luzerne).

II.4.3. Les caractéristiques des légumineuses en rapport avec un usage fourrager : Elles sont les suivantes :

- Feuilles, fruits et graines riches en matières azotées par rapport aux autres plantes, ce qui leur confère une valeur nutritive élevée ;
- La capacité physiologique de symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote atmosphérique permettant d'alimenter la plante en azote.
- Certaines légumineuses forment facilement des mycorhizes en s'associant avec des champignons, lesquels facilitent la mobilisation du phosphore au profit de la plante ;
- La présence fréquente dans les organes annuels de substances chimiques répulsives ou toxiques (tanins) qui protègent la plante des prédateurs et limitent donc l'ingestion par les herbivores.

Chapitre III : Valeur alimentaire des ressources fourragères

III.1. Objectifs du Troisième chapitre

- Définir la valeur alimentaire des ressources fourragères ;
- Démontrer l'importance de l'évolution des cycles végétatifs des graminées et des légumineuses fourragères ;
- Illustrer l'impact de la composition physiologique et chimique des fourrages sur leur digestibilité ;
- Apprécier la valeur alimentaire des graminées et des légumineuses fourragères ainsi que celle du Maïs plante entière.

III.2. Introduction

Les fourrages occupent une place de choix dans les systèmes alimentaires des ruminants pour les raisons ;

- Techniques: spécificité digestive des ruminants ;
- Économiques: utilisation des prairies (moindre coût) et diminuer la concurrence alimentation humaine/alimentation animale ;
- Environnementales : grâce à la valorisation des prairies (stockage de carbone, épuration de l'eau, filtration, diversité floristique et faunistiques).

Les ressources fourragères pour qu'elles assurent la couverture des besoins alimentaires des ruminants (énergétiques et protéiques...), l'augmentation de la productivité et l'amélioration de la qualité des produits exigent :

- La connaissance de la composition chimique, la digestibilité et l'ingestibilité des fourrages (Valeur alimentaire) de graminées et légumineuses fourragères ainsi que les plantes entières ;
- La connaissance de besoins et recommandations alimentaires spécifiques pour chaque catégorie de ruminant ;
- La maîtrise des techniques de rationnement qui ont été perfectionnés à travers le monde.

Connaitre la valeur alimentaire d'un fourrage permet :

- ✓ D'établir des rations alimentaires adaptées aux besoins des animaux et leur capacité d'ingestion et à moindre coûts ;
- ✓ Des Choix des cultures ;
- ✓ D'indiquer le stade optimum d'exploitation ;
- ✓ le choix de la technique d'exploitation.

II.3. Morphologie des graminées et des légumineuses fourragères

Toutes les espèces fourragères possèdent les mêmes compartiments aériens ; les feuilles, les tiges et les inflorescences, qui sont valorisés en alimentation des ruminants. Elles possèdent aussi un compartiment racinaire qui assure l'apport de la sève brute (eau et minéraux) et la succession des cycles.

La production de matière sèche d'un fourrage résulte de la synthèse et de l'accumulation de la matière organique au niveau de chacun des compartiments morphologiques, elle est exprimée en tonnes de MS/ha. L'apport relatif de chaque compartiment morphologique (Feuilles/Tiges) varie beaucoup avec l'évolution du cycle végétatif et reproducteur du fourrage considéré (Tableau 1).

Tableau 1 : Évolution de la composition morphologique d'une graminée fourragère : Le dactyle.

Stade de développement	Hauteur de la plante (en Cm)	Composition morphologique (en % de la MS)			Rapport feuilles /tiges
		Limbes	Epi	Tiges + gaines	
Feuillu	35	61	0	27	2,26
1 ^{ère} semaine avant épisaison	40	54	0	33	1,64
Début épisaison	50	41	6	45	0,91
Episaison	55	35	8	49	0,71
Floraison	100	18	15	53	0,34

Le potentiel d'apport alimentaire des fourrages aux ruminants est relié aux caractères morphologiques (feuilles et tiges) des espèces fourragères (graminées et légumineuses) utilisées (Tableau 2).

Tableau 2 : Évolution de la composition morphologique d'une légumineuse fourragère : la luzerne.

Stade de développement	Hauteur (cm)	Production de biomasse (en t/ha)	Composition morphologique (en %de MS)			Rapport feuilles /tiges	Teneur en MS (en %)
			Feuilles	fleurs	Tiges		
Végétatif	30	2,0	56	0	41	1,36	15
Végétatif	40	4,9	44	0	54	0,81	16
Début bourgeonnement	75	5,2	38	0	59	0,64	17
Bourgeonnement	85	5,4	34	0	63	0,54	18
Début floraison	95	6	33	0,3	64	0,52	20
Floraison	110	6,2	30	1,1	65	0,46	22

La conséquence pour l'exploitation de ces espèces est que la production de la matière sèche doit exclusivement s'appuyer sur la masse de feuilles et de tiges.

III.4. Évolution des cycles végétatifs des graminées et des légumineuses fourragères

La composition morphologique varie avec le cycle de développement des espèces fourragères, des différences entre graminées et légumineuses sont signalées :

Les graminées, au début du cycle, produisent uniquement de feuilles appelées "talles". Lorsque le bourgeon terminal de chaque talle passe au stade floral, la tige va croître et prendre de plus en plus d'importance dans la matière organique accumulée. La tige va ensuite émergée hors du bouquet des feuilles et correspond à la date d'épiaison.

Et l'épi après fécondation, va donner des graines.

Chez certaines espèces de graminées, seul le premier cycle est reproducteur, les autres cycles seront purement végétatifs et donc, ne passeront pas au stade floral. Les espèces présentant plusieurs cycles reproducteurs sont appelées espèces remontantes.

Les légumineuses sont toujours pourvues de tiges même à un âge très jeune. Ces plantes se développent en hauteur et aussi en émettant des tiges latérales. Pour tous les cycles, toutes les tiges de légumineuses sont reproductrices, les bourgeons se développent en inflorescences, et après fécondation se forment les graines.

Les graminées et les légumineuses fourragères se différencient des espèces productrices de graines, Céréales et oléo protéagineux, par la part réduite prise par les graines dans la matière sèche de la plante en fin de cycle, celle-ci ne dépasse jamais 20% de la matière sèche totale. La composition chimique et la valeur alimentaire du fourrage vert de graminée et de légumineuse sont liées essentiellement à sa composition morphologique, c'est-à-dire à la proportion de feuilles, la partie la plus riche, par rapport à celle de tiges.

III.5. Composition chimique des graminées et légumineuses fourragères

La composition chimique est un paramètre fondamental d'une ressource fourragère qui conditionne leur valeur nutritionnelle et leur ingestibilité par les animaux.

III.5.1. Relation entre la composition morphologique et la composition chimique

L'évolution de la composition morphologique décrit la plante de manière externe. Elle ne peut être utilisée comme indicateur de valeur alimentaire qu'à travers l'analyse de la composition chimique de cette plante. Il existe une relation entre l'évolution de la composition morphologique et la composition chimique d'une plante.

Lors de la digestion, les feuilles et les tiges des graminées et légumineuses fourragères sont dégradées, et le métabolisme cellulaire de l'animal, utilise les produits de cette digestion. La composition chimique de ces ressources impacte, de ce fait, la nutrition de l'animal. Il est donc, important de connaître la composition chimique des plantes fourragères et son évolution en fonction de l'évolution des composants anatomiques (feuilles/tiges) en relation avec le cycle de vie de la plante.

III.5.2. La composition chimique des graminées et légumineuses fourragères

La composition chimique des végétaux est très complexe, mais globalement, on peut distinguer deux groupes :

- Les constituants intracellulaires (cytoplasmiques) : composés de liquides, pigments, glucides cytoplasmiques hydrosolubles, acides organiques et les matières azotées ;
- Les constituants pariétaux : la cellulose, les hémicelluloses, les pectines et la lignine.

III.5.2.1. Les constituants cytoplasmiques

III.5.2.1.1. Les glucides cytoplasmiques : sont hydrosolubles et ont un rôle important dans l'élaboration des autres composés hydrocarbonés ; on distingue :

- Les sucres libres (oses) : les trois sucres dominants sont ; le glucose, fructose et le saccharose. Dans les limbes, leurs teneurs est maximum au début du 1er cycle et par la suite à niveau faible 1,5 à 3% pour la somme glucose et fructose et de 2 à 4 % pour le saccharose. Alors que dans les tiges, la teneur est toujours plus élevée ; avec une teneur maximum de 15% pour les jeunes tiges en montaison.

- les sucres de réserve : on distingue le groupe des graminées des pays tempérés qui accumulent des chaînes de fructoses liées à un glucose initial sous forme de Fructosane, qui s'accumule dans les tiges, et la teneur maximale est rencontrée dans la base des tiges. Un deuxième groupe des graminées qui ne synthétisent jamais du fructosane mais accumule du saccharose (canne à sucre, riz, Maïs), et aussi de l'amidon, les légumineuses peuvent également mettre de l'amidon en réserve.

La teneur en glucides dans les fourrages verts est très variable et dépend :

- Des conditions environnementales (pluviométrie, ensoleillement, température): en conditions favorables, les oses sont destinés à la synthèse des protéines et des constituants pariétaux mais les sucres de réserves seront accumulés à de faibles quantités. Au contraire, les conditions défavorables vont gêner la croissance végétale, et les oses seront accumulés sous forme de fructosane. La teneur en sucre varie également chez les légumineuses : ont une plus forte teneur que les graminées

-Chez les graminées, au cours d'un cycle, c'est au début épiaison que la teneur en glucides solubles est la plus élevée.

Chez les légumineuses, au printemps, au début bourgeonnement les feuilles comme les tiges présentent les teneurs maximums en sucres.

III.5.2.1.2. Les constituants azotés des fourrages : les constituants azotés des fourrages sont très divers :

-Constituants azotés non protéiques : Cet azote se situe dans les vacuoles et se présente préférentiellement dans les tiges et les racines. La teneur des tiges en azote non protéique est de 1,8 à 4.2% de MS contre 1,2 à 2,3% de MS des feuilles. Ils constituent 15 à 25 % de l'azote totale des fourrages verts et constitués par les amides, amines, nucléotides et les acides aminés libres.

Cet azote non protéique est très soluble et directement utilisable par la microflore ruminale de l'animal.

-Constituants azotés protéiques : les constituants azotés protéiques sont situés dans les cellules chlorophylliennes au niveau des chloroplastes et du cytoplasme. On peut distinguer les protéines solubles et les protéines insolubles, ces dernières représentent 65% des protéines.

La teneur en matières azotées totales des fourrages varie selon les espèces et les stades de développement. Chez les espèces fourragères, la croissance pondérale conduit à augmenter les tissus de soutien et donc à la diminution de la

proportion de feuilles et de limbe ; ce qui se traduit par une diminution de la teneur en protéines.

a- Chez les graminées (cas général)

- 18 à 25 % de MAT : Stade feuillu
- 15 à 20 % de MAT : Stade épi (10 cm)
- 10 à 14 % de MAT : Stade épiaison
- 06 à 08% de MAT : Stade floraison

b- Chez les légumineuses (cas de la luzerne)

- 20 à 29 % de MAT : Stade végétatif
- 20 à 22 % de MAT : Stade bourgeonnement
- 20 % de MAT : Stade début floraison
- 16 à 18% de MAT : Stade pleine floraison

III.5.2.2. Les constituants de la paroi cellulaire : Les constituants pariétaux regroupent des composants chimiques variés et très complexes, qui sont la Cellulose, les hémicelluloses, les pectines et la lignine. Ces composants sont plus abondants dans les tiges que dans les feuilles. Ils interviennent dans la détermination de la structure des plantes fourragères.

a) La Cellulose : représente 40 à 45 % des parois dans les plantes fourragères, c'est un polymère de D-glucose.

b) Les hémicelluloses : représentent 10 à 25 % dans la matière sèche des fourrages.

c) Les substances pectiques : constituent un groupe complexe de polysides amorphes abondants dans les lamelles moyennes des cellules végétales.

d) Les constituants pariétaux non glucidiques :

- **Les lignines :** c'est un composé pariétal non glucidique et représente 5 à 12 % de la MS des fourrages verts. Les lignines des légumineuses sont moins condensées que celle des graminées, ce qui leur confère moins de possibilités de liaison avec les polysides.

- **Les cires ou cutine** : qui constituent la cuticule : elles recouvrent la paroi externe des cellules épidermiques, elles sont de nature lipidique très complexe et ayant pour rôle de protéger les plantes en réduisant l'évapotranspiration.
- **Les minéraux et constituants azotés** : les parois végétales contiennent aussi de petites quantités de minéraux (silice, calcium ; phosphore) et des constituants azotés (protéines et peptides).

III.6. Valeur alimentaires des graminées et légumineuses fourragères

La « valeur alimentaire » mesure la capacité d'un aliment à couvrir les besoins nutritionnels de l'animal et conditionne donc les performances zootechniques.

La valeur alimentaire intègre:

- La concentration en nutriments énergétiques, azotés et minéraux effectivement disponibles pour l'organisme, exprimée synthétiquement par la « valeur nutritive » ;
- L'aptitude du fourrage à être consommé par les herbivores ; dénommée « ingestibilité ».

Les légumineuses et les graminées fourragères sont des sources importantes de fourrages pour les animaux laitiers. Au stade de jeune plantule, ces fourrages sont d'excellentes sources de protéines, carotène, calcium et d'autres minéraux.

La valeur nutritive des fourrages est influencée fortement par le stade de croissance de la plante au moment de la récolte ou du pâturage. La valeur alimentaire d'un fourrage est la plus élevée pendant la phase végétative et la plus faible pendant la phase de formation des semences.

III.6.1. Digestibilité et valeur nutritive des graminées et des légumineuses

La connaissance de la composition en constituants organiques d'un aliment et de leur devenir dans le tube digestif de l'animal (digestibilité) est à la base de l'expression de sa valeur nutritive. La digestibilité de la matière organique est

mesurable sur des animaux, en les plaçant dans des cases de digestibilité; celles-ci permettent de mesurer les quantités ingérées et excrétées: la différence des deux mesures permet d'obtenir la partie digérée.

$$\text{Digestibilité} = \frac{\text{Quantité ingérée} - \text{Quantité excrétée}}{\text{Quantité ingérée}} * 100$$

La protéine brute chez les légumineuses et les graminées se trouve principalement dans les feuilles de la plante. En général, les légumineuses contiennent plus de protéines brutes que les graminées au même stade de maturité. La protéine brute dans les légumineuses et les graminées varie de 15 à 23% et de 8 à 18% de la matière sèche, respectivement.

La fibre est le composant principal des tiges des légumineuses et des graminées. Les graminées contiennent plus de fibres que les légumineuses au même stade de croissance. En conséquence, il y a plus de nutriments non fibreux (contenu cellulaire) dans une légumineuse que dans une graminée au même stade de croissance. Les fibres des graminées sont en général plus digestibles parce qu'elles sont moins lignifiées que celles des légumineuses. Cependant, les fibres des légumineuses sont fermentées plus rapidement que celles des graminées dans le rumen.

La valeur nutritive d'une récolte dépend de la production de matière sèche et de la composition chimique de cette matière sèche. Durant la croissance, la production totale de matière sèche augmente, mais la valeur nutritive de la plante, en général, diminue. La valeur nutritive d'une jeune plante à l'état végétatif est élevée. Cependant, à ce stade de croissance, la quantité de matière sèche produite à l'hectare est faible (il y a peu de "masse"). Lorsque la plante commence à développer les organes de reproduction, la quantité de matière sèche à l'hectare augmente, mais la digestibilité de la matière sèche diminue.

III.6.1.1. Évolution de la digestibilité chez les graminées : La digestibilité des graminées est maximum au stade végétatif (Figure 20), elle diminue ensuite

lentement jusqu'au stade épis 10 cm-début épiaison. Passé ce stade et selon les espèces, elle baisse plus vite de 0,4 à 0,5% par jour. Au stade floraison, on obtient des valeurs entre 55 et 65%.

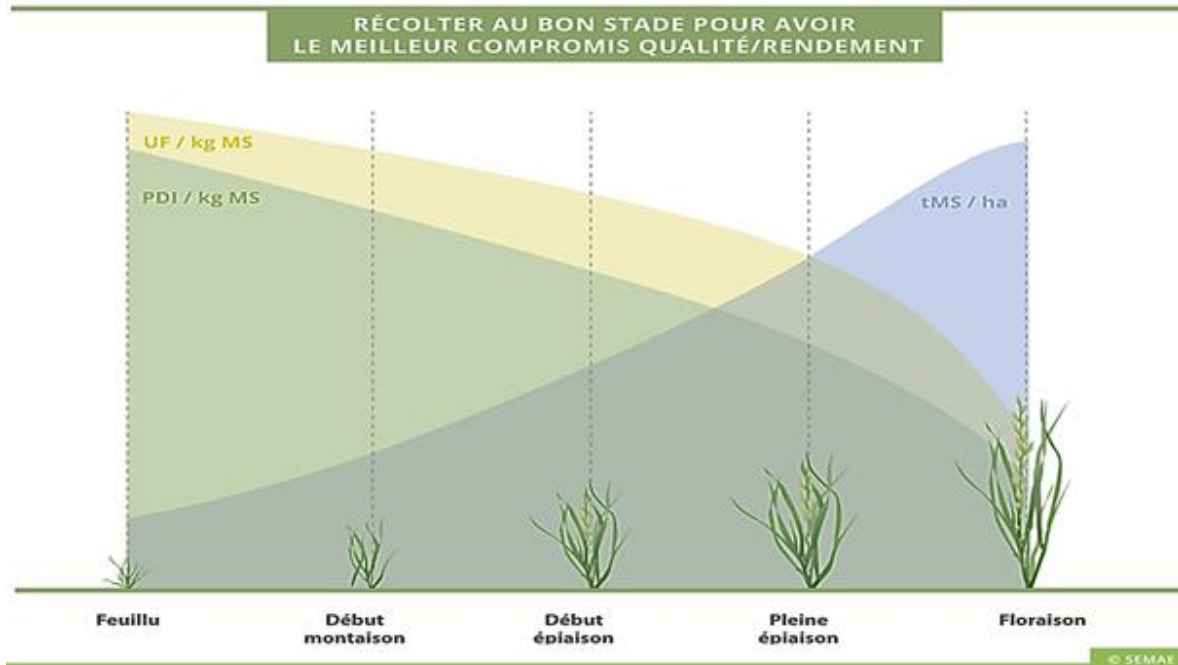


Figure 20 : Époque optimale de récolte de fourrage.

III.6.1.2. Évolution de la digestibilité chez les Légumineuses

Les légumineuses subissent une évolution morphologique faible. La croissance se traduit par un allongement de la tige et à une réduction du rapport Feuilles/Tiges. La digestibilité évolue de 85% et 80% au stade végétatif à 70% et 60% au stade floraison pour le trèfle et la luzerne respectivement. En conséquence, la production maximale de fourrage digestible à l'hectare est obtenue avant que la quantité totale de fourrage soit produite à l'hectare. La quantité maximale de matière sèche digestible est obtenue chez les graminées lorsque les plantes sont en fin d'épiaison et chez les légumineuses lorsque les plantes sont en début de floraison.

Comparé à une graminée, la valeur énergétique plus élevée de la légumineuse a une conséquence importante: les animaux mangeront plus d'une légumineuse que d'une graminée au même stade de croissance parce qu'ils mangent plus d'un

fourrage ayant une valeur énergétique plus élevée. Le facteur le plus important qui détermine la valeur nutritive d'une légumineuse ou d'une graminée est le stade de croissance.

Avec le vieillissement de la plante, les concentrations d'énergie, de protéine brute, de calcium et de phosphore, diminuent alors que la concentration en fibre augmente. Avec l'augmentation en fibre, la teneur en lignine augmente aussi. La lignine est indigestible et rend les hydrates de carbone fibreux moins disponibles, ce qui provoque une diminution de la valeur énergétique du fourrage; La perte de valeur nutritive avec le vieillissement des plantes est inévitable.

Chez les légumineuses et les graminées au stade végétatif, la majorité des nutriments se trouvent dans les feuilles. Avec le vieillissement de la plante, la proportion de feuille diminue et les tiges prennent une plus grande proportion de la matière sèche totale de l'herbage. Les tiges sont fibreuses et plutôt indigestibles comparées aux feuilles. Ainsi, les parties végétatives des plantes ont en général une teneur faible en fibre, mais élevée en protéine brute. Avec le vieillissement de la plante, le rapport feuille-tige diminue et la plante contient moins de protéines brutes et plus de fibres. En plus, lorsque la plante vieillit, les parois cellulaires deviennent plus lignifiées (Figure 21). Donc, non seulement, il y a plus de fibres, mais la fibre en elle-même devient moins digestible.

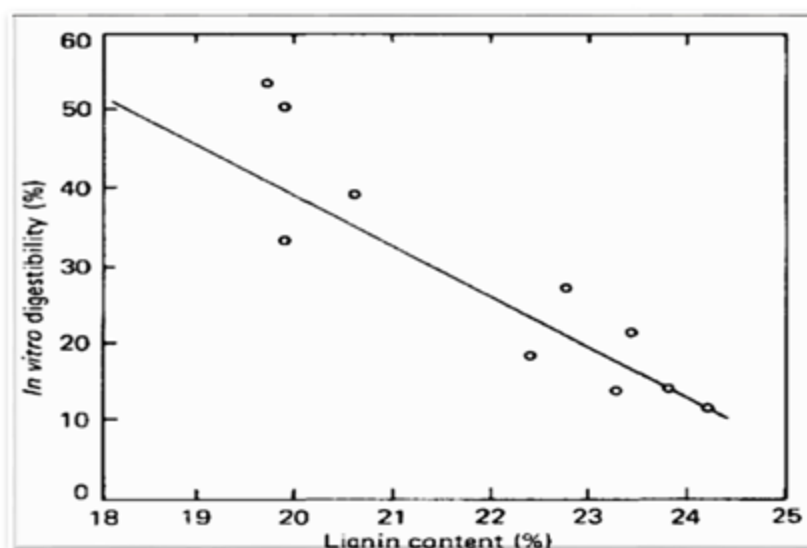


Figure 21 : Effet de la teneur en lignine d'une plante sur sa digestibilité.

Après le stade optimum de croissance, chaque jour de retard avant d'effectuer la récolte ou le pâturage entraîne une diminution de production laitière à partir du fourrage. Cependant, plusieurs stratégies sont disponibles pour continuer à disposer de fourrages de bonne qualité :

- ✓ Développer un système de pâturage qui optimise le nombre d'animaux dans une prairie avec la vitesse de croissance de l'herbage.
- ✓ Planter un mélange de graminées et de légumineuses qui ont des vitesses de croissance différentes au cours de la saison.
- ✓ Récolter à un stade de croissance précoce et préserver le fourrage sous forme de foin ou d'ensilage.

III.6.2. La valeur énergétique des fourrages

Elle s'exprime par leur teneur en énergie nette dans le système des unités fourragères (UFL, UFV).

Le principal facteur de variation de la teneur en énergie nette des aliments est la digestibilité de l'énergie brute qu'ils contiennent et qui est très étroitement liée à la digestibilité de la matière organique (dMO). La digestibilité d'une plante fourragère dépend essentiellement de sa teneur en parois végétales et de leur digestibilité (Figure 22).

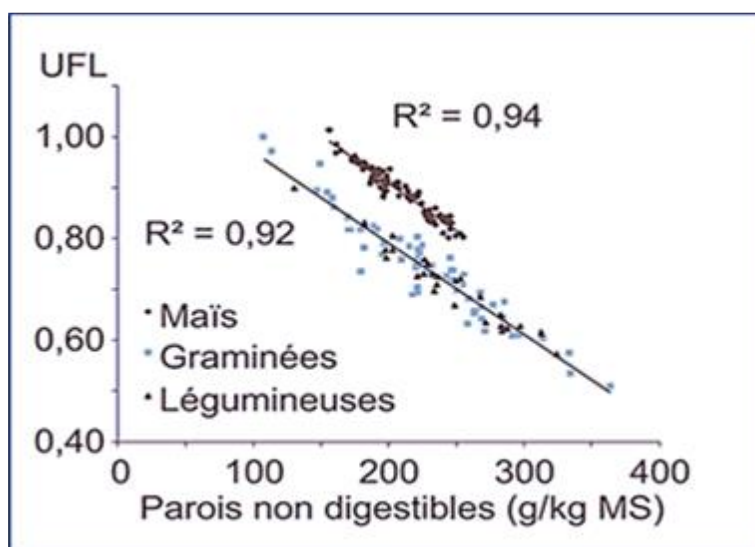


Figure 22 : Relation entre la valeur énergétique des fourrages et leur teneur en parois végétales.

La digestibilité des constituants intracellulaires des fourrages et des céréales fourragères est totale (sucres et fructosanes) ou très élevée (lipides et matières azotées) alors que celle des parois cellulaires varie entre 40 et 90% selon qu'elle soit plus ou moins incrustées de lignine.

Des liaisons très étroites ont été établies d'une part pour le Maïs fourrager, les graminées et les légumineuses fourragères entre la quantité de parois indigestibles présentes dans un fourrage et sa digestibilité et, par conséquence, sa valeur énergétique. La teneur en parois végétales augmente avec la croissance de la plante et que la digestibilité des parois diminue avec le vieillissement des tissus de 10g/kg de MS entraîne une diminution de la digestibilité de 1 point et de la valeur UFL de 0,02 unité.

La diminution de la valeur énergétique avec l'âge de la plante ou le stade de végétation au cours des cycles reproducteurs :

- Pour les graminées, la diminution de la valeur énergétique s'accélère à partir du stade montaison ;
- Pour les légumineuses cette diminution est linéaire ;
- Pour les céréales comme le Maïs, l'enrichissement de la plante en grain et donc en amidon vient compenser la diminution de la digestibilité des tiges et des feuilles. En conséquence la valeur énergétique du Maïs augmente légèrement avec le stade de végétation à la récolte.

III.6.3. La valeur azotée des fourrages

Elle s'exprime par leur teneur en protéines digestibles dans l'intestin PDI, on distingue :

- La valeur PDIN qui représente la valeur PDI de l'aliment s'il est inclus dans une ration déficitaire en azote dégradable. La valeur PDIN est directement liée à la teneur en matières azotées dégradables dans le rumen et même plus simplement à la teneur en MAT.

- La valeur PDIE qui représente la valeur PDI s'il est inclus dans une ration où l'énergie est le facteur limitant des synthèses microbiennes, la valeur PDIE est liée à la digestibilité.

Pour les graminées et les légumineuses fourragères la valeur azotée augmente avec la valeur énergétique (Figure 23). A même valeur énergétique, les légumineuses ont une valeur azotée supérieure à celle des graminées, du fait de leur teneur en MAT plus élevée. A l'inverse, la valeur azotée du Maïs est plus faible, du fait de sa faible teneur en MAT.

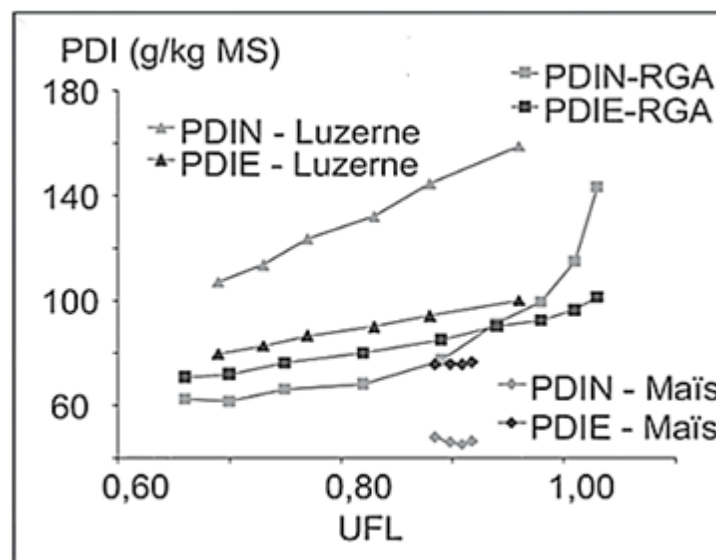


Figure 23 : Relation entre la valeur énergétique des fourrages et leur teneur en protéines.

La diminution de la valeur nutritive avec le vieillissement des plantes est due aux processus suivants :

- Diminution de la teneur en protéines à cause de la diminution de la proportion des feuilles.
- Augmentation de la teneur en fibres à cause de l'augmentation de la proportion des tiges.
- Diminution de la valeur énergétique de la tige à cause de sa teneur plus élevée en lignine.

III.7. Valeur alimentaire de Céréale plante entière

Comme chez les graminées fourragères, les graminées céréalières subissent, lors de leur cycle de reproduction, une évolution sensible de leurs compositions morphologiques; les feuilles et les tiges sont présentes tout au long de la vie de la plante, mais ce qui fait la différence, c'est la richesse en grains de ces espèces: les grains contribuent à hauteur de 40 à 50% de la MS totale contre 15 à 20% chez une fourragère.

Au cours du développement de la plante (Figure 24), la fleur femelle va se transformer en épi, une fois fécondé celui-ci est constitué des grains, de la rafle qui porte les grains, du pédoncule qui relie l'épi à la tige et en fin des spathes qui sont des sépales entourant l'épi.

Les stades repères pour les graminées céréalières sont assez particuliers et sont liés à l'état de maturation des grains:

- ✓ Montaison: absence totale d'épis sortis de la gaine.
- ✓ Floraison: soies (Maïs) ou étamines (autres céréales) visibles sur 50% des plantes.
- ✓ Laiteux: le grain a pris sa forme définitive et est rempli d'un liquide laiteux.
- ✓ Pâteux: le grain est coloré, s'écrase facilement sous la pression des doigts et son contenu est pâteux.
- ✓ Vitreux: le grain ne s'écrase plus sous la pression des doigts, mais on peut encore y fonder l'ongle.

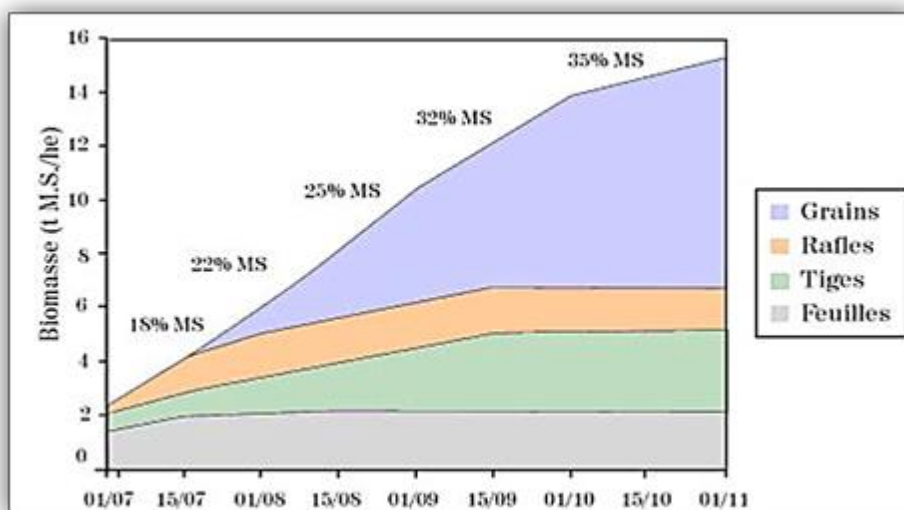


Figure 24 : Évolution de la biomasse totale des différentes parties de la plante entière de maïs.

III.7.1. Évolution de la composition chimique de la plante entière de Maïs

La teneur en matière sèche du Maïs plante entière augmente avec l'âge de la plante sous l'influence de la part prise par l'épi. La teneur en matière sèche des tiges reste constante 20%, celle des limbes augmente très lentement de 20 à 28 %. Entre le stade floraison et vitreux, l'augmentation de la teneur en M.S. résulte de l'accroissement de la part de l'épi dans la plante entière et surtout de la teneur en MS des grains qui au stade pâteux-vitreux atteint 60 à 70% (Tableau 3). Au moment de la récolte du Maïs, l'épi (grains, spathes et rafles) représente en moyenne 60% de la MS et 70% de l'énergie alimentaire disponible.

Tableau 3 : Composition chimique de la plante entière de Maïs selon le stade de maturation du grain.

MS (%)	MM	MAT	CB	NDF	ADF	ADL	AMI	GLS
	g/ kg de MS							
Laiteux 24	50	76	223	496	247	27	173	146
Pâteux 29	48	73	203	462	223	24	256	113
Vitreux 34	46	72	195	450	215	23	300	88
Vitreux dur 39	43	74	197	448	212	23	319	74

III.7.2. Valeur alimentaire du Maïs fourrager plante entière

La digestibilité de la plante entière est pratiquement stable de la floraison à la récolte au stade vitreux. Cette stabilité résulte de la part croissante de l'épi qui a une très bonne digestibilité, 83 à 85% de MOD, qui compense la baisse de digestibilité observée sur les tiges et les feuilles,

La production végétale de la plante du Maïs s'accroît constamment tout au long du cycle reproducteur (Tableau 4) jusqu'au stade vitreux, récolter au-delà de ce stade ne présente pas beaucoup d'intérêt, il peut même y'avoir quelques inconvénients pour l'ensilage.

Tableau 4 : Valeur nutritive de la plante entière de Maïs à différents stades de maturation des grains.

MS	UFL	UFV	PDIA	PDIN	PDIE
(%)	UF/ kg		g/kg		
Laiteux 24	0,88	0,82	17	48	76
Pâteux 29	0,90	0,84	16	46	76
Vitreux 34	0,91	0,85	16	45	76
Vitreux dur 39	0,92	0,86	17	46	77

Chapitre IV : Récolte et conservation des ressources fourragères

IV.1. Objectifs du quatrième chapitre

- Définir les différentes méthodes de conservation des fourrages par voie sèche et par voie humide ;
- Estimer la qualité d'un foin ;
- Illustrer les activités biochimiques dans le fourrage lors de la conservation par voie humide ;
- Examiner l'impact des activités des différents micro-organismes sur la qualité de l'ensilage ;
- Apprécier les résultats des fermentations

IV.2. Introduction

Quel que soit l'intérêt du pâturage sous l'aspect de la valeur alimentaire ou du point de vue économique, il n'est pas applicable pendant toute l'année. Pour nourrir le bétail en hiver, pour compléter son alimentation d'été et pour tirer parti de la forte production d'herbe au printemps, il faut avoir recours à des fourrages conservés.

Cette nécessité est d'autant plus importante que les performances des animaux sont élevées et que leurs besoins alimentaires sont réguliers ne suivant pas en cela la répartition saisonnière de la production végétale. La récolte et la conservation des fourrages sont donc des composantes essentielles des exploitations d'élevage, au même titre que la conduite des cultures fourragères ou des troupeaux.

La valeur alimentaire d'un fourrage conservé dépend de celle du fourrage vert sur pied au moment de la fauche et lui est généralement inférieur par suite des pertes liées à la respiration, pertes mécaniques et pertes liées aux mauvaises conditions climatiques.

IV.3. Récolte et conservation des fourrages par voie sèche

La conservation par voie sèche peut se faire soit par fanage ou par déshydratation.

IV.3.1 Fanage : Pour lequel l'on distingue deux types de procédés ; le premier concerne la fenaison entièrement naturelle, l'une des méthodes les plus anciennes de conservation des fourrages, soumise aux aléas climatiques d'un bout à l'autre de la dessiccation, et consiste à exposer le foin coupé au soleil pour éliminer l'humidité. Pour le second, il s'agit de la fenaison complétée par un séchage complémentaire par ventilation en grange.

Dans les deux procédés du fanage, le fourrage commence par être fauché et exposé à l'air et au soleil. Il est étalé, retourné et mis en andains jusqu'à ce qu'il parvienne au degré de dessiccation souhaité.

A l'état vert, le fourrage renferme 75 à 85 % d'eau. Le fanage réduit cette proportion à 15 ou 20 %. Alors que dans le cas de la ventilation, on fane au sol jusqu'à 40 % environ, l'eau excédentaire étant éliminée artificiellement.

IV.3.2. Époque de récolte

La valeur nutritive des fourrages varie en fonction du stade de coupe ; plus le stade est avancé, plus la proportion de feuilles est faible dans la plante. Comme les feuilles sont les organes les plus riches, la valeur alimentaire moyenne de la plante baisse. De plus, la quantité et la richesse des feuilles diminuent au profit des organes reproducteurs. En conséquence une récolte tardive, même si elle donne des fourrages abondants et volumineux, ne laisse à ceux-ci qu'une valeur alimentaire très faible (composition chimique, digestibilité et ingestibilité). D'une façon générale, il est conseillé de récolter le foin avant la floraison, car la valeur alimentaire se dégrade progressivement (énergie, matières azotées, matières minérales, vitamines). Il est possible, si l'on bénéficie de conditions de séchage favorables, d'exécuter la récolte à un stade plus précoce.

Comme la fenaison au sol est commandée par les conditions météorologiques, il faut étaler dans le temps la récolte : on ne peut donc tout faucher au moment le plus

favorable. C'est la raison pour laquelle il ne faut pas hésiter à commencer très tôt la fenaison, pour que toutes les parcelles de l'exploitation soient récoltées à temps.

IV.3.3. Pertes au cours du fanage

Pendant la période de séchage au sol, le fourrage subit inévitablement des pertes de diverses natures:

IV.3.3.1. Respiration : Après la fauche, tant que la plante conserve une teneur en eau supérieure à 35 %, elle survit et continue à respirer. Les enzymes respiratoires prélèvent dans le contenu cellulaire des glucides solubles totalement digestibles, qui sont complètement dégradés et non renouvelés. La plante peut ainsi perdre jusqu'à 10 % de sa matière sèche.

IV.3.3.2. Manipulations des fourrages : Au cours du séchage, et du ramassage, le foin subit des opérations mécaniques. Plus les organes des plantes se dessèchent plus ils deviennent cassants. Les feuilles sont ainsi les organes les plus sensibles, notamment celles des légumineuses. Les pertes augmentent avec la fréquence des retournements et l'agressivité des machines utilisées. Elles peuvent s'élever à 15 % pour les graminées et jusqu'à 20 % pour les légumineuses.

IV.3.3.3. Lessivage : La pluie constitue la principale cause de variation des pertes en fanage. Immédiatement après la fauche, la pluie n'occasionne pratiquement pas de perte, mais quand les cellules sont mortes, au bout de 24 ou de 48 h, la moindre pluie entraîne les matières solubles, qui se trouvent être les plus digestibles. Ces pertes s'élèvent jusqu'à 15 ou 25 %. En outre, les fourrages lessivés prennent une coloration terne, jaunâtre, témoin de la disparition ou de la dégradation des chlorophylles.

IV.3.3.4. Exposition au soleil : L'exposition prolongée au soleil décolore le foin. En effet, les pigments chlorophylliens sont oxydés à la lumière. Cette oxydation affecte également le carotène, ou la provitamine A. La coloration du foin donne une idée sur la teneur en cette vitamine, dont le foin est très appauvri par rapport au fourrage sur pied. Par contre l'exposition au soleil améliore la teneur en vitamine D.

IV.3.3.5. Attaques de micro-organismes

A partir du moment où la plante est morte, et tant que l'humidité du foin est supérieure à 18 %, le fourrage constitue un substrat pour le développement de micro-organismes : bactéries, levures et champignons microscopiques. Ce développement peut commencer au champ si le séchage se prolonge au-delà de 2 ou 3 jours par suite de conditions météorologiques défavorables.

La perte globale de matière sèche s'élève à 25 % par beau temps et à 35 % par temps médiocre. Pour les légumineuses, il faut rajouter 5 à 10 % de pertes supplémentaires.

IV.3.4. Conduite du fanage au sol

Le fanage au sol dépend des conditions climatiques, aussi pour démarrer le travail, les conditions climatiques doivent être favorables et durer pendant quelques jours ($T > 15^{\circ}\text{C}$ et $H < 60\%$).

IV.3.4.1. Fauche des fourrages

Après la faux, qui est utilisée en zone de montagne pour exploiter les zones en pente, plusieurs outils de fauche sont développés: la fauche par cisaillement, la fauche par impact et fauche par lacération.

IV.3.4.2. Fanage

Le fanage est une opération mécanique qui a pour but de favoriser le séchage uniforme de l'herbe fauchée. Il consiste en la dispersion du foin sur toute la surface de la prairie et son retournement. Les pertes hydriques de l'herbe coupée sont réalisées grâce à l'action des facteurs naturels de dessiccation: la chaleur, l'ensoleillement et le vent. Quand les tiges sont encore un peu souples, mais qu'on ne peut plus en extraire de jus par pression, le foin est bon à être mis en andains en vue de son ramassage.

Pour des foins très tardifs, récoltés en été par très beau temps, il est quelquefois possible de ne pas effectuer d'opération supplémentaire de fanage. Cette

situation peut aussi se rencontrer pour des fourrages destinés à la ventilation en grange, rentrés entre 30 et 50 % de teneur en eau résiduelle.

IV.3.4.3. Andainage

Le fourrage coupé en contact du sol reste humide par rapport à celui exposé à l'air et au vent, l'andainage sert par le repositionnement du fourrage coupé à offrir une plus grande surface à l'action du vent (Figure 25). Additivement, c'est une opération qui a pour but de rassembler en ligne une masse de fourrage afin de permettre sa reprise par une ramasseuse presse.



Figure 25 : Exposition du foin fauché au soleil sous forme d'andains.

IV.3.4.4. Conditionnement (pressage)

Cette opération est réalisée au moyen de pressage pour le conditionnement en balles rondes ou en bottes parallélépipédiques permettant la réduction des volumes de stockages.

IV.3.4.5. Stockage : Le stockage du foin doit se faire à l'abri des intempéries.

IV.3.5. Séchage du foin par ventilation

Le séchage de foin par ventilation (Figure 26) : est appelé aussi séchage en grange, l'objectif de cette méthode est :

- d'assurer la récolte et le stockage du fourrage dans un délai court et avec le maximum de sécurité dans le processus de dessiccation,
- de récolter des graminées et des légumineuses fourragères à des stades de développement précoces pour obtenir des foins de haute valeur alimentaire.

Il consiste à faire passer une masse d'air suffisamment sec à travers le foin. Cet air se charge de l'eau résiduelle contenue dans le fourrage.

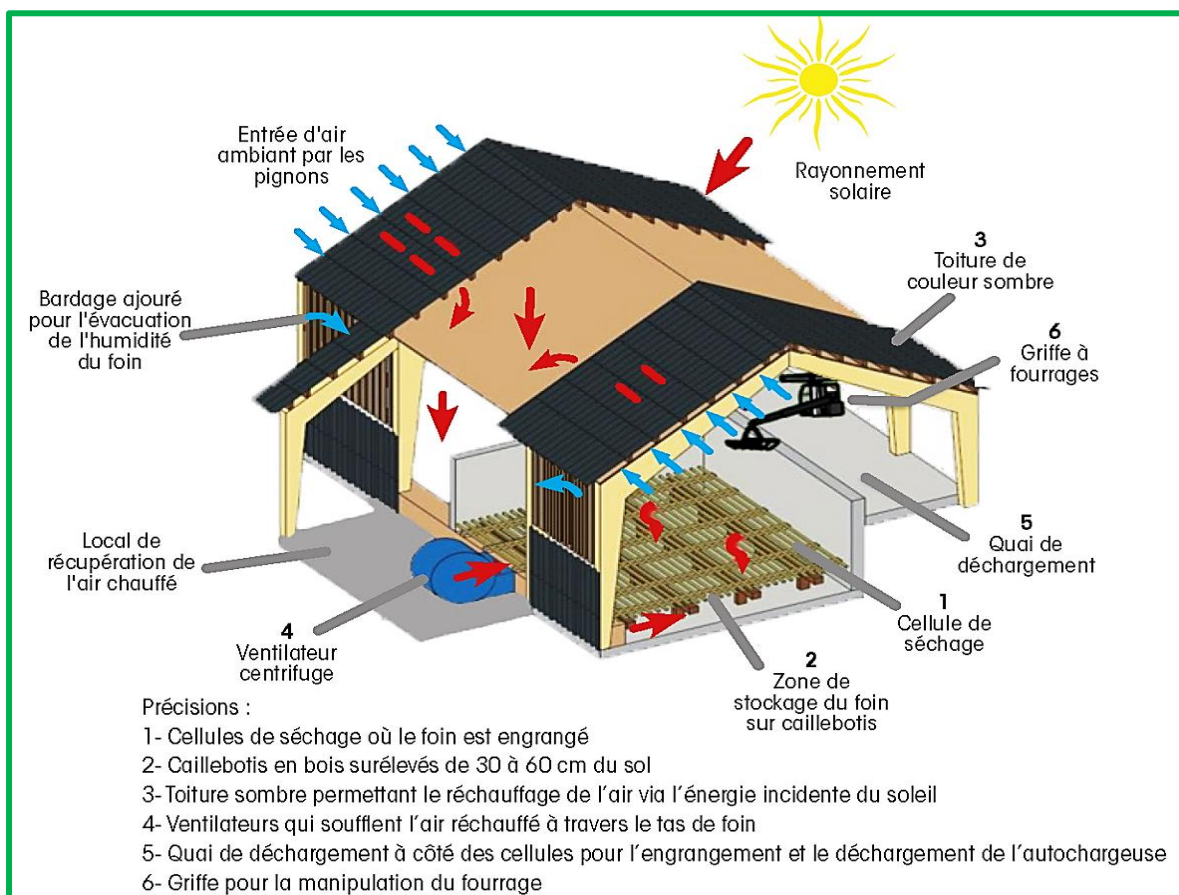


Figure 26 : Séchage par ventilation en grange.

IV.3.6. La déshydratation

Cette technique est appliquée à d'excellents fourrages, en particulier à la luzerne et à des aliments très aqueux comme la pulpe de betteraves. Le fourrage vert est haché, puis desséché rapidement en le soumettant à de fortes températures, près de 1000°C pendant un temps variant de 30 secondes à 03 minutes. Après la déshydratation, le produit (90 à 95% MS) est soit conditionné en balle ou soumis à la granulation. La granulation permet de limiter les pertes et facilite la manutention et le stockage. Cette technique est coûteuse, à cause des dépenses énergétiques engagées, mais elle est intéressante, car elle n'est pas dépendante des conditions météorologiques. Elle s'applique aux légumineuses, car elle permet de conserver la qualité originelle du fourrage vert, notamment en conservant la majorité des feuilles.

IV.3.7. Appréciation de la qualité du foin

On apprécie la qualité d'un foin à sa composition botanique, à son aspect (sa couleur, son odeur, sa texture, ses souillures) et sa valeur fourragère.

- a) La composition botanique est estimée en fonction du pourcentage de légumineuses, des graminées, d'autres espèces et en particulier des mauvaises herbes.
- b) Une teinte plus au moins verte est généralement l'indice d'une bonne dessiccation.
- c) L'odeur doit être franche, agréable et sans relent de moisi.
- d) La texture doit être souple, le foin riche en feuilles, avec peu de souillures (poussières, moisissures).

Un foin mal séché et mal stocké sera brun ou noir avec une odeur caractéristique de moisissure et très poussiéreux. On aura une sensation d'humidité au toucher. Le foin contaminé par certains micro-organismes non détruits par le séchage peut même présenter des dangers pour l'homme et les animaux.

Pour évaluer la valeur alimentaire du foin, l'analyse chimique et l'estimation de la valeur fourragère, complètent les observations citées plus haut. La valeur fourragère du foin ne doit pas être très inférieure à celle du fourrage vert. Enfin les critères les plus utiles sont les performances des animaux.

IV.3.8. Valeur alimentaire des foins récoltés

La valeur alimentaire des foins récoltés est très variable sous la triple influence du stade de récolte, des conditions de séchage et des espèces végétales exploitées.

IV.3.8.1. La valeur énergétique

Celle des foins est inférieure à celle des fourrages verts d'origine à cause des pertes de matières sèches principalement des feuilles riches en contenus cellulaires. Ainsi, la diminution de la part des feuilles dans les foins par rapport au fourrage vert entraîne une baisse de digestibilité de la matière organique restante (d'environ 5,7%). La valeur énergétique nette est de ce fait diminuée (jusqu'à 0,3UF).

IV.3.8.2. La valeur azotée des foins

Pendant la phase de séchage, la plante perd de la matière organique et subit une hydrolyse des protéines solubles. Les modifications de la teneur azotée seront faibles si la dessiccation est rapide et inversement elles peuvent être très importantes si le fourrage est resté longtemps au sol avant de pouvoir être stocké.

IV.3.8.3. Quantités ingérées

Les plantes séchées ont une composition anatomique modifiée par rapport au fourrage vert dont il est issu: baisse de digestibilité suite à la disparition plus au moins accentuée des glucides solubles. Les fermentations ruminales sont pénalisées par défaut des glucides fermentescibles et l'appauvrissement en contenu cellulaire.

La valeur alimentaire des foins exprime le potentiel d'apport en énergie du fourrage à l'animal. Il résulte donc de la combinaison de la valeur énergétique et

des quantités ingérées. La baisse de la digestibilité de 5,7% et d'ingestibilité de 18,5% entraîne globalement une perte de valeur alimentaire de 25% (Tableau 5). Ainsi un foin en moyenne aurait un potentiel de fourniture en énergie inférieur de 25% à celui du fourrage vert d'origine.

Tableau 5: Modification de la composition chimique, de digestibilité et d'ingestibilité entre fourrage vert et foin.

	Modification des teneurs (g/kg MS)		Modification de la :	
	Matières azotées	Cellulose brute	Digestibilité de la MO (points)	Matière sèche ingérée (g/kg poids métabolique)
Foin de graminées				
Séchés au sol, beau temps	- 8	+ 21	- 3,9	- 13
Séchés au sol < 10 jours, pluie	- 16	+ 43	- 5,9	- 14
Foin de luzerne				
Séchés au sol, beau temps	- 22	+ 56	- 5,2	- 15
Séchés au sol, pluie	- 27	+ 99	- 10,1	- 20

IV.4. Récolte et conservation des fourrages par voie Humide : Ensilage

IV.4.1. Principe : L'ensilage est un procédé de conservation des fourrages par voie humide, à température ambiante, basé sur l'acidification naturelle du milieu grâce à l'acide lactique provenant de la fermentation des sucres de la plante en absence d'oxygène. Le procédé d'ensilage permet d'atténuer les pertes au champ occasionnées par la chute des feuilles et les intempéries.

Cette technique de conservation est connue depuis des siècles (1000 à 1500 ans Avant J-C) en Égypte. Mais son utilisation à travers le monde n'a connu un réel essor qu'après la deuxième guerre mondiale (1950-1960), avec le développement de la motorisation.

Le fourrage vert haché puis mis en silo, à l'abri de l'air, subit des transformations biochimiques sous la dépendance de:

- ✓ Facteurs liés à la composition chimique de la plante (enzymes),
- ✓ Facteurs extérieurs à la plante (micro-organismes).

Et dont l'action conjuguée de ces facteurs détermine le développement de la flore bactérienne, c'est-à-dire l'évolution de la fermentation.

La transformation du fourrage vert en ensilage s'effectue en plusieurs étapes mettant en jeu des enzymes et des micro-organismes qui sont à l'origine des phénomènes biologiques susceptibles d'aboutir à un produit stable et de bonne conservation.

IV.4.2. Transformations biochimiques dans le fourrage

IV.4.2.1. Action des enzymes de la plante: respiration

Les cellules de la plante ne perdent pas leur vitalité immédiatement après la coupe et les échanges gazeux se poursuivent dans la masse du fourrage tant que l'oxygène est présent dans le silo. Il y a donc respiration (respiration de la cellule végétale = Phase aérobie): oxydation des glucides avec production de gaz carbonique, de vapeur d'eau et de chaleur et protéolyse des protéines, c'est-à-dire leur transformation en acides aminés solubles. La quantité d'air présent dans le silo est fonction du tassement réalisé, elle peut représenter un tiers de l'espace occupé par le fourrage.

La respiration cellulaire entraîne la perte de matière sèche et surtout des sucres nécessaires au développement ultérieur des bactéries lactiques. Cependant grâce à la formation du gaz carbonique, la respiration est favorable à la création de l'anaérobiose, indispensable pour les bactéries lactiques. L'intensité respiratoire dépend de plusieurs facteurs:

- a) Présence d'oxygène dans le milieu :** forte lors de la confection, puis la raréfaction de l'O₂ qui est rapide dès que le silo est hermétiquement bâché. La concentration en CO₂ augmente et réduit l'activité respiratoire.
- b) La température :** dans un premier temps, l'augmentation de la température favorise l'activité des enzymes respiratoires (35°C). Au-delà de 35°C, les enzymes sont dénaturées, et l'activité respiratoire est réduite.

c) **La concentration en ions Hydrogène (H⁺)** : la chute du pH réduit l'activité respiratoire jusqu'à l'annuler.

IV.4.2.2. Action des micro-organismes : fermentation

De nombreux germes microbiens se rencontrent sur les parties aériennes des plantes vertes. Ils peuvent se multiplier en cas de séjour au sol prolongé et peuvent entrer en activité lorsqu'ils se trouvent plongés dans les jus libérés par les tissus végétaux lacérés par la récolte. Cette flore bactérienne (Figure 27) comprend diverses espèces se caractérisant par leur réaction au milieu ambiant ainsi que par les produits résultant de leur activité.

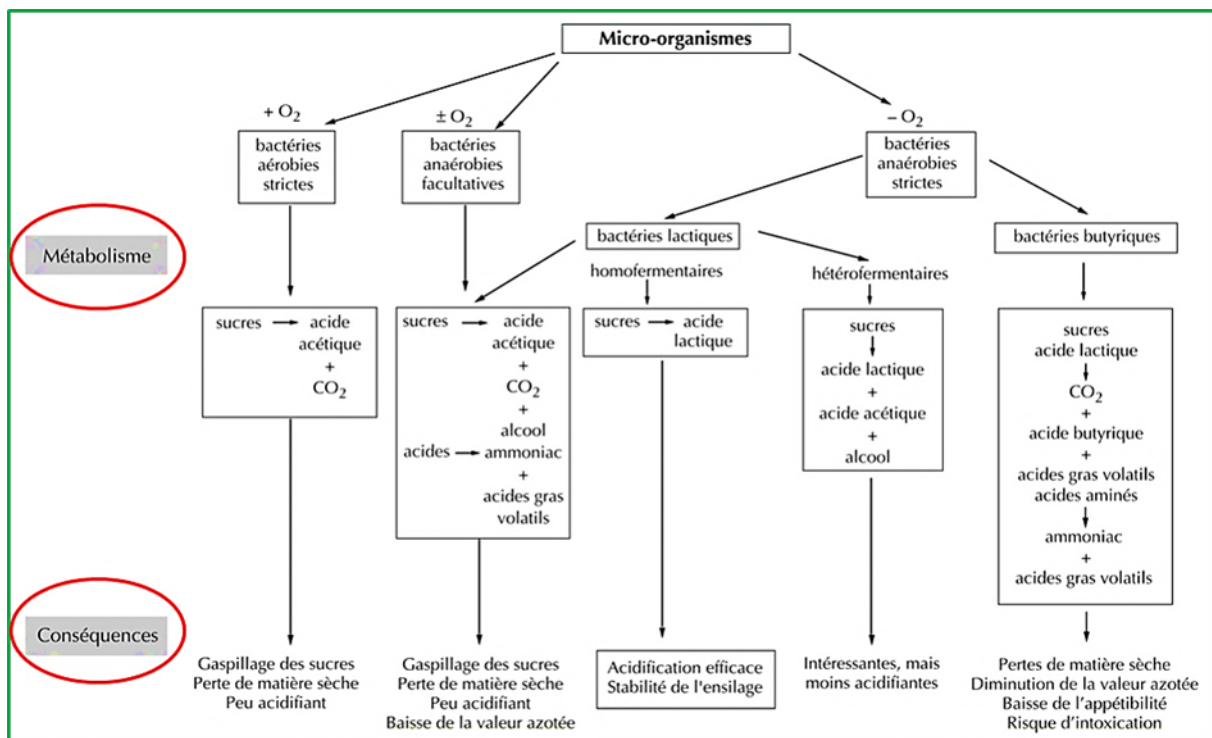


Figure 27 : Activité des micro-organismes dans un ensilage.

IV.4.2.2.1. Bactéries aérobies strictes

Au début de la fermentation et alors que subsiste encore suffisamment d'air (oxygène) dans la masse de fourrage, se développent des bactéries aérobies strictes, sans intérêt pour l'ensilage et disparaissant rapidement par l'appauvrissement du milieu en oxygène.

IV.4.2.2.2. Bactéries anaérobies facultatives = phase transitoire

Au moment de la confection du silo, le pH est quasiment neutre (6,5 à 7) et disposant d'oxygène. La phase d'acidification débute en milieu neutre et aérobie, ces conditions sont favorables au développement des entérobactéries ou bactéries coliformes. Elles se multiplient rapidement, au fur et à mesure que se réalise l'anaérobiose. Ces bactéries provoquent un début d'acidification du milieu en produisant de l'acide acétique, du gaz carbonique, de l'alcool, ainsi qu'un début de dégradation des acides aminés en ammoniac et acides gras volatils. Leur réaction est ralentie dès que l'acidité atteint le pH de 4,5.

IV.4.2.2.3. Bactéries anaérobies strictes = phase de fermentation acide

Les bactéries lactiques, anaérobies strictes, peu abondantes au départ sur le fourrage, se développent rapidement avec les conditions favorables:

- ✓ La disponibilité des sucres fermentescibles en quantité suffisante,
- ✓ L'absence totale d'oxygène dans la masse de fourrage.

Les bactéries lactiques transforment les glucides fermentescibles en acide lactique qui accroît l'acidité du fourrage ensilé jusqu'à des pH de 4,2 à 3,5 sans que leur activité ne soit altérée, alors que celle des autres micro-organismes est entravée. Nous distinguons deux types de bactéries lactiques qui se différencient selon leur efficacité dans le métabolisme du sucre, elles se distinguent par leur aptitude à produire de plus ou moins grandes proportions d'acide lactique à partir de quantités de sucre identiques.

IV.4.2.2.3.1. Les bactéries homofermentaires : métabolisent les sucres en acide lactique avec une efficacité fermentaire remarquable (les plus intéressantes pour la réussite d'un ensilage).

IV.4.2.2.3.2. Les bactéries hétérofermentaires : métabolisent les sucres en acide lactique mais avec moins d'efficacité. Elles produisent en plus de l'acide acétique, du méthanol et du CO₂.

Et par conséquence, il peut y avoir des différences de qualité entre les ensilages selon que prédomine tel ou tel type de ferments et que l'on a à faire à tel ou tel type de sucre.

IV.4.2.3. Fermentation butyrique

Des fermentations indésirables peuvent également se développer dans l'ensilage sous certaines conditions. Il s'agit en particulier de la fermentation butyrique occasionnée par des bactéries anaérobies strictes, sporulées et résistant donc aux conditions de milieu défavorables. L'incorporation de terre contenant du fumier lors de la récolte du fourrage explique leur présence.

Ces micro-organismes peuvent se développer aussi bien à partir des glucides fermentescibles qu'au détriment de l'acide lactique pour donner de l'acide butyrique et du gaz carbonique. Ce qui correspond à une baisse d'acidité du milieu, donc à un accroissement du pH. De plus ces bactéries peuvent attaquer les protéines et les acides aminés pour les transformer en acides gras volatils et en ammoniac. Toutefois les manifestations de ces micro-organismes sont interrompues à partir d'un certain niveau d'acidité (pH 4,2).

IV.4.3. Réalisation d'un ensilage

IV.4.3.1. Ensilage de graminées et légumineuses fourragères

Les feuilles et les tiges constituent l'essentiel de la matière végétale dans le silo. Cinq règles à retenir qui conditionnent la qualité de la conservation, à savoir: Le choix des espèces, L'herméticité du silo, La longueur des brins, Le préfanage et l'usage des agents de conservation.

a- Choix des espèces : chaque espèce est connue pour son aptitude à l'ensilage selon sa capacité à permettre la diminution rapide du pH, sous l'influence de:

- ✓ **Sa teneur en sucres :** les graminées au stade feuillu sont pauvres en sucres, alors que les teneurs optimales (10 à 12 % de MS) sont obtenues au stade épi 10Cm et début épiaison. Les différences entre espèces sont importantes; le ray grass d'Italie et le brome ont des taux élevés alors que

la fétuque et le dactyle ont des teneurs assez modestes. Pour les légumineuses, le trèfle violet a des teneurs moyennes (5 à 9%), la luzerne a des teneurs plus faibles (5 à 6%) et enfin le trèfle blanc est très pauvre en sucres solubles (2,9 à 3,2%).

✓ **De son pouvoir tampon :** Le pouvoir tampon d'un fourrage représente sa capacité à résister à un abaissement de son pH. Le pouvoir tampon est exprimé par la quantité d'acide lactique (en % de la MS) nécessaire pour abaisser à 4 le PH de l'ensilage. Il est d'autant plus élevé que l'ensilage des légumineuses et plus spécialement la luzerne que celui des graminées à cause de son pouvoir tampon plus élevé:

- Mais plante entière : 2% d'acide lactique
- Graminées : 3% d'acide lactique
- Luzerne : 6% d'acide lactique.

b- Finesse de hachage : dépend du nombre de couteaux qui sont montés sur l'ensileuse, Grace au différentes finesses de hachage nous pouvant distinguer les brins courts (1 à 3 Cm) et les brins longs (> 25Cm). Le hachage du fourrage permet d'améliorer la qualité de la conservation, du fait qu'il influence la qualité de répartition de l'herbe dans le silo et la qualité du tassement.

c- Le préfanage : permet de récolter un fourrage de 30-35% MS, c'est la pratique d'un fanage au sol du fourrage de légumineuses fourragères (spécialement la luzerne) et certaines graminées (dactyle et fétuque) à faible teneur en sucre avant sa mise en silo pour but d'augmenter la teneur en matière sèche favorable au bon déroulement des processus fermentaires.

d- Chargement et herméticité du silo : le silo doit être réalisé rapidement dans la journée pour créer les conditions favorables aux fermentations lactiques. Le tassement du fourrage est assuré par un tracteur, la fermeture du silo doit suivre immédiatement le tassement de fin de remplissage. L'herméticité des silos est assurée par des bâches en plastiques.

e- Incorporation de conservateur : Ce terme recouvre des produits dont les modalités d'action sont souvent très différentes. Ils peuvent agir, selon leur nature, soit directement, soit indirectement, sur l'acidification du milieu.

- ✓ **Conservateurs chimiques à action directe :** Ce sont les conservateurs acides, qui provoquent un, abaissement immédiat du pH. Les produits les plus employés sont : l'acide formique seul ou en mélange avec du formol, ou le mélange acide-sulfurique + formol. Le sel ou chlorure de sodium: le sel n'est pas un conservateur mais a une action inhibitrice sur les bactéries butyriques.
- ✓ **Conservateurs chimiques à action indirecte :** ce sont les conservateurs biologiques, par opposition aux précédents, parce qu'ils font appel uniquement à des moyens naturels pour favoriser le processus fermentaire aboutissant à l'ensilage. Ils opèrent par : Accroissement artificiel de la teneur en sucres des fourrages, à l'aide de la mélasse (2 à 3% du poids vert pour les graminées et 4 à 5% de celui-ci pour les légumineuses).
- ✓ **Amélioration de l'efficacité fermentaire par adjonction de bactéries** plus efficace dans la transformation des sucres en acide lactique avec, éventuellement, l'augmentation des disponibilités du fourrage en sucres fermentescibles.

IV.4.3.2. Ensilage en balles et l'enrubannage : l'ensilage en silo connaît une régression au profit d'une nouvelle conception qui semble offrir une alternative et attire beaucoup d'éleveurs: l'ensilage en balles et l'enrubannage. La grande majorité des ensilages en balles est constitué à partir de fourrage mi-fané conditionnés en balles rondes, et confinés en milieu anaérobie par un procédé d'enroulement à l'aide d'un film plastique étirable. La récolte du fourrage se fait à 50 à 60% de MS, ce qui réduit le temps de séchage au sol. Le processus de conservation est identique avec une acidification dans un milieu anaérobie. Trois contraintes sont à respecter:

- La durée qui sépare la confection des balles et l'enrubannage doit être de courte durée,
- La manipulation des balles enrubannées doit être faite avec du matériel spécifique pour ne pas endommager le film plastique,
- L'entreposage des balles doit être fait de façon à assurer l'intégrité du film plastique.

IV.4.3.3. Ensilage de Maïs plante entière : le Maïs est une plante très utilisée pour l'alimentation des ruminants, la part de l'épi pouvant atteindre 65% de la matière sèche totale récoltée. C'est ce qui donne le statut d'une association fourrage-concentré. L'ensilage du Maïs plante entière est un produit de bonne qualité grâce :

- ✓ A la teneur en matière sèche au stade de récolte qui est de 30 à 35% de la matière brute, ce qui crée des conditions très favorables à la stérilisation du milieu et, par conséquent, apporte un potentiel de conservation de longue durée.
- ✓ La teneur en sucres soluble est élevée de 10 à 15% de MS, suffisante pour réussir l'ensilage d'une plante dont le pouvoir tampon est faible.

Du point de vue bactériologique, la flore épiphyte se trouvant sur les plantes du Maïs sont à dominance lactiques homofermentaires très favorables à l'acidification lactique précoce dans le silo ou dans les balles enrubannées.

IV4.4. Transformations post-fermentaires

En principe, l'ensilage correctement fermenté est stable, en absence d'oxygène à un pH égal ou inférieur à 4. Cependant, il subsiste des risques de la reprise d'activité de certains agents de dégradation (moisissures et levures) soit par altération du silo ou à la reprise de celui-ci.

IV.4 5. Appréciation des résultats de la fermentation

Les transformations du fourrage vert sous l'action de la fermentation lactique aboutissent à un produit nouveau conservant, pour l'essentiel, la composition chimique et la valeur nutritive du fourrage d'origine, mais avec des variations

quantitatives portant tant sur le poids de fourrage que sur la proportion des éléments constitutifs de la plante. Par ailleurs, de nouveaux produits apparaissent, dont l'importance relative permet de juger de la nature et de l'évolution des phénomènes fermentaires, autorisant ainsi une appréciation de la qualité de conservation.

a- Pertes quantitatives

- **Pertes de matière sèche :** C'est la différence observée au niveau du silo entre les quantités de fourrage respectivement ensilées et retirées de celui-ci, elle dépend essentiellement de la teneur en humidité du fourrage récolté. En effet, la majorité des fourrages herbacés avec une teneur en matière sèche faible (< 18 %) lorsqu'ils sont fauchés au bon stade, ce qui entraîne des pertes considérables pouvant atteindre 25 % à 40 % de la matière sèche, dues en grande partie aux écoulements de jus. La seule façon de limiter ces pertes est d'éliminer une partie de l'eau de la plante avant l'ensilage par la pratique du préfanage au champ.
- **Les pertes gazeuses,** ou fermentaires, résultant des transformations biochimiques au sein de la masse fourragère et qui peuvent être considérées comme inévitables bien que variables selon le type de fermentation dominant. Elles sont imputables :
 - à la respiration : 0 à 5 % ;
 - aux fermentations anaérobies : environ 5 % ;
 - la post-fermentation : 0 à 5 %.
- **Les pertes par écoulement des jus,** liées à la teneur en matière sèche initiale du fourrage ensilé ainsi qu'à sa finesse de hachage. Ces écoulements se ralentissent entre 20 et 25 % de teneur en matière sèche pour s'annuler vers 27-28 %
- **Les pertes par inconsommable,** qui résultent généralement de la dégradation du produit sous l'action des moisissures ou des levures.

b- Pertes qualitatives :

Ce sont des pertes liées à la nature des phénomènes biologiques qui se sont développés dans la masse de fourrage et l'appréciation d'une bonne orientation de ceux-ci est fournie par l'analyse de la qualité de l'ensilage (Tableau 6).

Tableau 6 : Barème d'appréciation de la qualité de conservation des ensilages.

	Acides gras volatils (g/kg MS)		Azote Ammoniacal % Azote total			Azote soluble % Azote total
	Acétique	Butyrique	Mais	Graminées	Luzerne	
Excellent	< 20	0	< 5	< 7	< 8	< 50
Bon	20-40	< 5	5 - 10	7 - 11	8 - 12	50 - 60
Médiocre	40-55	> 5	10 - 15	11 - 15	12 - 16	60 - 70
Mauvais	55-75	> 5	15	15 - 20	16 - 20	< 70
Très mauvais	>75	> 5	15	> 20	> 20	> 70

Chapitre V : Système fourrager

V.1. Objectif du chapitre 5

- Définir le système fourrager ;
- Examiner les principes de fonctionnement du système fourrager ;
- Rechercher les différentes pratiques de gestion des systèmes fourragers ;
- Analyser la diversité des systèmes fourragers ;
- Apprécier les systèmes fourragers en Algérie.

V.2. Système fourrager: un concept, plusieurs définitions

Un Système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé dans un but. **Initialement** défini comme l'ensemble organisé des moyens destinés à produire les fourrages, le système fourrager a évolué progressivement vers une notion plus dynamique : un système d'information et de décision visant à équilibrer les ressources et les besoins en fourrages en vue de répondre à un objectif de production dans un cadre de contraintes données. Le système fourrager constitue la base de l'alimentation des ruminants. Son optimisation est essentielle dans les exploitations d'élevage.

Le Système fourrager :

C'est l'ensemble des moyens de production, des techniques et des processus qui, sur un territoire, ont pour fonction d'assurer la correspondance entre le ou les systèmes de culture et le ou les systèmes d'élevage. Le système fourrager est donc une chaîne formée d'un certain nombre de maillons, où le système d'élevage constitue l'extrémité de cette chaîne

V.2.1. Le Système de culture

Sa fonction est de produire des végétaux à partir des facteurs naturels de la production végétale : Terre - Plantes - Eau - Lumière solaire - Intrants - Itinéraire cultural. Ces végétaux ont en général pour destinations soit la mise en marché de produits agricoles (graines, fourrage vert, foin, ensilage, enrubannés...) soit l'approvisionnement de troupeaux d'animaux.

Ce système de culture est doté de potentiels et de contraintes, puisqu'il est soumis aux influences des facteurs : agronomiques, climatiques, environnemental, structurel, culturel, économique.....

V.2.2. Le système d'élevage

Il a pour fonction de transformer des produits végétaux en produits animaux. Ces produits animaux sont destinés à être commercialisés par leur mise sur le marché.

Le système d'élevage est doté de potentiels et de contraintes car il est soumis aux influences d'une multitude de facteurs tels que les ressources alimentaires, les types génétiques, les équipements, la culture de l'éleveur, les aspects sanitaires, l'environnement de marché....

La gestion alimentaire des élevages constitue un enjeu majeur de viabilité économique des systèmes de production. Les stratégies développées par les éleveurs sont directement influencées par les conditions d'exercice de l'activité de production animale: économiques, sociales et environnementales. La rentabilité comme objectif : pour assurer cette rentabilité, il convient de rechercher :

- a- L'autonomie fourragère : avoir la quantité de matière sèche suffisante aux besoins du troupeau ;
- b- L'autonomie alimentaire : avoir la ration de base la plus qualitative possible pour limiter la complémentation en azote et en énergie ;
- c- La résistance du système aux aléas climatiques ;
- d- L'optimisation des intrants, de l'énergie et du travail.

Pour répondre à tout cela, le système fourrager d'une exploitation doit s'adapter à 3 facteurs (Figure 28) : l'exploitation, le troupeau et l'éleveur.

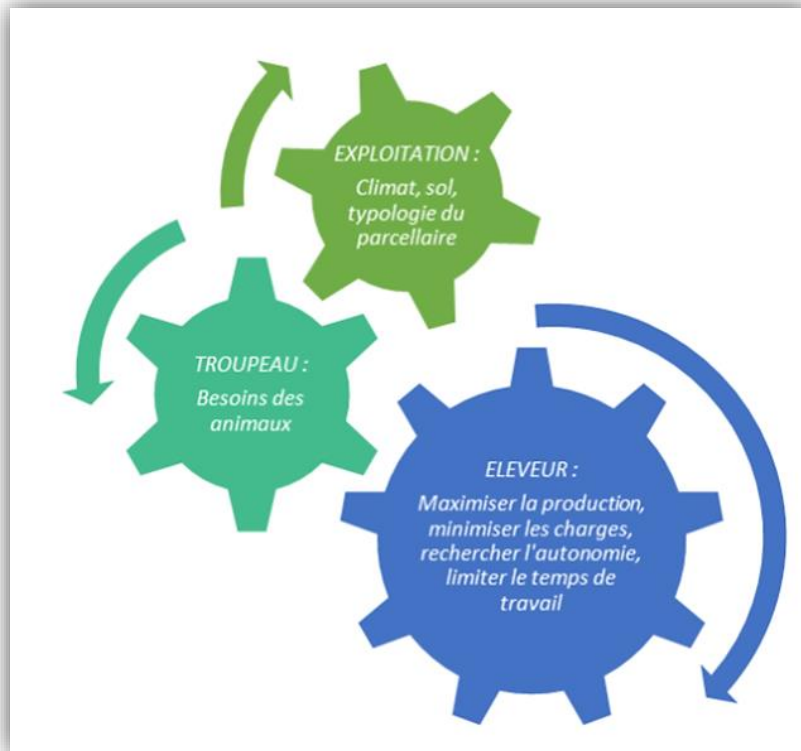


Figure 28 : Les composants d'un système fourrager.

Systeme fourrager → Un équilibre fragile

De nombreux événements peuvent mettre en péril le fragile équilibre. Une sécheresse va entraîner un déficit herbager préjudiciable. Des solutions existent comme la mise en place d'espèces mieux adaptées, la production plus précoce au printemps, la valorisation des prairies permanentes...

Parmi les solutions d'optimisation du système fourrager, certaines peuvent être liées à la conduite des parcelles (amélioration du pâturage, intégration de légumineuses ou de prairies multi-espèces ...), d'autres à celle du troupeau (adaptation du chargement, diminution des effectifs pour atteindre l'autonomie; concordance des périodes à forts besoins avec les pics de production...).

V.3. Les principes de fonctionnement du système fourrager

Le système fourrager a pour fonction d'assurer la correspondance entre le système de culture et le système d'élevage. Certains principes déterminent cette correspondance et son fonctionnement.

V.3.1. Le système de culture conditionne l'offre de fourrage

Le système de culture placé en amont de la chaîne de production animale, offre des potentialités et des contraintes. Le contexte agro-climatique, qui définit le cadre de production détermine un potentiel de production végétale qu'il faut examiner sous plusieurs aspects :

V.3.1.1. Les espèces utilisables

Le choix des espèces est conditionné par la qualité du sol et le climat auquel se rajoute la disponibilité éventuelle d'un réseau d'irrigation.

V.3.1.2. La durée du cycle de la production végétale

Le cycle de production végétale est un élément très important dans la qualité de l'offre de fourrage. La production végétale est cyclique et soumise aux influences déterminantes du climat (pluviométrie et la thermométrie), additionnées aux facteurs de qualité du sol.

V.3.1.3. La sécurité d'approvisionnement en fourrages

La gestion de l'offre de fourrage doit être conçue d'un impératif de sécurité. En effet avec le réchauffement et les changements climatiques, une variabilité, tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif de la production végétale est à considérer.

V.3.1.4. Les conditions d'exploitation des ressources fourragères

Le système de culture présente des atouts et des contraintes qui dépendent :

- ✓ Du morcellement des parcelles et leur éloignement de l'exploitation ;
- ✓ De l'inclinaison, de l'aménagement et des équipements de l'exploitation.

Tous ces facteurs interviennent sur les pratiques et les techniques à mettre en œuvre pour maximiser les productions fourragères de bonne qualité.

V.3.2. Le système d'élevage conditionne les rations

Le système d'élevage correspond à l'ensemble des moyens utilisés pour assurer la fonction de transformation des produits végétaux en produits animaux. Chaque fonction de production est particulière, en relation avec le cycle de production :

V.3.2.1. Cas de la production de viande

Il consiste en une accumulation de masse corporelle, dont la valeur économique réside dans la masse musculaire, et chaque catégorie à produire va suivre un programme alimentaire approprié à une trajectoire de croissance corporelle ;

V.3.2.2. Une production de génisses de renouvellement

Il devra par exemple respecter une croissance peu intensive jusqu'à 12-14 mois pour préserver les potentialités de fécondité et de production laitière.

V.3.2.3. Une production de jeunes bovins

Elle est soumise à un rationnement avec un niveau d'apport énergétique proportionnel au potentiel de croissance musculaire.

V.3.2.4. Cas de production laitière

Le cycle de lactation exprime le potentiel de synthèse de la glande mammaire. La sensibilité de cette synthèse due aux apports énergétiques et azotés des rations distribuées est très élevée.

- ✓ Il faut apporter pour les vaches laitières du fourrage à volonté, et peu variable en nature pour ne pas perturber les fermentations ruminales.
- ✓ Et pour assurer la survie des vaches laitières et le démarrage d'un nouveau cycle de reproduction, il faut reconstituer leurs masses corporelles perdues lors de la deuxième moitié de lactation.

V.4. Le système fourrager dispose des outils de l'alimentation du troupeau

Le système fourrager met en œuvre les moyens de l'exploitation des fourrages pour les apporter aux animaux d'élevage ; il s'agit de prendre la plante et la rendre disponible jusqu'à la pâture ou à l'auge. Ces moyens sont des outils qui doivent satisfaire à deux types d'exigences :

- ✓ Assurer une action matérielle efficace en terme de travail mais aussi en terme de condition de mise en œuvre.
- ✓ Satisfaire aux exigences techniques des élevages.

Ces outils mis en œuvre par le système fourrager ont une fonction complexe à la fois technique, économique, et sociale. Cette fonction doit permettre d'atteindre les objectifs définis de coût de récolte, de sécurité du résultat, de potentiel de valeur alimentaire du fourrage et d'organisation du travail.

V.5. Les facteurs agissants sur les pratiques de la gestion du système fourrager

Les modes de gestion des systèmes fourragers et par extension des systèmes de production animale ne sont pas tous identiques et sont susceptibles de subir des changements. Il y a donc une hétérogénéité dans les choix des techniques et des pratiques utilisées par les éleveurs ; et ceci ; en fonction :

- ✓ **Du système de production :** qui est une combinaison de plusieurs sous-systèmes (pour exemple ; un élevage laitier a au moins deux types d'animaux= les vaches laitières et les génisses de renouvellement).
- ✓ De la valeur ajoutée de la production.
- ✓ Des rapports de prix.
- ✓ Des problèmes environnementaux.

V.6. Les pratiques de la gestion du système fourrager

Deux pratiques de gestion du système fourrager sont utilisées :

V.6.1 Le bilan fourrager : est une pratique qui a pour but en début de période hivernale, à partir des stocks de fourrages constitués et des lots d'animaux présent dans une exploitation, de planifier le rationnement hivernal du troupeau. Il revient à l'éleveur d'élaborer les rations possibles en fonction des stocks et des objectifs retenus quant aux performances zootechniques. Le bilan fourrager est une méthode intéressante, mais elle intervient en fin de campagne végétale, donc en aval de la constitution des stocks. L'action est restreinte à une fonction d'ajustement, réalisé au cours d'une campagne.

V.6.2. Le calendrier fourrager

Le calendrier fourrager est mis en amont du bilan fourrager pour tenter d'organiser et de planifier le fonctionnement de la compagne végétale et alimentaire des animaux ; il est donc mis en place avant les ensemencements de fourrages (pendant l'été qui précède la compagne végétale). Cette pratique permet aux éleveurs une meilleure gestion puisqu'elle se base sur la prévision, le contrôle et l'ajustement ; son objectif est d'assurer les moyens pour atteindre les objectifs de production et d'assurer l'alimentation des animaux.

Le système fourrager doit être donc élaboré en été, et surveillé la mise en œuvre du programme en observant l'offre fourragère et les besoins des animaux de l'élevage, en respectant :

- ✓ La Prévision du système fourrager pendant l'été qui précède la campagne végétale ;
- ✓ Le Contrôle et l'Ajustement en hiver (calendrier fourrager) ;
- ✓ Le Contrôle et l'Ajustement à l'automne (bilan fourrager).

V.7. La diversité des systèmes fourragers

La diversité des systèmes fourragers est très grande. Plusieurs facteurs l'expliquent, à savoir : le facteur agro-climatique - le type de production - la culture des éleveurs - les effets de l'environnement économique - les facteurs social, culturel.....

V.7.1. La typologie des systèmes fourragers

Le milieu de l'élevage est connu par la très grande diversifié des systèmes selon les deux composantes constitutives ; les animaux et les fourrages. La composante animale est liée à l'espèce animale, au type de produit obtenu..., et pour la composante végétale, il s'agit des milieux agro-climatiques nombreux et très contrastés. Additionné à ces deux composantes la culture des éleveurs qui diffère d'une région à une autre.

V.7.2. Les facteurs combinés pédoclimatiques

Le climat est un indicateur majeur de la nature des espèces végétales d'une région donnée, et de ce fait, impacte les potentiels de production et d'exploitation. C'est ce

qui a formé les trois grandes zones agro-climatiques en Algérie : Le Tell- La Steppe
-Le désert

V.7.3. La culture des éleveurs

Chaque exploitant se fixe des objectifs en fonction :

- ✓ De sa situation personnelle ;
- ✓ Des moyens de production dont il dispose ;
- ✓ De sa capacité à gérer des systèmes complexes.

Et on ne peut pas exiger d'un éleveur la modification de son système, que s'il est culturellement apte à modifier ses objectifs pour en adopter d'autres.

V.8. Les systèmes fourragers en Algérie

En Algérie, les terres impliquées dans la production fourragère représentent 40 millions d'hectares, composés principalement de chaumes de céréales, de la végétation des jachères pâturées et des parcours qui représentent 97,7 % de la surface fourragère totale (Figure 29).

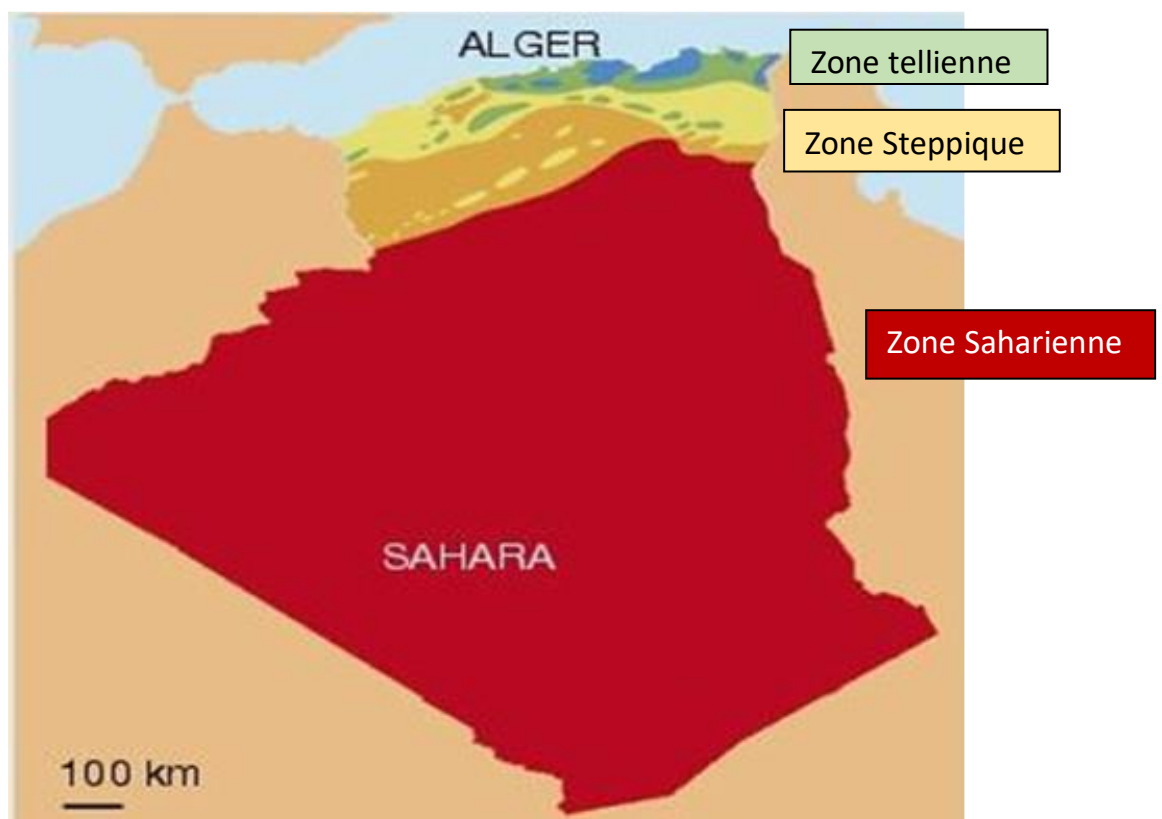


Figure 29 : Représentation des différentes zones pédoclimatiques d'Algérie.

Tandis que les fourrages cultivés et naturels, ne représentent que 1,95 % et 0,51% respectivement et demeurent insuffisantes, compte tenu des besoins des cheptels bovins, ovins, caprins, camelins et équins.

La production fourragère et pastorale est très limitée et représente souvent un frein à l'essor de l'élevage ; Ce problème d'alimentation du cheptel se résume à la pauvreté de l'offre fourragère due à la faiblesse des superficies emblavées, au manque d'eau et à la non maîtrise des techniques culturales.

Les éleveurs sont alors obligés d'alimenter leur cheptel avec des fourrages de moindre qualité mais surtout d'utiliser des concentrés d'une manière abusive ce qui déprécie la productivité, augmente les coûts de production et présente un risque élevé de troubles métaboliques. Le bilan fourrager national a enregistré un déficit de quatre milliards d'UF en 1999 et les surfaces consacrées aux fourrages demeurent faibles par rapport à l'importance de l'élevage notamment bovin. Ce déficit est revu à la hausse en 2015 à plus de Sept milliards d'UF.

Pour les ressources pastorales du Nord d'Algérie, très peu d'études ont été réalisées sur les parcours de l'Atlas Tellien et on ne peut encore réaliser une synthèse qui puisse faire ressortir les caractéristiques de ce type d'écosystème. Ressources importante profitant d'une bonne pluviosité avec des productions fourragères et pastorales très réduites à cause de l'érosion des sols.

La steppe algérienne couvre plus de 20 millions d'hectares d'une végétation basse et rabougrie, soumise à une exploitation humaine très accentuée. La vocation des steppes est principalement l'élevage extensif d'ovins, complétée par une céréaliculture aléatoire. Durant des siècles, la steppe algérienne a été exploitée par des tribus nomades qui vivaient de l'élevage pastoral transhumant de petits ruminants. Les régions steppiennes constituent un tampon entre l'Algérie côtière et l'Algérie saharienne dont elles limitent les influences climatiques négatives.

Depuis plus d'une trentaine d'années, elles connaissent une dégradation de plus en plus accentuée de toutes les composantes de l'écosystème (flore, couvert végétal, sol et ses éléments, faune et son habitat).

L'exploitation collective et régulée des parcours a laissé place à un mode d'exploitation familial concurrentiel. Et, pour répondre à une demande croissante de viande ovine, avec l'accroissement démographique, les éleveurs ont accru leurs troupeaux, étendu la céréaliculture fourragère motorisée et surchargé les parcours qui ont été dégradés.

De plus, les labours s'étendent et les parcours sont systématiquement défrichés favorisant l'extension du phénomène de désertification en fragilisant l'écosystème steppique.

Par conséquent, les parcours ont été fortement réduits par les années de sécheresse récurrentes, une pression anthropique croissante : surpâturage et l'exploitation de terres impropres aux cultures par l'extension de la céréaliculture

Pour ce qui est des parcours sahariens, par la présence d'une flore spontanée, ils constituent la base de l'alimentation des élevages camelins et caprins.

Conclusion

Cette unité d'enseignement fondamentale (ressources fourragères) a pour objectif principale de former des étudiants en production animale qui puissent répondre à un réel besoin des secteurs public et privé, en alimentation et nutrition animale.

Par ailleurs les administrations agricoles et les consommateurs sont de plus en plus alertés par les problèmes de la sécurité alimentaire, sanitaires et de protection de l'environnement.

De ce fait, il est plus que nécessaires d'instaurer les bases appropriées d'alimentation et de nutrition animale de façon à trouver un équilibre et une traçabilité entre les ressources alimentaires pour les animaux d'élevage (les ressources fourragères dans notre cas), et les ressources alimentaires (d'origine animale) pour les consommateurs du point du vue qualité de production et durabilité des systèmes de production.

Références bibliographiques

1. Baumont R., Aufrère J. et Meschy F. (2009). La valeur alimentaire des fourrages : rôle des pratiques de cultures, de récolte et de conservation. *Fourrages*, 198;153-173. <https://www.afpfasso.fr/download.php?type=1&id=1740&statut=0>
2. Baumont R., Aufrère J., Niderkorn V., Andueza D., Surault F., Peccatte J. R., Delaby L. et Pelletier P. (2008). La diversité spécifique dans le fourrage : conséquences sur la valeur alimentaire. *Fourrages*, 194 ; 189-206. <https://www.afpfasso.fr/download.php?type=1&id=1699&statut=0>
3. Baumont R., Dulphy J. P., Sauviant D., Meschy F., Aufrère J. et Peyraud JL. (2010a). Valeur alimentaire des fourrages et des matières premières: tables et prévision. IN Agabriel J. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Ed. INRA, Paris ; 153-183.
4. Baumont R., Dulphy J P., Sauviant D., Tran G., Meschy F., Aufrère J., Peyraud J L. et Champciaux P. (2010b). Les tables de la valeur des aliments. IN Agabriel J. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Ed. INRA, Paris; 185-279.
5. Boisdon I., Capitaine M., Dulphy J P., Andanson L. et Agabriel C. (2009). La valeur nutritive des fourrages n'est pas liée au mode de conduite, biologique ou conventionnel des exploitations agricoles. *Fourrages*, 199; 389-392. <https://www.afpfasso.org/download.php?type=1&id=1754&statut=0>
6. Delaby L., Pavie J., McCarthy B., Comeron E A. et Peyraud JL. (2016). Les légumineuses fourragères, indispensables à l'élevage de demain. *Fourrages*, 226 ; 77-86. <http://www.afpfasso.org/download.php?type=1&id=2078&statut=0>
7. Demarquilly C., Dulphy JP. et Andrieu J P. (1998). Valeurs nutritive et alimentaire des fourrages selon les techniques de conservation : foin, ensilage, enrubannage. *Fourrages*, 155 ; 349-369.
8. Demarquilly C., Grenet E. et Andrieu J. (1981). Les constituants azotés des fourrages et la prévision de la valeur azotée des fourrages. IN Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants, INRA ; 129-154.
9. Duru M. (2016). Les légumineuses « en action » : une lecture sociotechnique des enjeux et des verrous. *Fourrages*, 227 ; 223-231. <https://www.afpfasso.org/download.php?type=1&id=2096&statut=0>
10. Farruggia A., Martin B., Baumont R., Prache S., Doreau M., Hoste H. et Durand D. (2008). Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux ? INRA. *Prod. anim*, 21.181-200.

11. <https://www.afpf-asso.org/download.php?type=1&id=1315&statut=0>
12. <https://www.inra.fr/ciag/content/download/3394/34818/file/Ciag11-7-Julier.pdf>
13. https://www.inra.fr/productionsanimales/content/download/3324/33771/version/1/file/Prod_Anim_2008_21_2_04.pdf
14. INRA. Productions Animales. www.inra.fr/productions-animales/ www.afpf-asso.fr/index/action/page/id/3/title/la-revue-fourrages
15. Jarrige R., Grenet E. Demarquilly C. et Besle J M. (1995). Les constituants de l'appareil végétatif des plantes fourragères. In: R. Jarrige (Editeur), Y. Ruckebush (Editeur), C. Demarquilly (Editeur), M.H. Farce (Editeur), M. Journet (Editeur), Nutrition des ruminants domestiques. Ingestion et digestion (p. 25-81). Mieux Comprendre, 10. Paris, FRA : INRA Editions.
16. Julier B. et Huyghe C. (2010). Quelles légumineuses fourragères (espèces et variétés) et quelles conduites pour améliorer l'autonomie protéique des élevages herbivores ? Innovations Agronomiques, 11; 101- 14.
17. Kellems RO. and Church DC. (2010). Livestock feeds and feeding. Sixth edition 711p.
18. Klein H-D., Rippstein G., Huguenin J., Toutain B., Guerin H. et Louppe D. (2014). Les cultures fourragères. Ed Quæ CTA, Presses agronomiques de Gembloux 264p.
19. Toutain B. et Roberge G. (1999). Cultures fourragères tropicales.
20. Vignau-Loustau L. et Huyghe C. (2008). Stratégies fourragères (Pâturage-Ensilage-Foin). France agricole, Paris; 336p.