

**République Algérienne Démocratique Et Populaire**

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE EL-HADJ LAKHDAR  
BATNA  
FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT VETERINAIRE**



**MEMOIRE**

*Pour l'obtention du diplôme de*

**MAGISTER**

Option : *Nutrition*

*Présenté par:*

**Melle: YAAKOUB Fedjeria**

**THEME**

**EVALUATION "IN VITRO" DE LA  
DEGRADATION DES PRINCIPAUX  
FOURRAGES DES ZONES  
ARIDES**

*Devant la commission d'examen:*

- **S. MEHENNAOUI**
- **M.L. HADDI**
- **M. TLIDJANE**
- **A.MEKROUD**

**Prof - Université de Batna.  
M.C - Université de Constantine.  
Prof - Université de Batna.  
M.C - Université de Constantine.**

**Président  
Rapporteur  
Examineur  
Examineur**

**Année universitaire : 2005/2006**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
«وَإِنْ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ  
لَعِبْرَةٌ نَسَقِيكُمْ مِمَّا فِي  
بُطُونِهِ مِنْ بَيْنِ فَرْثٍ  
وَدَمٍ لَبْنَا خَالصًا سَائِغًا  
لِلشَّارِبِينَ»  
صدق الله العظيم

## DEDICACE

*Avec les sentiments de la plus profonde humilité,*

*Je dédie ce modeste travail:*

*A ma bien aimée très chère mère, symbole de l'amour et d'affection, celle qui m'a toujours encouragé.*

*A mon très cher père qui est à l'origine de ce qui je suis.*

*A ces deux êtres, qui tous ce que a de la valeur dans ce monde ne peut vouloir d'infiniment petit de leurs sacrifices.*

*A mon fiancé: Mohamed.*

*A mes chers frères: Yahia, Belgacem, Ramzi et Walid.*

*A mes chères sœurs: Saida, Rachida, Fahima et Nora.*

*A mes petits trésors: Naim, Islam, Ahlem, Nihad et Amani.*

*A celle qui ma toujours soutenu avec un grand cœur à ma très chère Khalti Hadda à sa fille Souhila et son fils Abdelhakim (Bella).*

*A ma très chère: Warda*

*A mes amies et soeurs: Yasmina, Nacira et Hamra.*

*A mes très chères amies : Hadda, Assia, Zahra, Mouna et Bani.*

*A mes très chères: Hoda BOURAOUI, Awatef BOUMAAZA et Leila BOURZEM.*

*A toutes mes amies à la cité universitaire de Lekhroub: Siham ZOURGANE, Naima, Dalila, Wahida, Assia, Lamia, Fatima, Siham et karima.*

*A Hakim BOUBECH et sa petite Rahma Hidayya.*

*A mes chères: Fahima, Sabah, Nadia, Amina (au niveau du laboratoire vétérinaire régionale de Constantine).*

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur **Mr Mohamed Laid HADDI** – maître de conférence à l'Université de Constantine, pour tous ces efforts afin de mener à bien ce travail, ainsi que pour sa confiance et les possibilités qu'il m'a accordées durant la période de réalisation de ce mémoire avec toute la patience.

Je tiens aussi à remercier vivement **Mr Smail MEHANNAOUI**, professeur à l'Université de Batna, pour son soutien et pour l'honneur qu'il nous a fait d'être président de jury d'évaluation de ce mémoire. Je le remercie pour tous les efforts consentis au niveau du laboratoire ESPA pour que notre formation de Magistère soit assurée dans les meilleures conditions.

Mes remerciements vont aussi à **Mr THLIDJANE Madjid**- professeur à l'Université de Batna, pour avoir accepté l'examen de ce travail.

Mes remerciements vont aussi à **Mr MEZIANE Toufik**- professeur à l'Université de Batna, pour avoir accepté l'examen de ce travail, ainsi que pour son soutien et ses encouragements durant mes années d'étude universitaire.

Mes remerciements à **Mr MEKROUD Abdessalem**- maître de conférence à l'Université de Constantine, pour avoir accepté d'être membre de jury.

Mes remerciements à **Mr BOUKEROU Abderrahman Docteur** vétérinaire et directeur de laboratoire vétérinaire régional de Constantine, pour toutes les possibilités qu'il m'a accordées durant la réalisation de ce mémoire.

Toute ma reconnaissance et mes remerciements à **Mr MEBIROUK Zouaoui** docteur vétérinaire au niveau du laboratoire vétérinaire régional de Constantine pour toute son aide.

Je tiens à remercier **Mr HANNACHE Nouredine**, Technicien au laboratoire vétérinaire régional de Constantine pour toute son aide et sa gentillesse.

Mes reconnaissances vont surtout à mon enseignant de primaire, celui qui m'a guidé toujours vers le mieux, **Mr BENACHI Ali**.

Je remercie infiniment Mrs: **NEZZAR Mouloud Kbaili**, **SAFSAF Boubakeur** et **KADI Farid**, enseignants au département vétérinaire –Université de Batna, ainsi que **Mr DEKHINET Said**, enseignant au département d'agronomie – Université de Batna, pour leur soutien ainsi que leurs conseils précieux.

Mes remerciements vont également aux **enseignants responsables** au niveau du laboratoire de biotechnologie au département de sciences de la nature et de la vie à l'Université de Constantine, pour leur accueil et leur gentillesse.

Je tiens aussi à remercier **Mr MERACH Abdessalem** directeur de la cité universitaire Med Seddik BENYAHIA Khroub, Constantine.

Un grand merci à **Mr BOUTOUIL Med** responsable de la sécurité à la cité universitaire des filles (Mohamed Seddik BENYAHIA).

Je tiens à remercier **Mr ROUAG**, enseignant au département de chimie -Université de Constantine, pour les possibilités qu'il m'a accordées.

Je tiens à remercier vivement **Mr BADIS** pour tous ses efforts et ses sacrifices afin de mener à bien ce mémoire.

Enfin je me joins à mon encadreur **Mr Haddi M. L.** pour remercier La Direction Générale à la Coopération et au Développement (**DGCD**) de Belgique à Bruxelles pour le soutien accordé à travers le Projet (clos) **PIP** ‘Santé et production des Ruminants dans l’Est Algérien’.

## Liste des abréviations

ABREVIATION	SIGNIFICATION
<b>ADFc</b>	Acide detergent fiber: corrigée par les cendres.
<b>ADLc</b>	Acide detergent lignine: corrigée par les cendres.
<b>ATX</b>	<i>Atriplex halimus</i> .
<b>Ca</b>	calcium
<b>CV</b>	Coefficient de variation
<b>Cu</b>	cuivre
<b>ESPA</b>	Laboratoire d'environnement, santé et production animale.
<b>e-t</b>	Erreur.
<b>Feu</b>	Feuilles.
<b>Fig</b>	Figure.
<b>GP</b>	Gaz produit.
<b>INS</b>	Insoluble chlorhydrique (cendres insolubles).
<b>MAD</b>	Matière azotée digestible.
<b>MAT</b>	Matières azotées totales.
<b>MF</b>	Matière fraîche.
<b>MG</b>	Matière grasse.
<b>MJ</b>	Mega joule.
<b>MM</b>	Matière minérale.
<b>Mn</b>	Manganèse
<b>MO</b>	Matière organique.
<b>morf</b>	Morphologie.
<b>MS</b>	Matière sèche.
<b>NDFc</b>	Neutral detergent fiber: corrigée par les cendres.
<b>P</b>	Phosphore
<b>PBT</b>	Protéine brute total.
<b>PDI</b>	Protéines digestibles dans l'intestin.
<b>per</b>	Période de prélèvement.
<b>Qx</b>	Quintaux.
<b>sais</b>	Saison de prélèvement.
<b>Sals</b>	<i>Salsola vermiculata</i> .
<b>Sue</b>	<i>Sueada mollis</i> .
<b>Tig</b>	Tiges.
<b>UFL</b>	Unité fourragère lait.
<b>Vit</b>	Vitamines.

# SOMMAIRE

## Introduction générale

## Première partie: Synthèse bibliographique

### Premier chapitre: Alimentation et nutrition animale

1-1 Nutrition animale .....	1
1-2 Les aliments dans la nutrition animale .....	1
1-2-1 Constituants des aliments .....	1
1-2-2 Les aliments du bétail .....	11
1-2-3 Types d'aliments de bétail .....	12

### Deuxième chapitre:Les fourrages

#### A- Les fourrages

2-1 Les fourrages dans l'alimentation des ruminants .....	15
2-2 l'aspect organique des fourrages .....	15
2-3 Nature et classification des plantes fourragères.....	18
2-4 Les ressources fourragères en Algérie .....	21
2-5 L'élevage en Algérie .....	25
2-6 Etude bibliographique des plantes étudiées .....	28

#### B- Méthode d'étude des fourrages

2-B-Methode d'étude de la valeur nutritive des aliments .....	30
---	----

### Troisième chapitre:Physiologie digestive des ruminants

3-1 La digestion chez les ruminants .....	36
3-2 Les particularités anatomiques des pré estomacs des ruminants .....	37
3-3 La micro population du rumen.....	40
3-4 Rôle des microorganismes ruminants dans la dégradation des tissus végétaux .....	48
3-5 Les besoins en nutriment des microorganismes .....	51
3-6 Les phénomènes digestifs chez les ruminants .....	54
3-7 Bilan de la digestion dans le rumen-réseau .....	64
3-8 La digestion après le rumen-réseau .....	66
3-9 Caractéristiques digestives chez le dromadaire .....	68

## **Deuxième partie: Etude expérimentale**

### **Quatrième chapitre: Matériels et méthodes**

#### **Partie I:Analyses chimiques**

4-1-Période et zone de prélèvement des plantes étudiées.....	71
4-2 Analyses chimiques.....	71
4-2-1 Détermination du taux de matière sèche .....	71
4-2-2 Détermination de la teneur en cendres insolubles .....	73
4-2-3 Détermination de la matière grasse totale .....	74
4-2-4 Détermination du taux des matières azotées .....	75
4-2-5 Détermination de la teneur en constituants pariétaux .....	78
4-2-6 Détermination des teneurs en éléments minéraux .....	81

#### **Partie II :Etude "in vitro"**

4-1 Expérimentation in vitro.....	87
4-1-5 Méthode .....	91
4-1-6 Inoculation et incubation.....	91
4-1-10 Estimation de l'énergie métabolisable.....	92

### **Cinquième chapitre: Résultats et discussion**

<b>5-A- Analyse de la composition chimique .....</b>	<b>93</b>
5-A-1°/ Analyse comparée des quatre plantes fourragères .....	93
5-A-2°/ Analyse de la composition chimique d' <i>Atriplex halimus</i> .....	96
5-A-3°/ Analyse de la composition chimique de <i>Salsola vermiculata</i> .....	103
5-A-4°/ Analyse de la composition chimique de <i>Sueada mollis</i> .....	110
-Conclusion de l'analyse de la composition chimique .....	118
<b>5-B- Analyse des résultats de l'étude in vitro .....</b>	<b>120</b>
5-B-1°/ Analyse des caractéristiques de la dégradation des plantes étudiées .....	121
5-B-2°/ Analyse des caractéristiques de la dégradation d' <i>Atriplex halimus</i> .....	124
5-B-3° Analyse des caractéristiques de la dégradation de <i>Salsola vermiculata</i> .....	128
5-B-4°/ Analyse des caractéristiques de la dégradation de <i>Sueada mollis</i> .....	132
5-C- Corrélations entre la composition chimique et la dégradation in vitro .....	136
5-D- L'estimation de l'énergie métabolisable .....	139

### **Conclusion générale**

***PREMIERE PARTIE***  
***ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

## Introduction générale

En Algérie, deux millions de kilomètres carrés sont désertiques (arides) sur la superficie totale du pays (2.381.740 km<sup>2</sup>) (Nedjraoui, 2002), tandis que le reste (381.740 km<sup>2</sup>) est semi-aride (semi désertique) et sub-humide (mi-humide, mi-sec). Les différentes régions de l'Algérie sont classées en fonction de leur nature climatiques surtout le taux de pluviosité.

L'alimentation est considérée comme le moyen le plus efficace pour l'amélioration des performances zootechniques, pour les ruminants elle constitue une contrainte majeure dans l'élevage algérien, et c'est surtout les zones arides et semi – arides qui représentent l'offre fourragère le plus insuffisant. En élevage intensif elle est renforcée par des apports de grains (surtout l'orge) et de concentrés à base de grains de maïs.

Un examen détaillé de la structure du bilan fourrager en Algérie a permis de révéler que le taux de couverture des besoins du cheptel Algérien se situe à moins de 80% pour une offre estimée à 08 milliards d'unités fourragères en 2001 (Adem et Ferrah, 2002), ce déficit fourrager a des répercussions négatives sur les performances zootechniques des animaux.

Il est important d'aménager les régions arides vue d'une amélioration de production fourragère mais, en ne peut faire que par une meilleure connaissance de la biologie et de l'écologie des plantes qui peuvent exister et qui sont généralement bien appréciées par les animaux dans ces régions, ces plantes sont surtout des halophytes qui supportent bien les conditions climatiques et pédologiques des régions arides et semi arides, elles peuvent être utilisées même dans la lutte contre la désertification qui est un phénomène très lourd.

La valeur alimentaire d'un fourrage ne dépend pas seulement de sa richesse en différents constituants nutritifs tels que les fibres, les protéines et les minéraux mais c'est beaucoup plus la disponibilité de ces nutriments à l'organisme animale. La dégradation d'un tissu végétal ne dépendrait pas seulement de sa composition chimique mais aussi de l'accessibilité de ses polymères à la colonisation par les micro-organismes du rumen (Jarrige et al. 1995).

Les ruminants ont un caractère digestif très important qui leur donne la capacité de transformer les fourrages grossiers et hautement lignifiés en une source importante

d'énergie et d'azote ce qui favorise un milieu adéquat à la microflore et la microfaune du rumen et qui joue le rôle le plus important dans la transformation des aliments contenant des unités cellulaires complexes en simples molécules facilement utilisables par cette microflore et par suite par l'organisme du ruminant.

En Algérie, et à cause du déséquilibre due au manque de stratégie de gestion des parcours en zones arides ainsi qu'au surpâturage, la production fourragère diminue de façon continue et le taux de satisfaction des besoins alimentaires du bétail par la production fourragère locale est passé de 70% en 1978 à 40% en 1986 et se maintient jusqu' en 1996 (Houmani. 1997). Il est important d'aménager les régions arides vue d'une amélioration de production fourragère mais on ne peut faire que par une meilleure connaissance de la biologie et de l'écologie des plantes qui peuvent exister et qui sont généralement bien appréciées par les animaux dans ces régions, ces plantes sont surtout des halophytes qui supportent bien les conditions climatiques et pédologiques des régions arides et semi arides, elles peuvent être utilisées même dans la lutte contre la désertification qui est un phénomène très lourd.

L'un des objectifs de ce mémoire en nutrition animale est de mettre en évidence selon certaines conditions la composition chimique de quelques plantes fourragères entrant dans l'alimentation des animaux domestiques (en zones arides). Cette étude nous a permis de préciser les apports et les déficits qui peuvent exister ainsi que l'évaluation de la dégradation de ces plantes en se basant sur leurs cinétiques fermentaires avec une corrélation entre cette cinétique et les différents constituants chimiques.

# ***PREMIER CHAPITRE:***

## ***ALIMENTATION ET NUTRITION ANIMALE***

### **Introduction**

La nutrition recouvre l'ensemble des aspects liant l'alimentation à la santé, ce n'est plus manger pour calmer la faim, mais s'alimenter pour fournir à l'organisme les nutriments dont il a besoin, pour se développer et pour son bien – être.

La science qui s'intéresse à la nutrition a pour objet l'étude par analyses chimiques et biochimiques des différents composants nutritifs (protéines, lipides, ...), ainsi que leurs qualités au cours de leur transformation. C'est-à-dire que la science de la nutrition peut englober la physiologie de la digestion et l'étude du métabolisme, avec en particulier l'étude des substances toxiques (toxicologie).

#### **1-1- La nutrition animale :**

L'objet de cette science c'est l'étude d'une part, de la digestion des aliments ainsi que leur utilisation autant que nutriments caractérisés par un métabolisme et d'autre part s'intéresse aux effets de ces aliments sur l'état de santé, le bien-être et les performances zootechniques des animaux et le cas échéant, sur la qualité des productions animales et sur l'environnement.

Avant il y'avait une étude concernant les carences en vue de prévenir par un apport minimal de certains éléments, actuellement il ne s'agit pas seulement de définir le seuil d'apport minimum, mais également d'étudier l'effet dose de ce nutriments sur les éléments nutritifs et leurs inconvénients ou avantages.

#### **1-2- Les aliments dans la nutrition animale:**

les aliments apportent aux animaux les substances nutritives dont ils ont besoin, ils contiennent des nutriments et aussi d'autres entités chimiques appelées substances annexes de l'alimentation, leur nature est diverse: constituant intrinsèques, contaminants, substances volontairement rajoutées comme des additifs .

##### **1-2-1- Constituants des aliments :**

Les composants des aliments sont surtout des composants chimiques utilisées par l'organisme (cellules et tissus) afin d'assurer leur métabolisme, leur croissance et leur multiplication.

## Alimentation et nutrition animale

---

Chaque aliments, quel que soit sa nature ou son origine renferme les mêmes nutriments: l'eau, matières minérales et nutriments organiques (glucides, lipides, protéides et composés azotés non protéidiques, vitamines).

### \* *Eau* :

Tous les aliments contiennent de l'eau, même ceux qui apparaissent très secs. Elle représente un solvant idéal pour plusieurs constituants cellulaires et un grand nombre de molécules, elle intervient aussi dans de nombreuses réactions biochimiques.

L'organisme ne peut pas faire des réserves d'eau et il réagit très vite à un déficit d'apport, ce qui confère à l'eau un rôle nutritionnel important malgré son apparente banalité.

L'apport de l'eau par les aliments est extrêmement variable, chez les herbivores, les fourrages succulents comme l'herbe et les betteraves renferment entre 80 et 90% d'eau, ce qui contribue à une couverture du besoin, alors qu'une vache laitière au pâturage consommant ainsi 70 kg d'herbe jeune ingère par cette voie 60 litres d'eau (Blain, 2002), le même animal n'absorbe que 1,5 litre d'eau avec la consommation de 12 kg de foin d'excellente qualité. La quantité d'eau de boisson spontanément absorbée varie en fonction de degrés d'hydratation de la ration et peut même devenir insignifiante.

La connaissance de la teneur en eau d'un aliment constitue la première étape dans l'évaluation de sa valeur nutritive ainsi que l'appréciation de son aptitude à la conservation, un aliment ayant une teneur en humidité inférieure à 14% se conserve spontanément sans traitement particulier (Blain, 2002), et au dessus de 17% d'humidité, la conservation est impossible.

La teneur en eau est très sensible aux facteurs climatiques, lors de températures élevées la teneur en eau est diminuée et elle est élevée pendant les saisons d'automne et l'hiver.

Par ailleurs l'eau peut être indirectement un véhicule, non seulement de germes et de parasites pathogènes ou de substances toxiques, mais également d'éléments toxiques d'origine naturelle comme le fluor et les sulfates, qui peuvent provoquer certains cas pathologiques quand ils dépassent certaines concentrations.

### \* *Les constituants glucidiques*:

Les glucides représentent des composants majoritaires des aliments d'origines végétales, ils sont classés en deux catégories :

**a- Les glucides pariétaux:** ou fibres alimentaires qui ne se trouvent que dans les aliments d'origine végétale, on distingue:

### **a-1- La cellulose:**

Elle représente le constituant principal des parois, il s'agit de longues chaînes de glucose qui sont liées entre elles par des liaisons  $\beta$ 1-4 (Fig.1-A), les chaînes linéaires sont associées par des liaisons hydrogène qui ne peuvent être rompues, que par des enzymes bactériennes (caractéristiques des ruminants), le degré de polymérisation peut aller jusqu'à 1400 unités glucose (Fonty et al.,1999); c'est le polysaccharide le plus abondant et le plus largement répandu dans la nature, constitue de 20-50% de la matière sèche de la plus part des tissus végétaux.

La cellulose est le principal constituant des parois secondaires des cellules végétales, elle est insoluble dans les acides faibles et les bases faibles ainsi que dans l'eau.

### **a-2- Les hémicelluloses:**

Ce sont des polyosides qui accompagnent toujours la cellulose, mais elles sont moins résistantes à l'hydrolyse chimique ou enzymatique, elles sont composées d'oses neutre (pentoses, xylanes, arabanes, mannanes, galactanes,  $\beta$ - glucane) elles constituent le principal composant des parois primaires des cellules végétales. Les hémicellulose se différencient de la cellulose par une présence simultanée de liaisons  $\beta$ 1-4 et  $\beta$ 1-3

### **a-3- La lignine:**

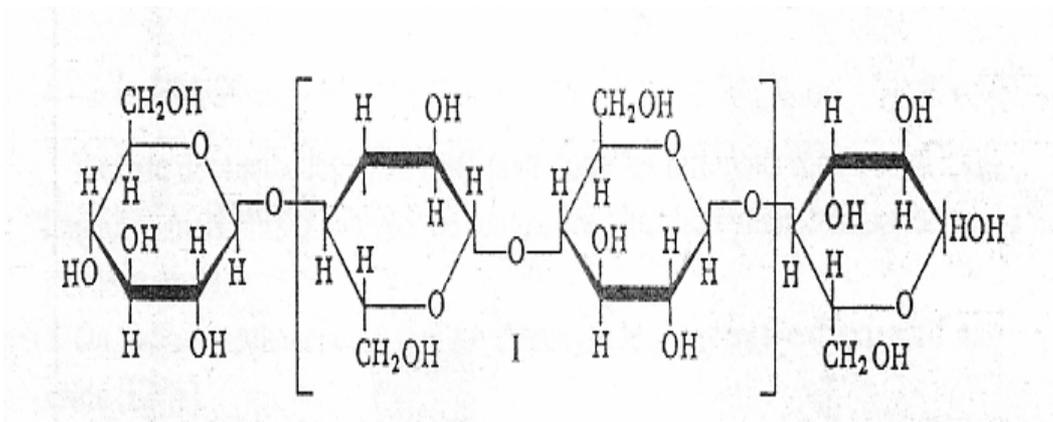
Substance de structure polyphénolique (formées d'alcools), elle incruste la cellulose et l'hémicellulose et elle rend les polyosides pariétaux inaccessibles à l'action microbienne. Alors elle joue un grand rôle en limitant la digestibilité à la fois des glucides et des autres nutriments, donc la lignine représente un facteur de variation de la valeur nutritive des aliments d'origine végétale (fig.2-A).

La lignine est liée aux hémicelluloses; par des liaisons qui ne sont pas connues avec précision. L'organisation s'effectue autour des micro fibrilles de cellulose, et aboutit à un treillis dense et mécaniquement résistant. La lignine est totalement indigestible. En plus de leur faible digestibilité, les parois lignifiées résistent longtemps à la dégradation microbienne et à la mastication. Les particules résultant de cette dégradation vont séjourner plus longtemps dans le rumen que dans le cas des fourrages de bonne qualité, le temps de séjour de ces particules dans le rumen peut atteindre cinq jours dans le cas des fourrages pauvres (INRA, 1988).

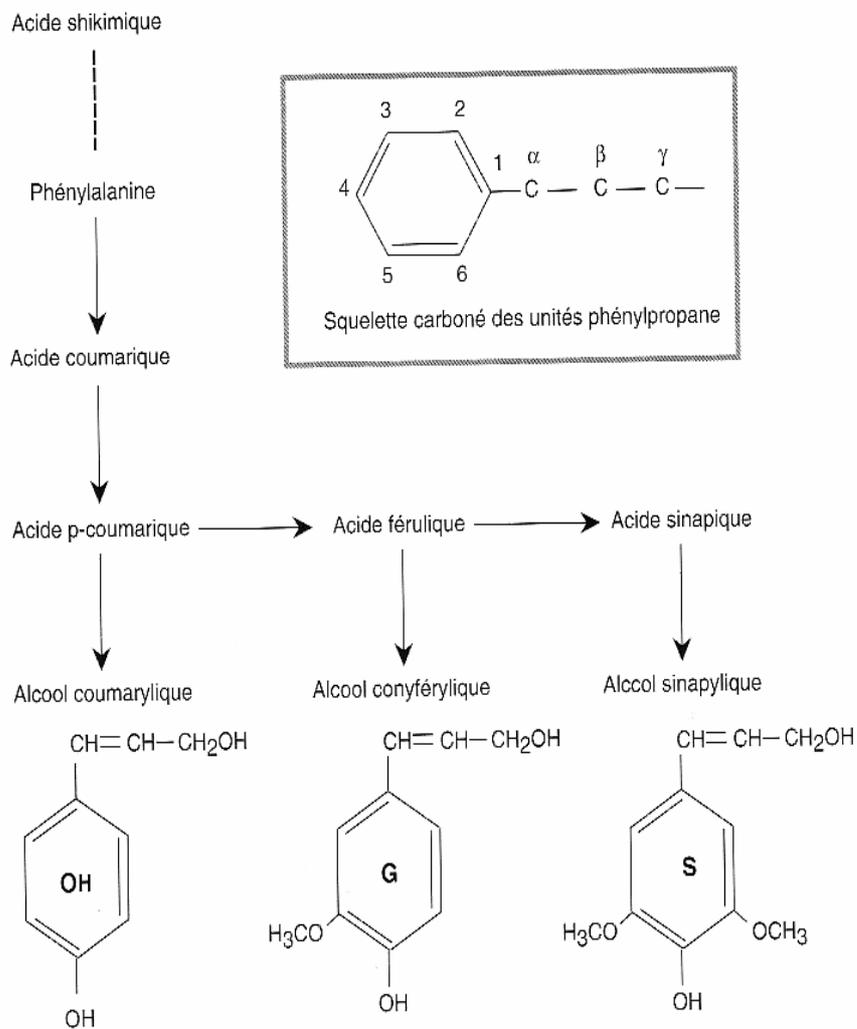
Donc le degré de dégradation des glucides dans le rumen dépend de leurs propriétés physiques et chimiques et en outre de la composition qualitative de la microflore.

### **a-4- Les substances pectiques:**

Ce sont des polymères qui donnent par hydrolyse des acides uroniques (acide galacturonique), ainsi que d'autres oses : pentoses (fructose, arabinose), et l'hexoses (galactose), les pectines se rencontrent dans les lamelles moyennes des cellules, ce sont des constituants très digestibles.



**Fig. 1-A-** Structure chimique de la cellulose (Blain, 2002)



**Fig. 2-A.** Les trois alcools constitutifs de la lignine fortement polymérisée (cycles OH: hydroxybenzoyl, G: gaiacyl, S: syringyl) et leurs précurseurs (Grisebach, 1977 cité par Jarrige et al. 1995)

### **b- Les glucides cytoplasmiques ou intracellulaires:**

Ce sont des glucides solubles ou insolubles, intervenant directement dans le métabolisme cellulaire, elles s'accumulent dans les organes de réserve des plantes.

Le polysaccharide alimentaire le plus abondant est l'amidon qui est accumulé comme nutriment de réserve dans les grains, les tubercules et les racines de nombreuses plantes alimentaires; c'est un mélange d'amylose qui est un polymère linéaire d'unités de glucose liées entre elles par des liaisons  $\alpha$  (1-4) et d'un polymère ramifié en grappe d'amylopectine en proportion différentes selon l'origine botanique.

Chez les légumineuses, la concentration en sucres insolubles est maximale avant le début de bourgeonnement, et chez les graminées c'est avant le début de l'épiaison.

Les fructosanes s'accumulent à la base des tiges des graminées par ailleurs les sucres solubles se retrouvent dans toutes les plantes fourragères et dans tout les organes verts. Ainsi que les graminées fourragères renferment 2 à 9% d'hexoses et 1 à 5% de saccharose les graminées prairiales renferment des fructosanes analogues à l'inuline.

### **c- Les constituants azotés:**

Ils représentent une extrême variabilité, se sont surtout :

- Les protides: (protéines, polypeptides, acides aminés libres);
- L'azote non protidique: (amides, divers nitrates, ammoniac).

Les matières azotées protidiques donnent par hydrolyse des acides aminés, leur structure et leur nature leur donne une certaine solubilité dans l'eau et dans les différents tampons ainsi que une aptitude à être hydrolysés par les enzymes bactériennes chez les ruminants.

Les matières azotées non protidiques ne sont pas constitués d'acides aminés, il s'agit de formes azotées simples ( $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), leurs teneurs sont assez variables dans les aliments, parmi les aliments les plus riches on trouve les graines oléagineuses et protéagineuses (22 à 40%), les céréales sont les plus pauvres (10%).

La teneur en matière azotées chez les plantes fourragères dépend de leur stade de végétation ainsi que leur aspect botaniques (richesse des légumineuses).

### **e- Les constituants lipidiques :**

Ils s'agit de biomolécules organiques insolubles dans l'eau et les solvants organiques (Blain, 2002), chez les végétaux les lipides se localisent au niveau du chloroplaste des cellules. Dans les aliments les lipides ou les matières grasses sont représentées par les triglycérides (esters d'acides gras) et le glycérol.

On peut classés les acides gras qui composent cette matière grasse en :

## Alimentation et nutrition animale

- acides gras court ou volatils ( $C_1$  à  $C_4$ ), acides gras moyens ( $C_6$  à  $C_{14}$ ) et en acides gras longs ( $C_{16}$  à  $C_{22}$ ).

Selon leur degrés d'insaturation (le nombre de doubles liaisons dans leurs chaînes carbonées), on trouve les acides gras saturés qui sont les plus rencontrés dans la matière grasse alimentaire: l'acide palmitique en  $C_{16}$ , l'acide stéarique en  $C_{18}$ , et pour les insaturés on trouve dans les triglycérides; les mono insaturés: l'acide oléique  $C_{18:1}$  et pour les poly insaturés: l'acide linoléique et l'acide linoléique.

### **f- Les minéraux:**

Quelques soit l'origine de l' aliment soit végétale ou animale, il contient des minéraux qui se trouvent sous forme de sels libres ou d'atomes au sein de combinaison organiques (cas du phosphore dans les acides nucléiques, le soufre dans les acides aminés soufrés et le cobalt dans la vitamine  $B_{12}$ ).

La teneur en minéraux des fourrages est en relation avec plusieurs facteurs tels que :

- La nature du sol, la teneur en minéraux d'une plante dépend du sol qui l'a produit, soit du côté quantitatif ou qualitatif ainsi que le rôle joué par les actes culturaux et qui agissent sur la forme et la quantité assimilable disponibles des éléments minéraux tel que la fertilisation des sols par des engrais.
- l'espèce botanique et le stade de croissance de la plante, on trouve que la teneur en minéraux surtout en éléments majeurs varie d'une plante fourragère à une autre, les légumineuses sont 2 à 5 fois plus riches en Ca que les graminées ainsi que les crucifères et les sous produits de meunerie qui sont assez riches en phosphore.

**Tableau. 1.** Evolution de la teneur en oligo-élément d'un ray grass en pp en fonction du pH du sol (Underwood 1966, cité par Paragon, 1984).

pH	Mo	Co	Mn
5.4	0.52	0.35	58
6.4	1.23	0.12	40

### - *Le climat*

Il intervient sur l'état d'humidité des terres cultivées et sur la température, il facilitera plus ou moins les quantités assimilables présentes dans les solutions des sols (Coïc et Coppenet., 1989).

La variabilité de la composition des aliments en matières minérale est d'une dimension importante pour les fourrages et les grains.

Les fourrages représentent une variation qui se situe dans une proportion de 1/10 à 1/2000 (Adams, 1975 cité par Paragon, 1984).

Les minéraux sont classés en deux groupes, éléments minéraux majeurs et éléments minéraux mineurs, et cela est en relation avec leur abondances dans les aliments.

### \* *Les macroéléments:*

Ce sont les plus abondants dans les aliments: Ca, P, Mg, Na, Cl, S.

### \* *Les oligoéléments:*

Ce sont les moins répons il s'agit de neuf oligoéléments à rôle connu: six métaux; Fe, Cu, Co, Mn, Mo et Zn et trois métalloïdes; Se, F, I.

Les éléments minéraux jouent plusieurs rôles qui sont:

- Un rôle structural: ce sont les éléments qui entrent dans les divers constituants de la matière vivante comme le Ca, P, Mg et F, qui entrent dans la constitution des dents et des os. Le P et le S sont des constituants des protéines musculaires.
- Un rôle régulateur: comme le Na, K, Cl, Ca, qui jouent un rôle dans l'homéostasie du milieu intérieur (équilibre acido-basique), ainsi que dans la perméabilité des membranes cellulaires et l'excitabilité.
- Un rôle d'activateur: il s'agit des éléments qui ont un rôle principal et irremplaçable pour certaines molécules, et aussi de nombreuses metalloenzymes comme suit:
  - Fe: succinate deshydrogénase, cytochrome catalase.
  - Cu: cytochrome oxydase, superoxyde distumase.
  - Zn: anhydrase carbonique.
  - Se: glutathion peroxydase.

**Tableau. 2.** Variabilité de la teneur des minéraux des fourrages (Adams, 1975 cité par Paragon, 1984).

Paramètre étudié	Extrêmes	Ratio maxi / min
Calcium p. 100	0.01 – 2.6	26
Phosphore p.100	0.07 – 0.74	11
Magnésium p.100	0.07 – 0.75	11
Soufre p.100	0.04 – 0.38	10
Manganese ppm	6 – 265	44
Fer ppm	10 – 2600	260
Cuivre ppm	2 – 92	46
Zinc ppm	8 – 300	38
Sélénium ppm	3 - 6000	2000

**Tableau. 3.** Différence de composition minérale entre les feuilles et les tiges d'un même fourrage (D. Sauvart. 1975 cité par Paragon. 1984).

	P	Ca	Mg
Ray grass			
F	3.2	8.7	1.7
T	2.7	3.0	0.9
Trèfle violet			
F	0.9	21.0	3.4
T	1.5	11.0	2.4

### **g- Les vitamines:**

Ce sont des substances organiques complexes, qui ont un rôle indispensable dans l'organisme. Leur concentration dans les aliments va de moins d'un mg/kg de MS pour certaines d'entre elles (exemple: Biotine) jusqu'à quelques centaines de mg pour d'autres (comme la  $\beta$ - carotène), les vitamines sont des biocatalisateurs de nombreuses réactions du métabolisme cellulaire.

Ils existent peu d'aliments contenant tout les vitamines car les vitamines sont des molécules très vulnérables par la chaleur et la lumière ainsi que l'oxydation.

Les vitamines ne constituent par un groupe chimique bien défini car elles sont toujours rattachées aux lipides, glucides et aux protides.

Les plantes vertes sont une source très riche de la plupart des vitamines, comme la vitamine A qui n'existe que sous forme de provitamine et les carotènes.

Les vitamines sont classées en fonction de leurs solubilités en deux groupes; les liposolubles (vit du groupe A, D, E, K) et les hydrosolubles (vit du groupe: B,C).

#### **Les vitamines liposolubles:**

Avec une répartition très hétérogène chez les végétaux verts on trouve en abondance les  $\beta$ -carotène, les tocophérols et le phylloquinone, qui sont surtout associées à la cellule végétale, ce sont des vitamines solubles dans les graisses et les solvants et elles entrent dans les constituants d'hormones (Friesecke, 1979).

#### **Les vitamines hydrosolubles:**

Ce groupe joue un rôle de catalyseur dans les réactions de métabolisme.

Ce sont les vitamines solubles dans l'eau, c'est un groupe plus homogène dans les aliments.

La vitamine B<sub>12</sub> n'existe pas dans les aliments d'origine végétale, pour les ruminants le groupe des vitamines B n'a pas d'intérêt, car ils sont synthétisées par les microorganismes du rumen.

La vitamine C n'existe pas dans les aliments secs conservés qu'ils soit d'origine animale ou végétale.

### **h- Autres constituants des aliments:**

\* **Les tanins:** ce sont des composés phénoliques, constituants naturels des plantes, ils se combinent avec les protéines végétales, jouant un rôle dans la protection de la plante.

Des expériences faites sur des bactéries protéolytiques traitées avec du tannin condensé, ont montré une déclaration de la croissance, ce qui implique qu'une ration à

base de protéines riche en tannins, rend la protéine végétale moins disponible à la dégradation.

\* **L'acide ferulique**: c'est un composé phénolique, qui est estérifié en arabinose et galactose dans la pectine, il peut avoir un rôle dans les liaisons croisées de la pectine, ce qui le rend un peu plus difficile à être dégradé (Brett et Waldron, 1996).

### **1-2-2- Les Aliments du bétail :**

Les aliments consommables par les ruminants sont nombreux et variés et leurs valeurs alimentaires est très inégale (Rivière, 1979). Il n'existe aucun aliment complet et qui peut satisfaire seul les besoins de l'animal.

Dans l'alimentation des ruminants c'est surtout les produits végétaux qui occupent une place primordiale, en premier lieu les fourrages au sens large du mot puis les racines, les tubercules, les graines et les fruits divers.

On trouve aussi des produits végétaux destinés à l'alimentation humaine et qui laissent des sous produits utilisables comme aliments de bétail.

Les produits d'origines animales peuvent aussi être incorporés dans l'alimentation du bétail comme les sous produits d'abattoir (farines de sang), les sous produits de laiterie et de la fromagerie.

Parfois on peut compléter où il est nécessaire de compléter la ration par des additifs afin d'améliorer sa valeur nutritive.

Les aliments peuvent être classer selon leur contenu en matière sèche ainsi que sur la valeur de cette matière sèche comme suit:

\***Les aliments grossiers**: qui contiennent le plus souvent une forte proportion de constituants membranaires, ils sont réservés aux ruminants et aussi aux herbivores, nous distinguons :

- Les aliments à haute teneur en matière sèche: les foins et les fourrages déshydratés (85 à 92% de MS).
- Les aliments à teneur variable en matière sèche: l'herbe des prairies et les ensilages (10 à 30%).

\***Les aliments succulents**: Dont la teneur en matière sèche est faible ainsi qu'en cellulose, ce sont surtout les racines et les tubercules.

\***Les aliments concentrés**: riches en principes nutritifs, ils ont une forte teneur en azote et énergie, leurs teneur en cellulose est inférieure à 15%, ce sont surtout:

- Les céréales et les issus de meunerie,
- Les tourteaux et graines oléagineuses et protéagineuses,

- Les aliments d'origine animale, le lait et ses dérivés, les farines animales,
- Les levures.

### **1-2-3-- Types d'aliments de bétail:**

#### **1-2-3-a- Les aliments simples et leurs valeurs :**

Sont des produits d'origine végétale ou animale à leur état naturel, ils peuvent comprendre même des additifs. Ces aliments entrent tels quels dans l'alimentation du bétail (exemple: maïs, blé et les tourteaux de soja).

##### **- *Les foins :***

Ils sont issus des prairies naturelle à flore variée ou des prairies temporaires de graminées seules ou graminées et légumineuse, leur valeur nutritive est en relation avec le stade de récolte qui est pour les graminée, début épiaison et pour les légumineuses en bourgeonnement, et elle dépend aussi des conditions de récolte et de conservation. Les foins représentent un aliment indispensable à tous les herbivores, ruminants ou non.

Lorsque le foin est riche en PDI (comme le foin de luzerne, trèfle), il permet d'économiser le concentré azoté.

La valeur nutritive des fourrages grossiers dépend aussi de leur stade de récolte, la longueur des brins, plus les brins sont fins, plus la digestibilité diminue (Soltner, 1999).

##### **- *Les pailles:***

Se sont surtout les pailles de céréales et de graminées fourragères (à graines), leur valeur nutritive dépend de l'espèce: la meilleure est l'avoine, puis l'orge et le blé et aussi les conditions de récolte, les pailles nécessitent toujours une complémentarité en énergie, en azote, en minéraux et même en vitamines .

##### **- *Les ensilages d'herbe et d'autres fourrages verts:***

Il s'agit d'herbe de prairies soit graminée ou légumineuse, et aussi il s'agit de fourrages annuels (cultures pures ou mélange de seigle, avoine-orge, blé, vesce , trèfle), sa valeur nutritive est en relation avec le stade de récolte et la réalisation d'un bon ensilage (présence ou absence d'acides toxiques). Les ensilages de fourrages verts remplacent les fourrages classiques ainsi qu'ils sont très appétibles.

##### **- *Les céréales :***

On trouve surtout l'avoine, le blé, orge, riz, sorgho; ils sont caractérisés par une richesse en amidon et un déficit en cellulose, aussi ils sont pauvres en matières azotées (le taux en acides aminés indispensables est faible). Les céréales sont utilisées surtout comme aliments d'engraissement et comme correcteur énergétique pour des vaches

excédentaires en MAD (pâturage d'herbe), à dose modérée elles favorisent les fermentations microbiennes chez les ruminants.

### - *Les tourteaux :*

On peut les classer en deux types:

- *les tourteaux de pression:* qui sont le résultat de la pression des graines oléagineuses.
- *Les tourteaux d'extraction:* ils sont obtenus par une extraction ou élimination de l'huile des tourteaux de pression.

On trouve dans l'alimentation des animaux surtout les tourteaux d'arachide, du palmistes, de soja, de tournesol, ils sont riches en PDI et UF qui sont comparable à celle des céréales, les tourteaux sont utilisés comme des compléments des céréales dans les aliments composés.

### - *Les levures :*

Ce sont des sous-produits industriel de:

- Distillerie.
- Brasserie.

ou encore des levures cultivées en vue de leur production sur lactosérum ou vinasses.

Ils sont riches en protéines de haute valeur alimentaire, très riches en UF, et aussi en vitamines du groupe B.

Les levures sont utilisées comme correctifs avec les céréales pour les ruminants il s'agit d'une source d'azote très importante

### - *Les aliments d'origine animale :*

Le lait et ses sous produits :

- Lait entier : soit naturel ou reconstitué.
- Lait écrémé : soit frais ou sec.
- Beurre.
- Lactosérum.
- Les farines animales : farines de viande, farine de sang, farine de poissons .

Ces aliments représentent une importance surtout pour les monogastriques comme une source de matières azotées, ils entrent comme des constituants d'aliments composés.

### **1-2-3-b- Les aliments composés:**

Ce sont des mélanges de différents produits qui peuvent être de différentes origines (animale ou végétale), ainsi que leur dérivés ils peuvent être complétés ou non pas des

## **Alimentation et nutrition animale**

---

additifs et de là ces aliments peuvent être complets c'est-à-dire ils contiennent les constituants qui assurent tout les besoins nutritionnels, comme ils peuvent être aussi des aliments complémentaires à d'autres aliments comme les mélasses contenant plus de 14% de sucres totaux, et du complément minérale contenant plus que 40% de matières minérales.

## ***DEUXIEME CHAPITRE:***

### ***A- LES FOURRAGES***

#### **2-1- Les fourrages dans l'alimentation des ruminants:**

Les fourrages représentent la principale source d'alimentation des ruminants, ce sont des aliments constitués par l'ensemble des parties aériennes des plantes fourragères provenant des prairies permanentes et temporaires, des cultures fourragères annuelles et des cultures céréalières (plante entières), on distingue cinq classes:

- 1- Les fourrages verts: contenant de 10 à 30% de MS comme : herbe, maïs en vert.
- 2- Les fourrages ensilés: contenant 15-40% de MS ensilage de maïs (plante entière) et ensilage d'herbe.
- 3- Les fourrages secs : contenant 85 à 95 % de MS comme les foins et les fourrages déshydratés et les regains.
- 4- Les fourrages déshydratés artificiellement : cube de luzerne.
- 5- Les pailles et rafles : pailles de céréales, de pois et les raffles de maïs.

Les fourrages peuvent être soit:

- Consommés sur place:
  - sur les pâturages naturel
  - sur les pâturages cultivés ou cultures fourragères
- Fauché et distribués en vert, dans des auges ou des râteliers;
- Conservés pour être consommés ultérieurement;
- En vert sous forme d'ensilage;
- En sec sous forme de foin ou de fourrages déshydratés.

Les fourrages peuvent être spontanés ou cultivés, ils sont représentés à travers le monde par trois grandes familles qui sont: les légumineuses, les graminées et les crucifères auxquelles s'ajoutent les pâturages arbustifs (Rivière, 1979).

#### **2-2-L' aspect organique des fourrages:**

on entend par l'aspect organique, la forme générale ainsi que l'anatomie microscopique des tissus qui composent les plantes fourragères et leurs organisations.

##### **2-2-1- Les tissus des plantes fourragères:**

Les plantes fourragères appartiennent aux angiospermes qui se caractérisent par la diversité de leurs tissus ainsi que par leurs valeurs nutritives assez différentes.

### **2-2-1-a- Le parenchyme:**

Il est surtout présent dans le mésophile les feuilles, c'est un tissu aéré ou compact, peu différencié, ses cellules représentent une paroi primaire mince caractérisée par des espaces intercellulaires abondants laissant l'air circuler, à structure simple. On peut trouver ce type de tissus dans les racines, la morcelle et le cortex des tiges (Grenet, 1997).

### **2-2-1-b- les tissus de soutien :**

Tissus à cellules de parois épaisses (lignifiées ou non), ils assurent le maintien du végétal, ses cellules sont allongées dans le sens de l'axe du végétal. Une elongation de ces cellules par rapport à leur diamètre les transforment en fibres. On trouve dans ce type:

#### **\* Le collenchyme :**

C'est le tissu de soutien des organes en croissance il se caractérise par une paroi épaisse (primaire) non lignifiée, il est situé à la périphérie des organes, soit directement sous l'épiderme, soit séparé par une couche de cellules de parenchyme.

On le retrouve surtout chez les dicotylédones (tiges et feuilles) (Fig. 4-A).

#### **\* Le sclérenchyme :**

C'est un tissu de soutien à parois épaisses et souvent lignifiées, on y distingue des cellules longues organisées en faisceaux (fibres) et d'autres organisées en paquets denses avec une forme irrégulière (sclérites) et des fibres sous forme de faisceaux crébro-ligneux (à la périphérie de la tige), ces cellules confèrent une certaine dureté. On trouve chez les monocotylédones ce type de gaine (Fig. 3-A).

### **2-2-1-c- Les tissus de conduction :** on trouve:

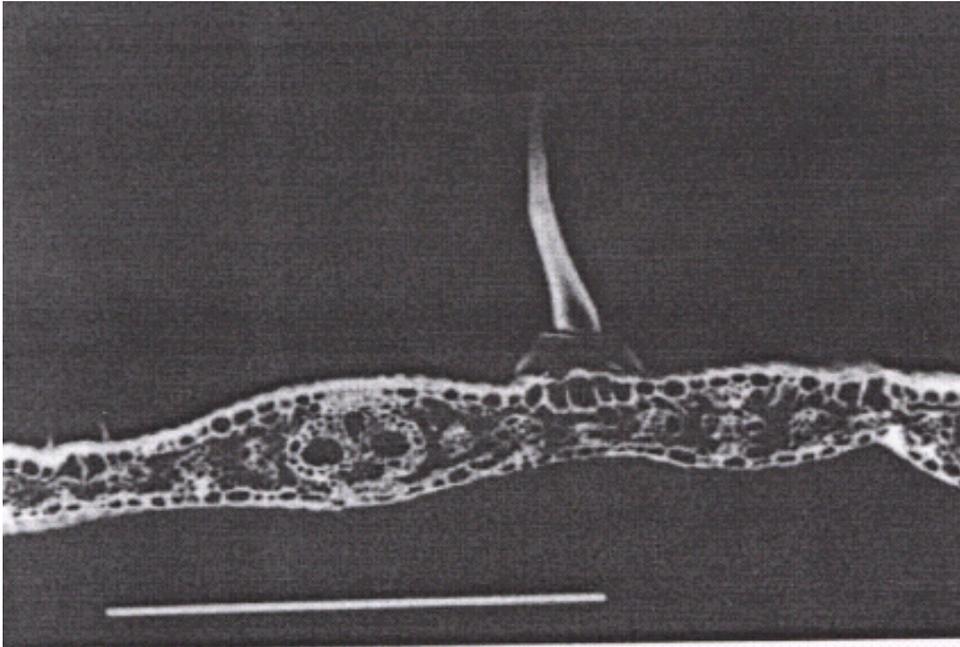
#### **\* Le Xylème :**

Qui conduit la sève brute, il contient des éléments lignifiés, chez les dicotylédones il peut contenir des fibres et des cellules de parenchyme. La disparition du protoplasme laisse d'autres cellules apparaissent ce sont des unités cellulaires distinctes, perforées, et articulées, elles communiquent entre elles par des parois terminales perforées.

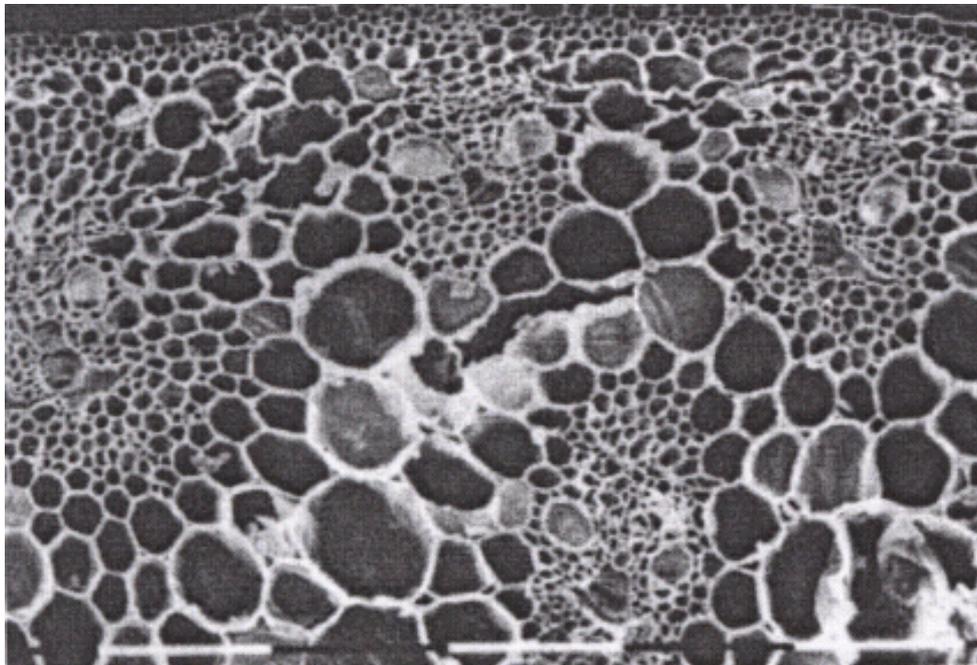
#### **\* Le phloème :**

Il sert à la conduction de la sève élaborée, la paroi de ses cellules est non lignifiée, leur disposition est verticale.

L'évolution de ce tissu est constante par la naissance de cellules qui se différencient puis elles meurent par une résorption. Ces cellules communiquent entre elles par des pores regroupés en plages représentant une forme de cribles.



**Fig. 3-A** Tige de maïs montrant les différents tissus. De haut en bas : épiderme, sclérenchyme, parenchyme. (INRA, 1997 cité par Jarrige et al., 1995).



**Fig. 4-A** Tige de maïs dégradée dans le rumen. (INRA, 1997 cité par Jarrige et al., 1995)

### **2-2-1-d - Les tissus de protection :**

Ils forment un revêtement, car ils sont présents à la surface de la plante. Il s'agit d'une cuticule qui recouvre l'épiderme et le protège, compte tenu de sa disposition vers l'extérieur, elle rend l'épiderme imperméable et favorise la conservation de l'eau dans la plante.

On peut trouver aussi la cutine qui est constituée par une substance lipidique imprégnant les parois.

### **2-3- Nature et classification des plantes fourragères:**

Les plantes fourragères servent d'aliments de bétail, elles comprennent à la fois des cultures annuelles et vivaces qui appartiennent:

- aux graminées (50 à 90 % des prairies permanentes).
- aux légumineuses (40 % des prairies permanentes).

Les autres constituants botaniques représentent une faible proportion.

Les cultures vivaces de graminées et de légumineuses sont semées seules ou avec une culture-abri. Ces cultures vivaces sont utilisées comme pâturage, récoltées comme fourrage vert et entreposées comme foin ou ensilage. Les plantes fourragères annuelles sont des espèces appartenant à différentes familles botaniques: graminées, légumineuses, composés ayant une durée de végétation inférieure à un an et souvent seulement 2 à 4 mois (Blain, 1991-1992).

Les fourrages annuels permettent une intensification fourragère maximale, une culture de courte durée et un rendement élevé. Mais un fourrage annuel représente en général un déficit azoté et minéral (maïs, sorgho) ou un excès d'azote et un déficit en fibres (colza et chou). Ces pâturages sont caractérisés par une dépendance des facteurs climatiques (Rivière, 1979).

#### **2-3-1- La valeur alimentaire d'un fourrage:**

La composition des différentes espèces des plantes ainsi que leur âge influent directement sur la qualité des fourrages. On peut trouver un taux élevé en glucides membranaires avec le vieillissement des plantes ce qui diminue leur valeur nutritive.

#### **2-3-2- La valeur alimentaire d'un pâturage:**

Elle dépend du taux de productivité, c'est-à-dire la quantité produite en kg de MS/hectare et aussi de sa valeur nutritive qui est en relation étroite avec les espèces fourragères présentes. Le niveau de consommation pour les pâturages est volontaire et dépend de la nature des plantes (appétibilité et stade végétatif).

### **2-3-3- Modes de conservation des fourrages:**

La conservation a pour but de transformer un élément vivant, l'herbe riche en eau, fermentescible, en un produit mort, stabilisé et hygiénique.

Les techniques de séchage consistent à faire passer la plante d'un contenu de 75 à 80% en eau, à un contenu de 20% maximum en eau. La plante perd donc de 60 à 70% de son poids initial. Cette mutation doit être rapide et économique (Hnatyszyn et Guais, 1988).

Différentes techniques sont utilisables, faisant appel aux moyens naturels ou aux moyens artificiels.

#### **a- Le fanage:**

##### **Principe de base de séchage:**

Il consiste à transformer l'herbe en foin par séchage sur le champ. La qualité du foin dépend alors de la rapidité de ce fanage qui est tributaire des conditions atmosphériques. Les intempéries et les précipitations contrarient le séchage naturel: un ensoleillement trop vif ou trop prolongé accélère certes la dessiccation, mais entraîne la destruction des carotènes (provitamines A).

En dehors du fanage à la main, réservé encore à certaines pâtures en zones montagneuses, le fanage est assuré à nos jours au moyen de faneuses qui donnent un rendement élevé avec une dessiccation rapide du fourrage au sol.

#### **b-Le préfanage:**

La technique de préfanage est une technique de dessiccation partielle des fourrages, destinée à abaisser suffisamment la teneur en humidité, sans obtenir encore une stabilisation complète.

Cette méthode peut donc être une étape placée en amont de la déshydratation de l'ensilage.

C'est même, quelques fois, un impératif préalable à tout ensilage de fourrages, généralement trop humides à la récolte. Le pré fanage proprement dit aura pour objectif l'obtention d'une teneur en matière sèche de 25 à 35%, et même plus. Ces techniques sont principalement mécaniques et utilisent plusieurs méthodes.

#### **- La déshydratation artificielle:**

C'est un procédé parfait, car la dessiccation est obtenue en un temps très court et conserve au fourrage sa meilleure qualité nutritive en évitant toutes les pertes occasionnées par les méthodes de séchage classiques.

### **c- L'ensilage:**

C'est une méthode de conservation des produits agricoles (fourrages verts, grains, racines, tubercules) fondée sur des processus fermentaires.

Lors de l'ensilage, le fourrage récolté est fortement tassé dans un silo. La mise en silo peut suivre directement la coupe. Ou être effectuée au bout de quelques heures (ensilage pré fané). La récolte d'un ensilage mi-fané intervient, quand à elle, après un ou deux jours de séchage sur le champ.

Contrairement au foin, l'ensilage est un aliment riche en eau, dont la valeur nutritive est conservée grâce au développement de fermentation due à des enzymes végétales et à des bactéries.

### **2-3-4- Exemples de pertes dues à la conservation:**

Ces pertes s'exercent surtout au début de stockage ou bien à la reprise du fourrage, si ce dernier est stabilisé et correspond donc à:

- cas d'ensilage: pH inférieur à 4;
- cas de foin sec: plus de 85% de matière sèche.

Pour l'ensilage, ces pertes peuvent provenir de trois sources (Blain, 1992):

#### **• Pertes par jus**

Dilution en fuite des matières nutritives solubles dans des ensilages à faible teneur en matière sèche.

Les pertes en matière sèche (riche en protéines) sont variables. Elles peuvent atteindre de 18 à 22% dans des ensilages très humides. Le pré fanage permet de les réduire dans les plus larges proportions.

#### **• Pertes par gaz:**

Ces gaz proviennent de la respiration des cellules, des fermentations pendant la conservation et des échappées lors de l'ouverture du silo.

#### **• Pertes des fourrages inconsommables:**

C'est la perte visible; moisissures, altération du fourrage à la périphérie du silo, front d'attaque du silo qui s'avarie, etc.

#### **• Pour le foin sec:**

Des pertes proviennent surtout des débris desséchés qui tombent au sol et ne sont pas distribués.

### **2-4- Les ressources fourragères en Algérie:**

Ce sont surtout les caractéristiques édaphiques et climatiques qui déterminent la répartition de la végétation naturelle et les potentialités agricoles des différentes zones agro écologiques en Algérie.

#### **2-4-1- Type de sols dans l'Algérie**

On distingue plusieurs types de sols (Djebaili et al, 1983; Halitim, 1988; Kadi Hanafi, 1998 cité par Nedjraou, 2002) qui sont:

\* **Les sols minéraux bruts:** ou sols très peu évolués sont localisés principalement sur les sommets des djebels et sont soumis à une érosion hydrique intense. Ces sols caractérisent les forêts et les matorrals, comportent:

- les lithosols sur les roches dures (grès ou calcaire),
- les régosols sur les roches tendres (marnes et calcaires marneux).
- les sols minéraux bruts d'apport alluvial dans les lits des oueds caillouteux.

\* **Les sols peu évolués** qui regroupent:

- les sols d'origine colluviale sur les piedmonts des djebels et les glacis,
- les sols d'origine alluviale dans les lits d'oued, les zones d'épandage et les dayas,
- les sols d'origine éolienne avec des formations sableuses fixées, ils ont une teneur faible en éléments traces et contient des éléments primaires résistants.

\* **Les sols calcimagnésiques** qui regroupent les sols carbonatés parmi lesquels on retrouve:

- les rendzines humifères sur les versants des djebels,
- les sols bruns calcaires à accumulation calcaire xérifiée,
- les sols à encroûtement gypseux qui sont plus rares, représentés par des petites plages dans les zones de grès alternant avec les marnes et argiles versicolores.

Les sols carbonatés sont les plus répandus en Algérie, notamment dans les écosystèmes steppiques et présahariens.

#### **2-4-2- Le climat de l'Algérie:**

L'Algérie, qui est un pays soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, présente un climat de type méditerranéen extra tropical tempéré. Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estival variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois au niveau des hautes plaines et supérieur à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien.

## Les fourrages

---

Elle représente une pluviosité dont les précipitations accusent une grande variabilité mensuelle et surtout annuelle. Cette variabilité est due à l'existence de trois gradients (Djellouli, 1990 cité par Nedjraoui, 2002):

- Un gradient longitudinal: le pluviométrie augmente d'Ouest en Est (450 mm/an à Oran plus de 1000 mm/an à Annaba). Ce gradient est dû à deux phénomènes: à l'Ouest, la Sierra Nevada espagnole et l'Atlas marocain agissent comme écran et éliminent ainsi l'influence atlantique, à l'Est, les fortes précipitations sont attribuées aux perturbations pluvieuses du Nord de la Tunisie.
- Un gradient latitudinal: les précipitations moyennes annuelles varient de 50 mm dans la région du mizab à 1500 mm à Jijel. Cette diminution du littoral vers les régions sahariennes est due à la grande distance traversée par les dépressions qui doivent affronter sur leur parcours les deux chaînes atlasiques.
- Un gradient altitudinal universel qui varie en fonction de l'éloignement de la mer.

Concernant les températures on trouve que:

- La moyenne des températures minimales du mois le plus froid est comprise entre 0 et 9 °C dans les régions littorales et entre - 2 et + 4°C dans les régions semi-arides et arides.
- La moyenne des températures maximales du mois le plus chaud varie avec la continentalité, de 28°C à 31°C sur le littoral, de 33°C à 38°C dans les Hautes Plaines steppiques et supérieur à 40°C dans les régions sahariennes.

### **2-4-3- La production fourragère en Algérie:**

le potentiel fourrager en Algérie est structuré autour de quatre ensembles inégaux (Adem et Ferrah, 2001), on constate que les terres consacrées à la production fourragère couvrent 33 millions d'hectares (Nedjraoui, 2002), elles sont constituées par les prairies naturelles (0.1%), les cultures fourragères (1.6%) (fourrages cultivés), la jachère (10.6%), les pacages et les parcours steppiques (87.7%) ainsi que les parcours forestiers. La production fourragère en Algérie est d'un caractère extensif, il est attesté par une prépondérance de la vesce avoine utilisée dans la majeure partie comme foin dans l'alimentation du bétail.

#### **2-4-3-a- Les fourrages cultivés:**

Ils sont composés surtout de la vesce avoine représentant 70% de la terre cultivée, le reste est cultivé par les céréales, orge, avoine et seigle, la luzerne et le sorgho restent peu représentatifs (Abdelguerfi, 1987).

## **Les fourrages**

---

La consommation des fourrages cultivés en vert fournit 43 millions d'UFL (Houmani. 1993 in Nedjraoui, 2002), et leur consommation en sec fournit 577 millions d'unités fourragères lait pour des brebis (à l'entretien allaitant un agneau par an).

### **2-4-3-b - Les fourrages naturels:**

Il s'agit de prairies naturelles et de jachères fauchées; Les prairies naturelles sont situées surtout dans les étages bioclimatiques humides et subhumides, leur apport fourrager est de 1443 d'UFL.

Les jachères fauchées présentant un apport fourrager de 73 millions d'UFL.

La jachère pâturée qui est représentée par des terres situées au niveau des régions semi-arides et en altitude.

Le système jachère –céréales -élevage reste un apport fourrager gratuit et sécurisant pour l'éleveur, indépendant des perturbations climatiques. La jachère permet de faire pâturer les chaumes en été et les adventices de l'automne au printemps.

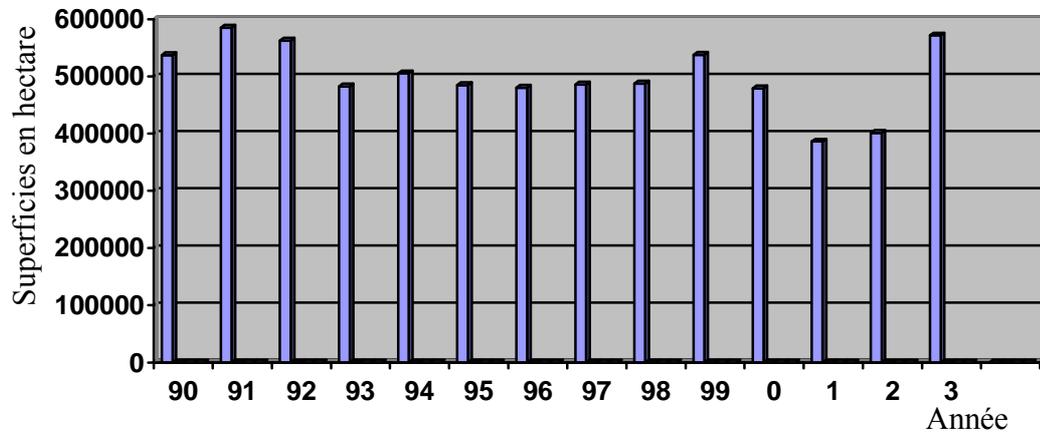


Fig. 5-A Evolution des superficies consacrées aux cultures fourragères (1990-2003).  
(Ministère de l'agriculture, 2003)

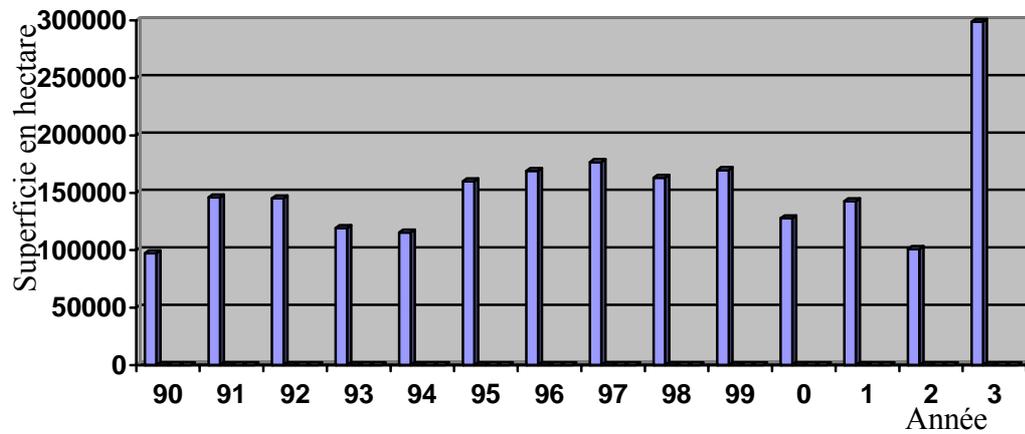


Fig. 5-A- a-Evolution des superficies consacrées aux fourrages naturels (1990-2003).  
(Ministère de l'agriculture, 2003)

### **2-5- L'élevage en Algérie:**

L'une des contraintes majeures de l'élevage algérien est d'assurer une couverture des besoins du cheptel qui est constitué surtout par les ovins qui prédominent en représentant 80% du cheptel, ils se localisent au niveau des zones steppiques (75%) et en association avec les bovins dans les zones céréalières et sublittorales. En seconde position vient le cheptel caprin qui se localise dans les zones steppiques (Nedjraoui, 2002) en représentant 13% et comprenant 50% de chèvres (femelles).

Le cheptel bovin reste faible avec 1.6-1.7 millions de têtes (6%) dont 58% sont des vaches laitières. L'élevage bovin reste cantonné dans le nord du pays dans la zone tell littoral, les camelins représentent 240 milles têtes, jusqu'à 2001.

Les parcours steppiques sont le domaine de prédilection de l'élevage ovin et caprin avec plus de 90% ce qui entraîne une surexploitation de ces pâturages.

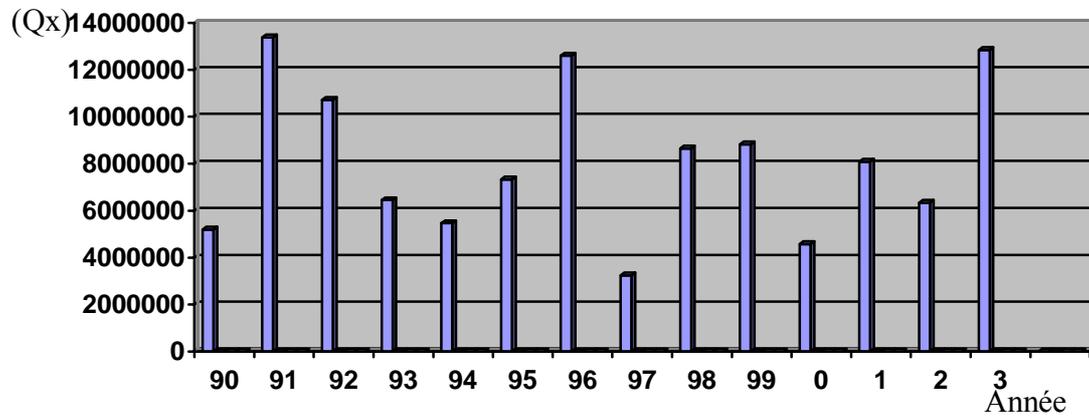
Dans les zones arides ils existent des formes sociales d'adaptation qui aident à lutter contre les durées de sécheresse cycliques, cela est réalisé par deux mouvements: «l'achaba» qui consiste à remonter les troupeaux dans les zones telliennes, vers un pacage valorisant les sous produits de l'agriculture, sur les chaumes et les pailles des terres céréalières pendant les 3 à 4 mois de l'été. Et «l'azzaba» conduisant les cheptels vers les piedmonts Nord de l'Atlas saharien pendant les trois mois de l'Hivers. Ces mouvements de transhumance permettent une utilisation intelligente des ressources fourragères car ils permettent une régénération des espèces végétales pendant le Printemps, c'est à dire que la production végétal sera représentée par des espèces annuelles relatives aux pluies et qui ont une valeur nutritive élevée et qui peuvent compenser le déficit des espèces pérennes.

#### **2-5-1- Evolution du cheptel et mode d'élevage:**

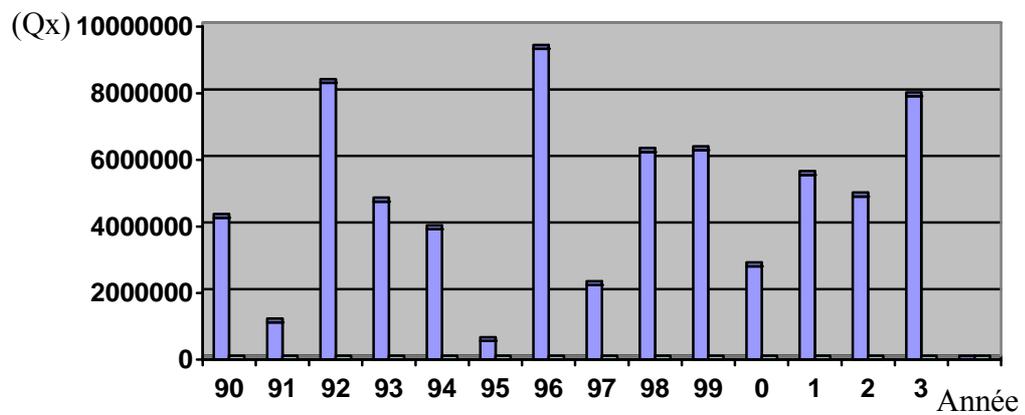
Le mode d'élevage ainsi que ses conditions est en relation étroite avec les régions géographiques ou agro écologiques et leur potentiel fourrager.

Pour l'élevage bovin c'est surtout à l'Est au niveau des régions telliennes dont les surfaces cultivées sont faibles ce qui contribue à l'extension de cet élevage sur les terres communautaires entraînant un surpâturage dangereux.

L'élevage ovin dans les régions telliennes et peu important c'est surtout au niveau des hautes plaines steppiques qui sont des régions constituées par des terres de parcours par excellence. On peut distinguer trois types d'exploitation avec des stratégies alimentaires différentes (Nedjraoui, 2002).



**Fig. 6-A.** Evolution des productions fourragères totales (1990-2003).  
(Ministère de l'agriculture, 2003)



**Fig. 6-A-a.** Evolution des productions des fourrages artificiels (1990-2003).  
(Ministère de l'agriculture, 2003)

## Les fourrages

---

- le petit propriétaire exploitant qui possède moins de 100 brebis et moins de 10 hectares qui lui offre par une culture céréalière l'alimentation de son cheptel (autoconsommation), le déficit fourrager est compensé par les sous produits de ses récoltes.
- Le propriétaire moyen, possédant plus de 100 à 300 brebis et quelques dizaines d'hectares, il vit de ressources qui proviennent de son troupeau et ses récoltes.
- Le grand propriétaire, qui possède des moyens (tracteurs, camions) lui assurant les déplacements de grandes envergures, (achaba et azzaba), il possède aussi plusieurs centaines d'hectares et plus de 300 brebis.

L'élevage camelin est surtout saharien, ce sont surtout les éleveurs nomades qui possèdent des troupeaux importants, plus de 100 têtes essentiellement camelins, mais la transhumance qui dure entre 2 et 4 mois rendent leur recensement très difficile. Les régions de transhumance sont surtout les vallées d'oued, quand les troupeaux sont au niveau des campements l'éleveur leur donne des complémentations surtout à base d'orge (quand il a les moyens), ou bien il leurs donne des feuilles d'acacia.

La connaissance des végétations consommées dans les milieux difficiles est indispensable pour estimer leur valeur nutritionnelle afin de mettre en place des méthodes d'utilisation rationnelle des ressources fourragères disponibles.

En Algérie c'est surtout les fourrages steppiques et sahariens qui constituent plus de la moitié de l'alimentation des ruminants (Monskal. 1983 cité par Longuo, 1989).

La production fourragère en Algérie reconnaît plusieurs contraintes, essentiellement celles des perturbations climatiques (diminution de la pluviosité) ainsi que le surpâturage qui se manifeste par un maintien trop prolongé du troupeau en prélevant des quantités de végétations largement supérieur à la production annuelles. L'impact est énorme sur la végétation sur le plan qualitatif, elle se traduit par une diminution de la richesse floristique et de la biodiversité, ainsi que sur le plan quantitatif on peut constater une diminution de couvert végétal pérenne et donc des formations végétales.

### **2-6- Etude bibliographique des plantes étudiées :**

Les plantes qui font l'objet de cette étude font partie de différentes plantes annuelles qui représentent le meilleur pâturage pour les ruminants dans les régions arides. Du point de vue alimentaire, ces espèces sont très appréciées par les animaux selon les éleveurs, elles sont abondantes surtout après les chutes de pluies, c'est à dire surtout en fin d'hiver et au printemps en général (Longuo et al, 1989).

Les trois plantes halophytes pâturées par les ruminants (surtout le dromadaire) qui sont: *Atriplex halimus*, *Salsola vermiculata*, *Sueada mollis* appartiennent comme la plus part des plantes fourragères à:

\* Classe des dicotylédones:

\* Sous classe des apétales ou monochlamydées:

Ce sont en général, les dicotylédones dont les fleurs sont dépourvus de pétales et s'est un groupe très hétérogène (Messaili, 1995).

\* ordre des centrospermales

\* Sous ordre des chénopodiales

\* Famille des chénopodiacées: qui est une famille qui représente un très grand intérêt pour l'agronomie.

\* - **Les caractères généraux des Chénopodiacées:**

Ce sont des herbes annuelles ou vivaces, rarement buissonnantes, et souvent halophiles, à fleurs hermaphrodites ou polygames ce sont des plantes qui portent à la fois des fleurs hermaphrodites, des fleurs femelles et des fleurs males accompagnées de 0-3 bractées.

Cette famille regroupe 103 genres et environ 1400 espèces.

Les plantes les plus importantes sont *Bêta vulgaris* l, betterave potagère, betterave fourragère et aussi *chénopodium bonus – henricus* l.

Les genres *Atriplex*, *Sueada*, *Salsola*, *Salicornia* forment la plupart des plantes halophiles (espèces des milieux salés) en Algérie.

Cette famille fait partie de la végétation pérenne est caractérisée par un cycle végétatif lent avec une période de croissance qui s'étend de Mars à Juin, cette végétation est présente toute l'année (Djebaili, 1984 cité par Haddi et al.,2003), elle forme avec la paille du blé une source importante dans l'alimentation du dromadaire dans les zones arides pendant les saisons de disette. Ce sont surtout les parties aériennes vertes qui sont broutées par le dromadaire.

## Les fourrages

**Tableau 4:** Données générales sur les trois plantes halophytes.

<b>Famille</b>	<b>Nom arabe</b>	<b>Nom scientifique</b>	<b>Caractéristique</b>
Chénopodiaceae	<i>Eldjell</i>	<i>Salsola vermiculata</i> (plantes annuelles)	halophyte à feuilles allongées, terminées en pointe. très commune dans les terrains un peu salés, tout le Sahara septentrional, sud marocain et Sahara occidental, Sahara central.
Chénopodiaceae	<i>Souid</i>	<i>Sueada mollis</i> (plantes annuelles)	Halophyte très rameuses à feuilles charnues portant à leur extrémités de petites fleurs vertes. Se trouve aux bords des chotts, dans les terrains assez salés.
Chénopodiaceae	<i>Guetaf (legtaf)</i>	<i>Atriplex halimus</i>	Condiment salé très apprécié l'été, occasionne souvent la météorisation. Rencontrée surtout dans les grands oueds argilo sableux.

(Source: Longuo et al., 1989)

## ***B- METHODES D'ETUDE DES ALIMENTS DE BETAIL***

### **2-B-Méthodes d'étude de la valeur nutritive des aliments:**

Plusieurs méthodes sont employées pour déterminer la valeur alimentaire d'un aliment :

Nous distinguons les méthodes : chimiques, physiques, micro biologiques et enzymatiques:

#### **\*Méthodes chimiques :**

Ces méthodes renseignent sur la composition chimique des aliments grâce à des analyses chimiques qui permettent d'étudier les éléments nutritifs contenus dans la plante: fibres NDF: neutral detergent fiber et ADF : acid detergent fiber pour les hydrates de carbone, l'azote total pour les protéines, phosphore, calcium et magnésium pour les minéraux ainsi que les vitamines.

#### **- L'eau et la matière sèche :**

Lorsque un échantillon d'aliment est placé dans une étuve maintenue à 105°C pendant 24 heures, toute l'eau (H<sub>2</sub>O) s'évapore et le résidu qui reste représente la teneur en matière sèche (MS) (INRAT,1997).

La quantité d'eau est variable, une jeune plante contient de 70 – 80% d'eau, cependant les aliments secs contiennent des taux au dessous de 15%.

Toutes les substances nutritives se trouvent dans la matière sèche, en générale la concentration d'une substance nutritive est exprimée sur base de la quantité de MS dans l'aliment et non pas sur la base de matière fraîche.

#### **- La matière organique et minérale :**

La matière sèche d'un aliment contient la matière organique et la matière inorganique ou minérale. Les composés qui contiennent du carbone (C), de l'hydrogène (H), de l'oxygène (O) et de l'azote (N) sont des composés organiques.

Lorsque un échantillon d'aliment est soumis à une température de 550°C dans un four pendant 24 heures la matière résiduelle sera la matière minérale (cendres) la matière organique est consommée.

La matière minérale varie entre (1-12%) dans les plantes, les fourrages contiennent en générale plus de minéraux que les concentrés, les sous- produits animaux contenant des os peuvent contenir plus de 30% (principalement le calcium et le phosphore).

## **Méthodes d'étude des aliments de bétail**

### **- La matière azotée «les protéine » :**

Les protéines sont des matières azotées constituant un matériau primordial pour l'organisme, elle revêt une grande importance chez l'animal pour fabriquer le squelette, le lait, la viande et aussi la ration d'entretien, le système d'évaluation des protéines est essentiel dans l'alimentation du bétail.

Les protéines contiennent de l'azote qui peut être présent même dans d'autres composés, ces protéines sont formées d'une ou de plusieurs longues chaînes d'acides aminés.

L'azote qui ne fait pas partie de la structure protéique comme l'ammoniac ou celui de l'urée est appelé l'azote non protéique (ANP), il est sans valeur pour les non ruminants, par contre chez les ruminants il est utilisé par la flore ruminale dans la synthèse des protéines microbiennes et aussi la synthèse des acides aminés.

La détermination de l'azote a été réalisée par un chimiste danois, Johan Kjeldahl en 1883 il a développé une méthode précise pour quantifier l'azote dans les aliments. En moyenne les protéines contiennent 16% d'azote et le pourcentage de protéines dans un aliment est souvent calculé comme le pourcentage d'azote multiplié par 6,25 ( $100/16 = 6,25$ ). Cette mesure s'appelle la protéine brute totale (PBT) mais il est rare que tout l'azote dans l'aliment soit sous forme de protéines. Alors que la protéine brute totale surestime le pourcentage réel dans l'aliment.

Dans les fourrages la valeur de la PBT varie de moins de 5% à plus de 20% pour les légumineuses de bonne qualité et 30% pour les tourteaux, pour les sous produits d'origine animale le pourcentage des PBT est de 50% .

### **- La matière grasse brute :**

Nous appelons matière grasse brute tout ce qui peut être extractible par des solvants organiques tel que : l'éther sulfurique, l'éther de pétrole, le tétrachlorure de carbone.

Les matières lipidiques contiennent en plus des lipides d'autres substances, comme les pigments qui sont solubles dans les solvants organiques. La mesure se fait par extraction à l'éther.

Les aliments de bétail contiennent généralement moins de 5% de lipides.

La teneur en matières grasses d'un échantillon correspond à la quantité de produits extraits par un solvant organique (éther de pétrole). Comme le solvant est très peu polaire, il extrait les triglycérides et les acides gras libres à chaînes longues mais pas les savons, les phospholipides ou les corps gras altérés.

### **- Composition en acides gras :**

On peut avoir des informations sur la composition en acides gras de la matière grasse d'un aliment par chromatographie en phase gazeuse, les progrès réalisés sur cette technique permettent d'obtenir des analyses de grande reproductibilité et d'une bonne précision. Les teneurs en acides gras sont le plus souvent exprimés en pourcentage d'acide gras totaux.

### **- Les hydrates de carbone :**

La cellulose est l'élément constituant les fibres, les parois cellulaires d'une plante représentent 30 à 80% de la MS.

La fibre brute est la méthode officielle pour mesurer le contenu en fibre d'un aliment. Les aliments de bétail contiennent plus de 50 à 80% d'hydrate de carbone qui peuvent être classés en trois classes majeures:

- Les sucres simples (glucose, fructose, sucrose, maltose) et les polysaccharides de réserve (amidon), appelés aussi hydrates de carbone (non structuraux) ou (non fibreux); l'amidon représente le polysaccharide de stockage chez les légumineuses (luzerne) alors que les fructose le représentent chez les graminées.

Les parois cellulaires des végétaux donnent une certaine rigidité à la plante, ils comprennent la cellulose, l'hémicellulose qui sont associées à un composé phénolique qui est la lignine, l'ensemble des trois constituants est appelé fibre.

Ils existent des méthodes récentes permettant de mesurer d'une manière exacte la quantité en cellulose, en hémicellulose et en lignine dans un aliment. Le (NDF): fibre de détergent neutre, il s'agit de la fraction fibreuse non soluble dans un détergent neutre ou parois cellulaires, elle contient la cellulose, l'hémicellulose et la lignine elle inclue aussi d'autres produits tel que les minéraux liés à la fibre ainsi que la protéine endommagée par la chaleur.

Le complexe composé de lignine qui se dépose sur la cellulose est appelé lignocellulose ou bien la partie de fibres non solubles dans un détergent acide (ADF) ou fibre de détergent acide (Arrigo, 2001).

Cette composante fibreuse contient la cellulose et la lignine ainsi que la protéine et les minéraux elle augmente avec le matériel de la plante. En soustrayant le ADF du NDF nous estimons l'hémicellulose et par un traitement du résidu ADF à l'acide sulfurique 72% suivi d'une calcination nous pouvons donner la lignine brute (ADL) (Van soest. 1972).

La cellulose peut être estimer par différence entre ADF et la lignine plus les cendres.

## **Méthodes d'étude des aliments de bétail**

Les proportions de fibres ADF et NDF d'un fourrage sont des indices de sa valeur alimentaire. L'ADF est généralement liée à la digestibilité et la valeur énergétique du fourrage: plus il y a de fibre ADF dans le fourrage plus la digestibilité et le contenu énergétique sont faibles, la fibre NDF donne un estimé assez précis de la fibre totale d'un aliment (Fournier, 2003).

Les sucres non fibreux dans un aliment sont souvent estimés en supposant que ce qui n'est pas matière minérale (MM), matière grasse (MG), protéines et fibres (NDF) sont des sucres non structuraux (SNF).

### **- Les vitamines :**

L'analyse des vitamines dans un aliment n'est pas routinière, cela n'empêche que les vitamines sont essentielles pour maintenir une bonne santé. Les vitamines sont classées en deux groupes, celles qui sont solubles dans l'eau (hydrosolubles), les trois vitamines du complexe B et la vitamine C; et celles qui sont solubles dans les lipides (liposolubles), les beta-carotènes, ou provitamine A, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, E et K. Les vitamines sont analysées par la chromatographie.

### **\* La méthode enzymatique :**

La prévision de la digestibilité des fourrages a été réalisée depuis 1963 (Done et al), s'était avec un mélange d'enzymes qui attaquaient la cellulose, l'hémicellulose, les protéines et l'amidon, l'action de ce mélange est comparable à celle de la flore ruminale mais d'une intensité faible. La digestibilité des aliments est mesurée par le résidu qui reste après 24 heures d'incubation dans un milieu tamponné.

La première cellulase était fabriquée à partir d'un Basidiomycète du sol, puis d'autres cellulases sont apparues et qui sont plus actives pour la plupart extraites de *Trichoderma viridae* et d'*Aspergillus niger* ( Demarquilly et Jarrige, 1981).

Un traitement préliminaire par la pepsine accroît la sensibilité des parois à la cellulase et de là une précision de la prévision.

Ils existent ainsi d'autres pré-traitements tels que la solution de détergent neutre utilisé pour le NDF, et aussi l'hydrolyse par HCL.

Les glucanases ont été utilisées pour améliorer la digestibilité de certains sucres insolubles contenus dans certains aliments tels que : l'orge et l'avoine, les phytases sont utilisées aussi pour réduire leur contenu phosphoré de façon à améliorer la digestibilité des phytates.(Bonneau et Laaveld, 1999)

### \* Les méthodes Micro biologiques :

#### - Les méthodes *in vitro* : digestibilité "*in vitro*" :

Les méthodes «*in vitro*» ont pour principe de simuler le processus digestif chez l'animal, dans cette méthode il y'a une incubation de l'aliment avec les microbes du liquide ruminal dans des conditions favorables d'anaérobiose voisines que possible de celle du rumen ainsi que de température et de pH et cela est réalisé en additionnant une solution tampon (Morihervé, 1999).

La mesure de la digestibilité «*in vitro*» par le jus ruminal suivie d'une autre incubation avec de la pepsine et de l'acide chlorhydrique afin d'imiter la digestion stomacale.

La quantité de MS non digérée après incubation est divisé par la quantité de MS originale et le résultat est soustrait de 1.0 (Goring et Van soest, 1970 cité par Tremblay, 2002).

Vu la difficulté d'avoir des résultats directement par l'étude *in vivo* et du fait de la complexité et de la simultanéité des phénomènes biochimiques liés à la digestion microbienne la plupart des acquis ont été réalisés par les méthodes *in vitro*.

#### - Les méthodes "*in vivo*" :

Ce sont des méthodes réalisées sur un animal vivant, qui est maintenu en cage. Cette méthode est utilisée pour la mesure de la digestibilité des aliments déjà analysés en se basant sur la mesure des quantités ingérées et les fèces excrétées.

#### - Les méthodes "*in sacco*" :

Pour ces méthodes l'outil de base est un animal donneur de contenu ruminal (fistulé), ces méthodes permettent d'ensemencer différents fermenteurs et l'étude des transformations biochimiques de différents substrats correspondants aux composants des aliments. Les animaux fistules portent des sacs qui contiennent l'échantillon d'aliment, ces sacs sont immergés dans le rumen où il sera soumis à la fermentation, on parle aussi d'une dégradabilité "*in sacco*".

### \* Méthodes physiques:

Ces méthodes se basent sur l'énergie nécessaire pour broyer un fourrage, elles permettent d'évaluer la digestibilité d'un fourrage qui dépend de sa résistance au broyage qui dépend surtout de sa lignification. Chenost (1996) et Chenost et Grenet (1971) ont mesuré l'énergie nécessaire à un broyage du fourrage, et ont montré qu'elle varie en sens inverse de la digestibilité et de l'ingestibilité de ce fourrage.

L'énergie nécessaire au broyage, appelée indice de fibrosité peut donner une meilleure prévision sur la digestibilité que celle de la cellulose brute ou d'N.D.F.

## **Méthodes d'étude des aliments de bétail**

---

L'inconvénient de cette méthode est l'in reproductibilité due à la nécessité de plusieurs répétitions à cause des différents modes d'introduction de l'aliment et qui donnent beaucoup de variations (Demarquilly et Jarrige, 1981).

Mais il existe aussi une méthode qui peut donner de forte chances par sa rapidité il s'agit d'une mesure du spectre dans le proche infrarouge des fourrages (la SPIR), elle permet le dosage rapide, simultané et non destructif de plusieurs constituants organiques des échantillons. Le principe de la SPIR se base sur l'absorption d'énergie par les différents constituants sous l'effet d'un faisceau lumineux infrarouge, chaque constituant à un spectre d'absorption spécifique (Fonseca et al., 1999).

Cette méthode d'analyse nécessite un calibrage préalable avec les méthodes d'analyses classiques. Le calibrage est un modèle statistique informatisé reliant les données spectrales aux valeurs analytiques, pour chaque produit on doit établi un calibrage ainsi que pour chaque constituant. La SPIR nécessite un dispositif d'échantillons connus, et aussi un équipement dont le coût est élevé.

## **TROISIEME CHAPITRE:**

### **PHYSIOLOGIE DIGESTIVE DES RUMINANTS**

#### **Introduction**

Les ruminants sont des mammifères ongulés qui régurgitent et mastiquent plusieurs fois leur nourriture après l'avoir avalée, ils possèdent un organe spécial appelé «*rumen*». Parmi les herbivores, ils sont les plus performant pour tirer profit de l'énergie fixée par les végétaux grâce à une communauté microbienne extrêmement abondante ( $10^{10}$ – $10^{11}$  cellules/ml du liquide ruminal, Thivend, 1982) et diversifiées qu'ils hébergent dans leur rumen. On connaît trois divisions de ces ruminants:

- Les tragulidés: comprennent les chevrotins.
- Les tylopodés: comprennent le chameau, le dromadaire, le lama, l'alpaga.
- Les ruminants vrais: comprennent les ovidés, les chèvres, les antilopes, les cervidés, les gazelles et les bovins domestiques.

#### **3-1- La digestion chez les ruminants :**

La digestion chez les ruminants est caractérisée par le séjour des aliments volumineux et riches en fibres dans l'estomac très différenciés et c'est au cours de transit digestif que les aliments vont subir l'action de la microflore l'estomac leur l'estomac des ruminants comprend quatre parties nettement distinctes extérieurement (Kolb, 1975), la panse le réseau, le feuillet et la caillette. Les trois premières constituants les pré estomacs et sont placées avant l'estomac proprement dit.

##### **3-1-1- La préhension des aliments par les ruminants:**

###### **a- La préhension des aliments solides:**

Chez les bovins: la langue est longue et mobile, elle représente l'organe de la préhension des aliments, les touffes d'herbes et les tiges végétales sont entourées par la langue puis tirées dans la cavité buccale sectionnées par la pression des incisives sur le bourrelet incisif du maxillaire supérieur (Kolb, 1975). La surface de la langue porte des papilles qui ne laissent pas les touffes d'herbe glisser.

Ils arrachent l'herbe d'un coup de tête plus qu'ils ne la coupent, ils ne peuvent couper l'herbe plus ras que 2cm.

Les petits ruminants se servent de leurs lèvres très fines et mobiles, pour prendre les aliments, lorsqu'ils broutent l'herbe, ils se servent de leurs incisives inférieures et de leur langue mais à un degré moindre que les bovins.

Les incisives des petits ruminants sont très fines et coupantes. Les moutons et les chèvres coupent l'herbe très ras, et de là ils tirent partie des pâturages pauvres.

### **b- La préhension des liquides:**

Chez les bovins comme chez les équidés pour boire ils n'introduisent que la partie médiane de l'ouverture labiale, ils aspirent le liquide grâce à une dépression réalisée dans la cavité buccale.

## **3-2 Les particularités anatomiques des pré estomacs des ruminants :**

### **3-2-1- Panse :**

Est considérée comme un sac volumineux déprimé de dessus en dessous, allongé du bassin au diaphragme et remplissant la presque moitié gauche de la cavité abdominale. Sa cavité présente deux piliers principaux (un antérieur et un postérieur) et deux piliers longitudinaux qui divisent la cavité en un sac ventral et un sac dorsal. Appelée aussi « rumen » la panse représente de loin le plus volumineux des réservoirs gastriques et cela est en relation avec les types de ruminants et de la ration, le contenu du rumen représente 70–75 % du contenu total du tube digestif et 50-60% de son volume (soit 250 à 300 litres) le rumen s'ouvre largement sur le réseau qui est considéré comme un diverticule du rumen ou bonnet.

La surface intérieure du rumen est constituée par un épithélium corné, tapissé de papilles de formes et de dimensions variables, nombreuses et serrées les unes contre les autres, ces papilles jouent un rôle majeur dans l'absorption des produits terminaux du métabolisme ruminal (acides gras volatils, ammoniac), et augmentent la surface de contact avec les aliments, ainsi que la tunique musculaire du rumen avec ses contractions assure un brassage continu des aliments.

### **3-2-2- Réseau :**

Le réseau est disposé en avant de la panse, contre le diaphragme sa muqueuse est réticulée et parsemée de papilles absorbantes, il joue un rôle central dans la circulation des particules, des contractions de fréquences de l'ordre d'une minute partent du réseau et assurent la motricité de l'ensemble des réservoirs gastrique (Ruckebusch et Thivend, 1979), les particules qui franchissent l'orifice reticulo-omasal doivent avoir une taille moyenne inférieure ou égale à 1 mm, les aliments solides sont donc séquestrés dans le rumen tant qu'il n'ont pas acquis la taille minimale celle ci est

## **Physiologie digestive des ruminants**

---

atteinte en un temps plus au moins long (de quelques heures à plusieurs jours) sous l'action combinée des enzymes de la population microbienne et de la mastication lors de l'ingestion et de la rumination (mastication mérycique).

La digestion chez les ruminants est surtout gastrique, le séjour des aliments dans le tube digestif « transit digestif » est de longue durée, cette durée favorise le peuplement du tube digestif par une flore microbienne.

### ***3-2-3- Le feuillet :***

C'est un organe ovoïde (ovins) ou sphérique (bovins) représente une muqueuse non sécrétrice, il communique avec le réseau en amont par l'orifice réticulo-omasal (aucune glande digestive), et en aval avec la caillette mais par un orifice beaucoup plus large et plus dilatable (Gadoud , 1992).

Le volume du feuillet est supérieur à celui du réseau, en possédant des lames (lamelles) disposées parallèlement au passage des aliments, il constitue une sorte de filtre où ne peuvent passer que les aliment bien divisés et qui seront comprimés entre les lames, une absorption importante de l'eau est permise par cette disposition.

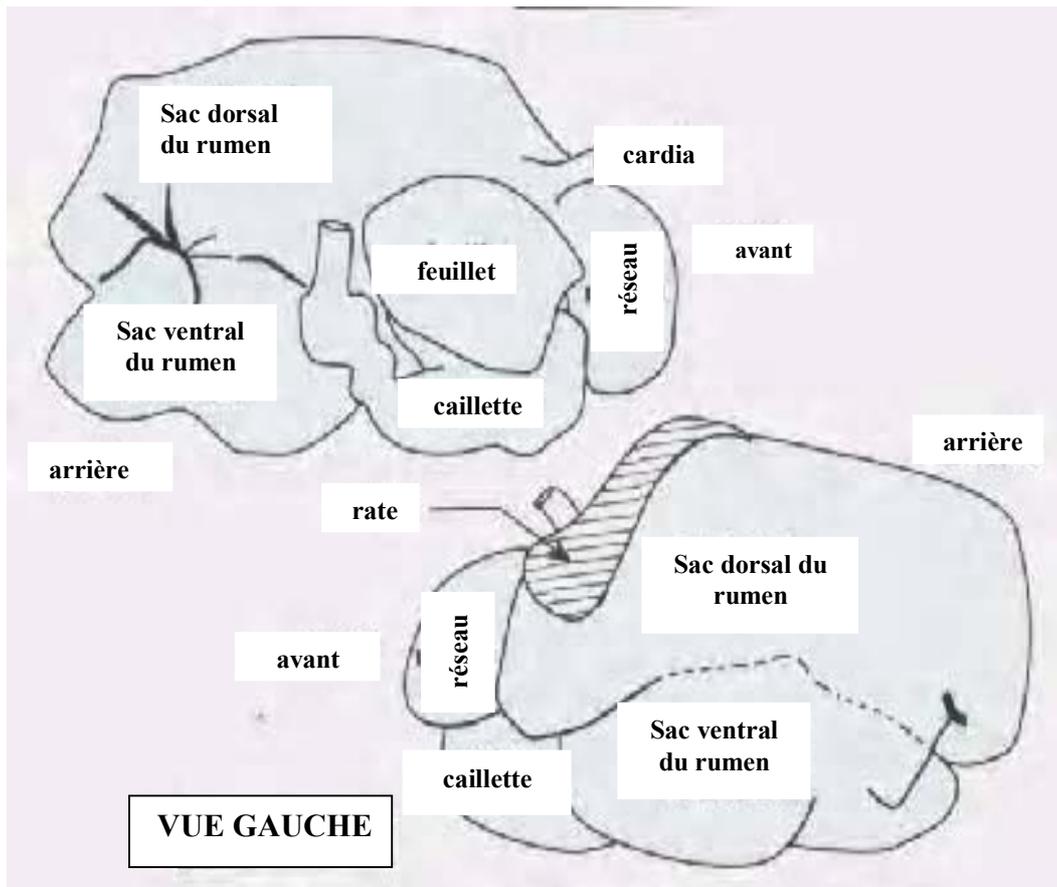


Fig. 7-A. Les réservoirs gastriques du bovin (Gadoud, 1992)

### **3-2-4- La caillette :**

Elle correspond à l'estomac des monogastriques c'est l'estomac proprement dit chez les ruminants et éventuellement le seul secteur digestif possédant des glandes digestives.

Sa muqueuse est sécrétrice, elle est garnie de nombreux replis qui se disposent à la manière de valvules s'opposant au reflux des aliments.

L'absorption d'eau et des minéraux à travers la muqueuse des lamelles est très intense

### **3-3- La micro population du rumen:**

La micro population du rumen est composé de bactéries, champignons et de protozoaires.

#### **3-3-1- Les bactéries :**

Les espèces bactériennes du rumen sont identifiées à partir de leur morphologie, ils existent des formes en coques et des formes bacillaires, et de leur coloration de gram ( $G^+$ ,  $G^-$ ) ainsi que le substrat qu'elles dégradent ou fermentent, comme en les classe aussi selon le rapport Guanine/Cytosine de leur ADN.

La population bactérienne du rumen est comprise entre  $8.10^3$  et  $4.10^{10}$ /ml de contenu ruminal, elle constitue environ 50% de la biomasse microbienne, c'est la catégorie la plus complexe et la plus importante. Les bactéries sont représentées par différentes espèces environ 200 espèces (Blain, 2002), se sont généralement des anaérobies non sporulées, elles représentent la flore la plus performante pour digérer la cellulose des fourrages, compte tenu de leur nombre dans le rumen.

On distingue selon leurs localisations 3 types :

- 1- **Bactéries fixes** : c'est le cas des bactéries cellulosiques, et amylolytiques elles représentent 70% de la majorité des bactéries, ce sont des bactéries fixes sur des particules alimentaires.
- 2- **Bactéries libres**: ce sont des bactéries qui flottent dans le liquide ruminal.
- 3- **Flore épimurale**: elle est constituée de bactéries fixes sur la paroi du rumen, ce sont surtout des protéolytiques, et uréolytiques qui interviennent dans le catabolisme des substances azotées. Ce sont des microaérophiles car elles tolèrent une petite quantité d'oxygène.

En 1953, Brayant décrivait 99 genres et 63 espèces, actuellement plus de 200 espèces bactériennes ont été isolées, parmi ces espèces une trentaine seulement peut être considérée comme des bactéries authentiques les autres sont apportées par la nourriture ( Thivend et al., 1985).

## Physiologie digestive des ruminants

Les bactéries sont en partie détruites dans le rumen-réseau, surtout par les protozoaires qui en font une consommation permanente, ces pertes sont en permanence compensées par leur multiplication (Gadoud, 1992).

Outre leur classification selon la localisation, les bactéries sont classées selon le substrat qu'elle dégradent ou fermentent, on peut trouver: les cellulolytiques, les pectinolytiques, les amylolytiques et les uréolytiques .

La population bactérienne est responsable de la majeure partie de la dégradation des aliments dans le rumen- réseau, grâce à des cellulolytiques capables de dégrader les glucides pariétaux et les amylolytiques qui dégradent en particulier l'amidon.

Les fonctions des différentes espèces se recouvrent largement, ce qui contribue à la stabilité du milieu ruminal.

La fonction hémicellulolytique, est plus largement distinguée parmi la flore bactérienne que la fonction cellulolytique, nous distinguons trois catégories de bactéries hémicellulolytiques.

- La première est composée d'espèces qui possèdent une activité dépolymérase et une activité glycosidasique capable d'hydrolyser la chaîne principale et de couper les chaînes latérales tout en utilisant les oligosaccharides et les oses libérées comme source d'énergie.

- Dans la deuxième catégorie les espèces comme *Fibrobacter succinogènes*, par exemple, possèdent une activité dépolymérase mais sont incapables d'utiliser les produits d'hydrolyse des hémicelluloses.

- Une troisième catégorie possèdent différentes activités glucosidasiques et peut utiliser les produits d'hydrolyse, mais est dépourvue d'activité dépolymérase. Plusieurs espèces bactériennes possèdent une activité pectinolytique: *Lachnospira multipara*, *Prevotella (bactéroides) ruminicola* et *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Streptococcus bovis* et quelques souches de *Spirochètes*, mais seulement quelques unes d'entre elle ont été isolées à partir de milieu sélectifs contenant de la pectine purifiée comme seul substrat énergétique. D'autres espèces l'ont été à partir de milieu non sélectif. Les trois espèces cellulolytiques majeures (*Fibrobacter succinogènes*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens*) et *Streptococcus bovis* possèdent une activité dépolymérase mais n'ont pas d'activité glycosidasique et sont donc incapable d'utiliser les oligogalacturonides.

Les fonctions d'une espèce donnée peuvent être limitées et au contraire très large, ainsi *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Bactéroides ruminicola*, *Selénomonas ruminantium*

## Physiologie digestive des ruminants

---

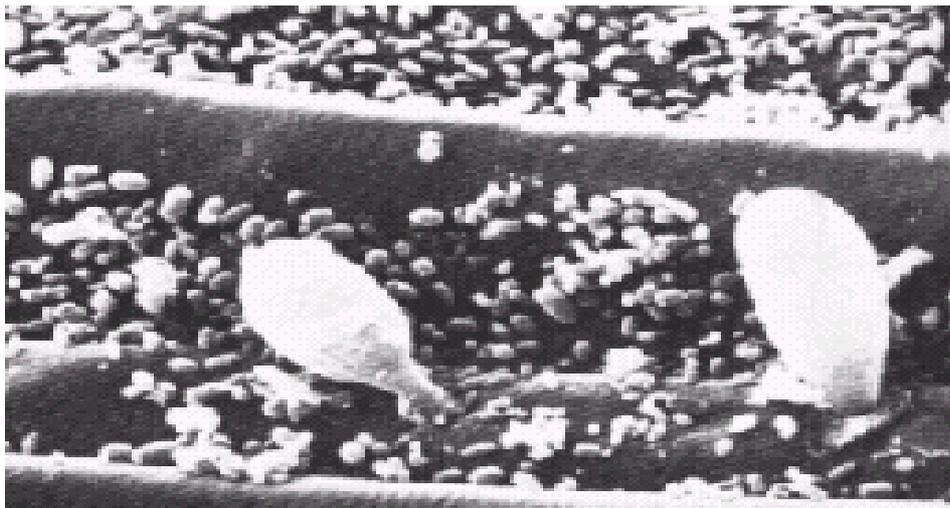
peuvent utiliser de nombreuses sources d'énergie alors que les bactéries cellulolytiques par exemple n'utilisent que la cellulose et ses produits d'hydrolyse comme source d'énergie. De même, *Bactéroides amylophilus* ne fermente que l'amidon, les dextrines et le maltose.

D'autres espèces sont encore plus spécialisées et occupent des niches écologiques très étroites comme *Anaerovibrio lipolytica* qui n'hydrolyse que les lipides et ne fermente que le glycérol, les *Veillonella* utilisent principalement le lactate (Hungate, 1966 cité par Thivend et al., 1985), *Vibrio succinogènes* ne tire son énergie que de la réduction du gaz carbonique en méthane (Wollin, 1988). De nombreuses espèces sont protéolytiques, plusieurs telle que *Megasphaera elsedinil*, peuvent croître à partir des acides aminés en l'absence de glucides comme source d'énergie (Wallace, 1996).

Quelques espèces bactériennes comme les *Oscillospira*, les «*Quinn's oval*», les «*Eadie's oval*», fréquemment observées par examen microscopique et n'ont été que peu ou pas étudiées en culture pure, leur fonction et leur métabolismes sont donc encore mal connus.



**Fig. 8-A.** *Coupe de bactéries Ruminococcus Flavefaciens (Soltner, 1999)*



**Fig. 9-A.** *Colonie de bactéries sur des fibres cellulosiques (Soltner, 1999).*

### 3-3 –2– Les protozoaires:

Ce sont des eucaryotes unicellulaires, mobiles grâce à leur cils (groupes des ciliés) et leur flagelles (groupes des flagelles).

Ils sont 1000 fois moins nombreux que les bactéries, mais ils représentent la même proportion de la biomasse vu leurs volume cellulaire beaucoup plus élevé (Blain, 1999).

Les protozoaires sont transmis au jeune ruminant par la salive maternelle on distingue le groupe des ciliés ( $10^5$  à  $10^8$  / ml de contenu de rumen), dont la taille est importante 50 à 300  $\mu\text{m}$ . Il est représenté par deux groupes qui sont les Holotriches et les *Entodinomorphes*. Les plus abondants pour la famille des *isotrichidae* (*Holotriches*) ce sont les genres *Isotricha* et *Dasytricha* et pour les *Entodinomorphes* on trouve en fréquence les genres: *Endodinium*, *Diplodinium*, *Ophrysclex*. Leur nombre n'excède pas les 2 à  $5 \cdot 10^6$  organismes /ml de contenu de rumen (Hungate, 1996 cité par Thivend et al., 1985).

Les ciliés représentent environ la moitié de la biomasse microbienne et la quasi-totalité de la biomasse de la faune. Ils sont soit fixés sur les particules végétales soit libres.

Tous les ciliés appartiennent au subphylum prostomata et possèdent une ouverture buccale (cytostome) comportant une ciliature peri-orale qui se distingue peu de la ciliature somatique avec laquelle elle reste étroitement liée au plan morphogénétique (Jarrige et al., 1995).

Les *Entodinomorphes* se développent surtout lors d'ingestion de fourrages et d'amidon. Il existe aussi le groupe des flagellés qui représente une faible part de la biomasse ( $10^3$  à  $10^4$ / ml du liquide ruminal), leur taille est de 4 à 15 $\mu\text{m}$ .

On a pu montrer que les protozoaires peuvent dégrader de nombreux substrats glucidiques, cellulose et les hémicelluloses grâce à des enzymes propres.

Les protozoaires ciliés peuvent transformer les constituants alimentaires et bactériens en métabolites utilisés en suite par l'animal, car il a été montré que les substances pectiques peuvent être dépolymérisables ou dégradées par plusieurs espèces de ciliés.

Les *Holotriches* sont capables de dégrader les sucres solubles ainsi que pour les *Entodinomorphes* qui sont capables de dégrader la cellulose, les hémicelluloses et les pectines.

L'utilisation d'animaux défaunés ou refaunés spécifiquement a montré que la présence des protozoaires dans le rumen conduisait à une meilleur dégradation de la

cellulose et des hémicelluloses lorsque le régime alimentaire est riche en fourrage, on a constaté que les protozoaires sont sensibles aux changements du régime alimentaire (Stewart et al., 1988), leur proportion peut atteindre les 50% de la biomasse du rumen en présence de ration riche en glucides solubles ou en amidon, ainsi une régression de cette proportion est observé lors d'administration d'aliments très pauvres en constituants solubles.

Les ciliés peuvent englobés des particules végétales dans leur cytoplasme ainsi que ingérer des bactéries. Parmi les holotriches, les genres: *Isotricha* et *Dazytricha* sont les plus abondants; ils utilisent les glucides solubles. *Isotricha* ne fermente pas le maltose mais peut utiliser les grains d'amidon tandis que *Daysotricha* le fermente mais pas certains amidons. La dégradation de la cellulose et des hémicelluloses n'a été démontrée dans aucun des deux genres.

Parmi les *Entodiniomorphes*, ce sont les genres: *Entodinium*, *Epidinium*, *Ophryoscoles*, *Poly plastronet Eudiplodium*, qui sont les plus fréquents.

Les *Entodiniomorphes* ingèrent des particules végétales ou des grains d'amidon, à l'exception des espèces d'*Entodinoum* de très petite taille. La digestion de la cellulose a été montrée pour la première fois in vitro par Hungate en 1942 plusieurs genres dégradent les hémicelluloses et les pectines. Les genres *Entodinoum*, *Epidinium* et poly plastron peuvent métaboliser certains sucres (Thivend et al., 1985).

Les connaissances sur le rôle des flagellés dans la digestion chez les ruminants sont très limitées, ils participent à l'équilibre de l'écosystème microbien en ingérant des bactéries en raison de leur taille minime (4 à 15µm) leur biomasse est négligeable.

### **3-3-3- Les champignons :**

Les champignons du rumen sont des anaérobies stricts, du point de vue morphologique les champignons se composent d'un spongium qui se fixe sur les particules végétales et les crampons appelés rhizoïdes.

Bouchop a indiqué que ces champignons sont liés à la fraction solide du liquide ruminal et qu'ils sont plus nombreux chez les animaux recevant des rations a base d'aliment grossier. On peut aussi trouver les champignons chez des animaux nourris avec des aliments succulents ou qui pâturent une herbe jeune (Jouany, 1981).

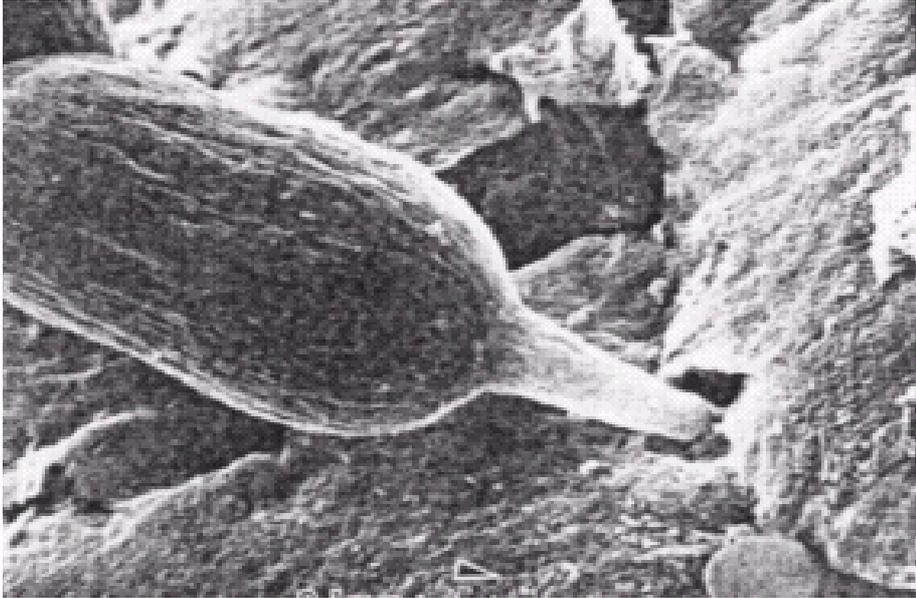
Tous les champignons sont presque des cellulolytiques et leurs cellulases sont les plus actives (Fonty, 1999), ils peuvent utiliser plusieurs variétés de glucides autant que sources d'énergie, comme la cellulose, le xylane, le cellobiose et le maltose, certaines souches peuvent même utiliser l'amidon.

## **Physiologie digestive des ruminants**

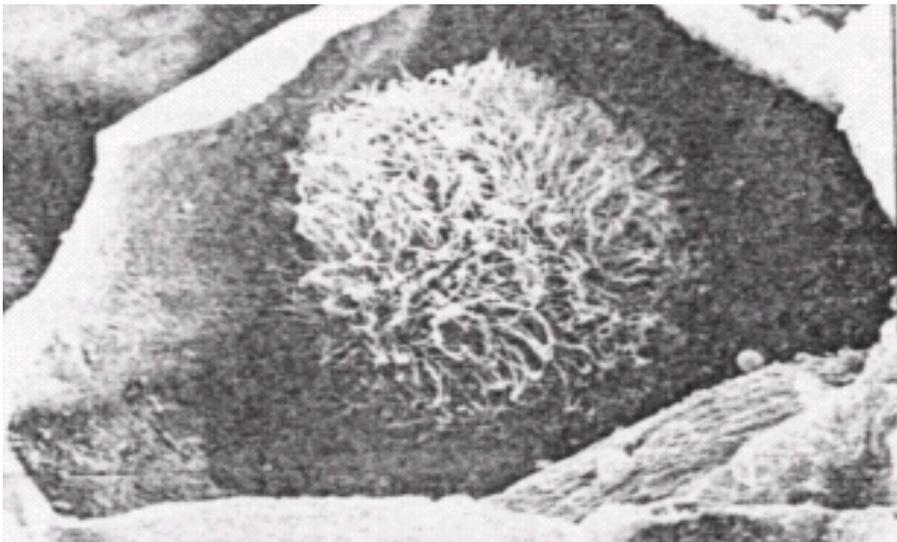
---

Les champignons ont un rôle dans l'hydrolyse des oligosaccharides ainsi que dans la dépolymérisation de la cellulose et des hémicelluloses et cela est assuré par des enzymes extracellulaires fixées à la paroi fongique pendant la phase végétative, il s'agit d'endo  $\beta$ -1,4 glucanase, endoglucanase et de glucosidase (Williams et Orpin, 1987a et 1987b cité par Jarrige et al., 1995)

Outre les activités glucidasiques, les champignons possèdent des activités estérases (ferulate- estérases, methyl-ferulate estérases).



**Fig. 10-A.** *Protozoaire Holotriche* (Blain ,2002).



**Fig. 11-A.** *Sporocyste d'un champignon du rumen* (Blain, 2002).

### **3-4- Rôle des microorganismes ruminants dans la dégradation des tissus végétaux:**

La structure et l'intra structure des parois ainsi que leur dégradation dans le rumen peut être étudiée grâce à la microscopie photonique, la microscopie électronique à balayage et la microscopie électronique à transmission. Le microscope photonique permet l'étude rapide des différents tissus et de leurs proportions respectives, de la taille des parois cellulaires et la détermination de la présence ou de l'absence de lignines. Le microscope électronique à balayage permet de connaître la nature des tissus dégradés à la surface des échantillons (Grenet, 1997). Il fournit également des informations sur les relations entre les microorganismes, en particulier les champignons du rumen, et les parois cellulaires. Le microscope électronique à transmission donne des renseignements uniques à la fois sur la structure des parois et sur leur mode de dégradation par les microorganismes.

Les microorganismes responsables de la dégradation des parois cellulaires peuvent être observés grâce à la microscopie. L'adhésion des bactéries aux parois, les fragments de plantes ingérés par les protozoaires et le mode particulier utilisé par les champignons anaérobies du rumen pour coloniser les tissus lignifiés est décrit.

#### **a- Rôle des bactéries:**

La dégradation d'un tissu végétal ne dépendrait pas seulement de sa composition chimique, mais aussi de l'accessibilité de ses polymères à la colonisation par les bactéries adhérentes. Les bactéries cellulolytiques adhèrent de préférence aux parois endommagées mécaniquement par la mastication ou par traitement chimique (Jarrige et al., 1995). En effet, sur les parois intactes, les différents polymères glucidiques ne peuvent se lier à la surface bactérienne en raison de leur faible concentration, de leur liaison avec d'autres composants ou de leur configuration stérique incompatible avec les polymères extrêmes de la surface bactérienne. Bien qu'ayant la même structure, deux tissus colonisés par la même espèce bactérienne mais appartenant à des espèces végétales différentes peuvent être dégradés différemment. La dégradation varie avec la maturité de la plante. Les tissus non lignifiés sont les premiers colonisés alors que les tissus lignifiés le sont rarement. La dégradation des tissus peut être ainsi hiérarchisée: mésophylle-phloème > épiderme-parenchyme > sclérenchyme > vaisseaux lignifiés > xylème (Grenet, 1997). Les bactéries colonisent les tissus lignifiés qui ont subi un traitement par la soude molaire pendant 18 heures, traitement qui dissocie les complexes ligno-hémicellulosiques du reste de la paroi et augmente les sites

d'adhésion. La lignine masquerait donc les composants des parois qui interagissent avec la surface bactérienne (Latham 1980 cité par Jarrige et al., 1995).

D'autres espèces bactériennes peuvent également coloniser les particules végétales. Ainsi *Lachnospira multiparus*, espèce pectinolytique, et l'une des premières à dégrader les parois et en particulier la lamelle moyenne riche en pectine. *Selenomonas ruminantium*, *Prevotella ruminicola*, *Succeinivibrio dextrinosolvans*, *Megasphaera elsdenii*, *Eubacterium* et certains *spirochètes* adhèrent également aux parois végétales, mais moins fortement que les espèces cellulolytiques.

### **b- Rôle des protozoaires:**

Pour adhérer aux particules végétales, les protozoaires sont guidés par un chimiotactisme vis-à-vis de glucides solubles (saccharose, glucose et fructose) libéré lors de la dégradation des polysides végétaux. On peut parfois les trouver fixés temporairement sur des particules alimentaires et sur la muqueuse du réseau à l'aide d'un organite extérieur. Parmi les *entodinimorphes*, les *Epidinium* semblent être les principaux colonisateurs des surfaces végétales. L'adhésion des *Epidinium* se fait préférentiellement sur des parois végétales déjà en partie dégradées, les premiers pouvant toutefois se fixer sur des tissus intacts. Les ciliés peuvent s'insérer sous l'épiderme des parois végétales partiellement dégradées, ou se fixer par ingestion des parties fibreuses appartenant aux grosses particules alimentaires, ou adhérer par la partie antérieure de protozoaire. Dans les deux premiers cas la fixation est liée à la prise de nourriture active du cilié. Le troisième cas est indépendant de l'ingestion et semble dû au revêtement glycoprotéique présent au niveau de la partie antérieure de *Isotricha*. Un cas de compétition entre bactéries et protozoaires vis-à-vis des sites d'adhésion a été mis en évidence. En effet, l'élimination des protozoaires n'entraîne pas une forte diminution de la dégradation des parois végétales car les espèces bactériennes cellulolytiques, en l'absence de compétition, adhèrent en plus grand nombre et occupent les niches abandonnées par les protozoaires. La répartition des protozoaires dans le rumen n'est donc pas homogène et leur temps de séjour moyen est toujours supérieur à celui de la phase liquide; il est même fréquemment supérieur à celui des particules solides. Ce comportement est essentiel pour leur maintien dans le milieu puisque leur durée de division (25 à 35 heures) est en moyenne supérieure à celle de séjour des petites particules et du liquide dans le rumen (6 à 15 heures). Il expliquerait également leur rôle actif dans la digestion des aliments et la lyse partielle de leurs cellules au sein du rumen.

### **c- Rôle des champignons:**

Les champignons colonisent préférentiellement les tissus lignifiés: sclérenchyme, xylème, faisceaux cribro-vasculaires, c'est-à-dire ceux qui séjournent le plus longtemps dans le rumen. Bien qu'ils se fixent principalement sur ces tissus, il n'existe aucune preuve qu'ils utilisent la lignine comme source de carbone.

Tous les champignons sont fixés aux particules végétales. Les particules alimentaires qui arrivent dans le rumen sont dépourvues de spores de champignons anaérobies. Des composants solubles apportés par les plantes fourragères induisent la sporogénèse à partir des sporocystes matures fixés sur les particules antérieurement présentes. On observe ainsi que le nombre des spores augmente après le repas (Orpin 1977b cité par Jarrige et al., 1995). Les zoospores ainsi libérées sont attirées par chimiotactisme sur les particules nouvellement ingérées et plus particulièrement sur les tissus endommagés par la mastication (Orpin 1977b). Elles se fixent dans les 15 minutes qui suivent l'introduction de fragments végétaux et germent pour donner naissance à un mycélium que l'on peut observer 3 h après leur fixation. Les rhizoïdes pénètrent les tissus végétaux sur une profondeur pouvant atteindre 460 microns ce qui permet aux champignons d'accéder rapidement aux glucides fermentescibles non immédiatement disponibles pour les bactéries (Ho et al 1988). Les zoospores colonisent une grande variété de tissus et les tiges de préférence aux feuilles, à moins que ces dernières ne soient peu digestibles comme pour la paille ou le sisal (*Agave sisalona*).

L'étude microscopique des différents tissus d'une plante fourragère montre que les parois des cellules sont différentes d'un tissu à l'autre par leur épaisseur et par leur lignification. Dans le rumen le phloème et le parenchyme sont dégradés et disparaissent les premiers, tandis que les tissus lignifiés sont peu (sclérenchyme) ou pas dégradés (xylème). La dégradation des tissus des feuilles est plus rapide que celle des tiges (Grenet, 1997). Une étude comparative du maïs normal et du maïs bm3 (plus digestible) montre que les parois lignifiées du bm3 sont partiellement dégradées dans le rumen, contrairement à ce qu'on observe avec le maïs normal. Lorsque la plante vieillit, la dégradation des tissus diminue en même temps que les parois se lignifient. Le traitement des pailles des céréales aux alcalis permet à des parois lignifiées d'être partiellement dégradées dans le rumen.

### **3-5- Les besoins en nutriments des microorganismes:**

Ce sont les mêmes que pour tout organisme vivant; avant tout: énergie, azote, minéraux et vitamines.

#### **3-5-1- L'énergie:**

La principale source de l'énergie et celle qui provient des polyosides des fourrages. Cette énergie est libérée lentement au fur et à mesure de la dégradation (fermentation) des glucides pariétaux (complexes) par les microorganismes du rumen et elle n'est mise à leur disposition que très progressivement il s'agit d'une forme assimilable.

#### **3-4-2- L'azote:**

L'azote est un élément essentiel pour la flore bactérienne (cellulolytique). Car en plus de l'énergie apportée par la fermentation des éléments il est indispensable pour la synthèse de leurs protéines (protéines microbiennes).

Les besoins en azote des microorganismes sont dépendants de quantité d'énergie fermentescible présente.

#### **3-5-3- Les minéraux:**

Des recherches ont été réalisées par Hungate (méthode in vitro) afin de déterminer l'importance des éléments minéraux pour l'activité microbienne du rumen. Des études qui ont été faites par Church ont démontré que lors d'une supplémentation adéquate les processus fermentaire ainsi que la croissance microbienne sont améliorées.

La quantité des minéraux et des vitamines que reçoit l'animal doit suffisamment couvrir ses besoins, toute carence va perturber la synthèse et l'activité microbienne. Il s'agit d'éléments majeurs et en particulier P, Ca, Mg, mais également des oligoéléments, Cu, Zn, Mn, Fe, et S qui intervient dans la synthèse des acides aminés soufrés dont les bactéries cellulolytiques sont riches (Ruckebusch et Thivend, 1979).

#### **\* Les macroéléments:**

Au niveau de l'écosystème ruminal les macroéléments jouent un rôle dans le maintien de certaines propriétés physico-chimiques, comme le pouvoir tampon, la pression osmotique et le taux de renouvellement de la phase liquide. Les ions minéraux tel que les (Na, K, PO<sub>4</sub>, Cl, Mg, Ca) assurent le maintien d'une pression osmotique favorable à la fermentation (Thivend et al., 1985).

Les éléments minéraux majeurs peuvent être associés aux composants essentiels de la cellule bactérienne, au niveau de ribosomes (P, S, K et Mg), matériel nucléaire (P) et au niveau des membranes (P, Mg, Ca).

La plupart des éléments minéraux majeurs sont nécessaires à la majorité des activités enzymatiques intracellulaire et extracellulaire telles que les activités amylasiques et cellulases qui sont stimulées par le calcium (Jarrige et al., 1995).

Le soufre (S) est un élément très important pour la synthèse des acides aminés soufrés (cystine, méthionine) et aussi des vitamines (thiamine, biotine), il joue un rôle important dans la synthèse des protéines microbiennes.

Les ruminants représentent un caractère spécifique c'est que le soufre représente un caractère indispensable plus pour la micro population ruminal que pour l'animal lui-même (Timet et al., 1981).

Une carence en soufre peut entraîner une réduction de la synthèse protéique, la flore ruminale est rare et peu active.

Le Magnésium est considéré comme un élément essentiel pour la croissance de la plupart des microorganismes du rumen, il entre dans plusieurs processus cellulaires ainsi qu'il assure l'intégralité des membranes cellulaires, il agit aussi sur certains enzymes bactériennes autant qu'un activateur, ainsi que les phosphotransférases et les phosphohydrolases,  $Mg^{++}$  active les cellulases, il améliore l'adhésion de *Ruminococcus flavefaciens* à la cellulose en combinaison avec le calcium (Durand et Kawashima, 1980).

### \* *Les oligoéléments:*

De nombreuses activités enzymatiques bactériennes sont régulées par des oligo-éléments tels que le fer (Fe), le manganèse (Mn) et le zinc (Zn), le cobalt (Co), le molybdène (Mo), le sélénium (Se) et le nickel (Ni)... Certains oligo-éléments entrent aussi dans la composition d'éléments cellulaires comme les ribosomes ou les membranes cellulaires. Les teneurs en oligo-éléments des microorganismes du rumen sont généralement bien supérieures à celles des aliments que l'animal ingère. En effet, les parois des bactéries sont capables de fixer des oligo-éléments par des liaisons qui sont plus ou moins réversibles en milieu acide. Aussi, les besoins en oligo-éléments des bactéries ne peuvent pas être déduits de leurs concentrations dans la masse microbienne (Thivend et al., 1985).

- **Le fer:** il est nécessaire pour la synthèse de certains enzymes pendant la phase de croissance bactérienne, il est abondant dans l'hème mais aussi dans des protéines (à non hème) où il joue un rôle d'électron de transfert comme dans le cytochrome qui est important pour les bactéries en anaérobies.

Le ferredoxine est un élément essentiel dans la réduction anaérobie de  $N_2$ .

## Physiologie digestive des ruminants

Le fer intervient comme un électron de transfert de la production de succinate, il est contenu dans le cytochrome des anaérobies comme: *Bactéroïdes ruminicola*.

- **Le cobalt**: le cobalt représente caractère limitant et cela du fait de son utilisation par la microflore à la synthèse de la vitamine B<sub>12</sub>, dont il fait partie. Ainsi qu'il entre dans certaines circonstances dans le transfert d'hydrogène, la transformation de méthyle en méthane, ainsi que la synthèse du méthionine par certaines bactéries.
- **Le zinc**: il est nécessaire pour toutes les fonctions vitales, car il joue un rôle de stabilisateur des composants cellulaires tels que: les ribosomes et les membranes.

Le Zn entre dans la structure des métallo enzymes à action intracellulaire (DNA et RNA polymérase), et aussi les enzymes asocies à la membrane cellulaire (phosphatase alcaline).

Le Zn<sup>+2</sup> est présent dans les membranes cellulaires des bactéries, il contribue à leurs stabilisations ainsi à l'adhérence de certaines bactéries cellulolytiques aux parois végétales.

- **Le manganèse Mn**: il est nécessaire en quantité infime pour la croissance cellulaire, pour le déroulement des différentes réactions de décarboxylation dans le cycle citrique.

Le Mn est essentiel pour le fonctionnement de certaines enzymes, et aussi pour la sporulation bactérienne.

### **3-4-4-Les vitamines:**

On a longtemps considéré que la synthèse des vitamines du group B par les bactéries du rumen était suffisante pour couvrir leurs propres besoins et celles de l'animal hôte. Cependant, in vitro, la synthèse de protéines microbienne et améliorée par une addition au milieu d'incubation de niacine et de thiamine, (Candou et al., 1980, cité par Verité et al., 1986), mais l'effet de thiamine est liée aussi à la présence ou non dans l'alimentation de thiaminase.

Ce sont généralement les vit: A, D<sub>3</sub> et E qui font défaut dans les fourrages, elles sont généralement incorporées au complément minéral.

#### **\* Les facteurs de croissance des microorganismes:**

Ils sont définis comme des substances strictement nécessaires à la croissance des microorganismes, il s'agit des acides gras à courte chaîne, de certaines molécules aromatiques (acide phénylpropanoïque), l'hémine, les vitamines du groupe B, la choline et la vitamine K.

La croissance bactérienne est améliorée lors d'une alimentation riche en glucides fermentescibles, ainsi que le rôle bénéfique que joue une adjonction de substances

tampons (bicarbonate de sodium ou en mélange avec la magnésie ou de bicarbonate de calcium) ainsi que le maintien d'un pH autour de 6 (Harrison et al., 1975, Okeke et al., 1982, Hadjipanayiotou et al., 1982, cité par Vérité, 1986).

### **3-6- Les phénomènes digestifs chez les ruminants :**

La digestion chez les ruminants constitue un processus lié étroitement à la nature de l'appareil digestif particulièrement différencié, par la présence des préestomacs: rumen, réseau et feuillet précédant la caillette.

Depuis leur ingestion par les polygastriques les aliments subissent une digestion résultante de phénomène mécanique et fermentaires (au niveau du rumen réseau).

En premier lieu les aliments sont fragmentés par une mastication ingestive et ensuite avalés dans un flot de salive.

Les contractions ruminales poussent les particules alimentaires vers l'arrière du rumen, où elles s'émergent dans son contenu.

#### **3-6-1- Les phénomènes mécaniques :**

Ces phénomènes favorisent une dégradation mécanique des aliments, on peut les subdiviser en trois types:

##### **3-6-1-a- Le broyage énergétique:**

- la première mastication: rapide, les aliments sont peu divisés entassés dans la panse avec l'eau de boisson et la salive, cette mastication est deux fois plus rapide chez les petits ruminants (125-150 mvts/min).
- La deuxième : mastication mérycique ou rumination, les aliments sont ramenés de nouveau vers la cavité buccale où ils sont soumis à une nouvelle insalivation et seconde mastication puis ils retournent vers la panse où ils sont fermentés.

La rumination représente un état physique qui peut être décomposé ainsi :

- 1- régurgitation du bol alimentaire qui se fait en deux phases :
  - Aspiration oesophagienne : qui permet au contenu ruminal de remonter vers l'œsophage (contraction du rumen et ouverture du cardia)
  - Expiration : vers la bouche grâce à une onde antipéristaltique accompagnée d'une respiration profonde.
- 2- La déglutition de la partie liquide et expulsion des gaz de fermentation.
- 3- Mastication mérycique d'une minute, à rythme plus lent et à salivation abondante.
- 4- Phase de repos et la déglutition du bol alimentaire qui retourne dans la panse et non pas directement dans le feuillet.

Il existe six à huit périodes de rumination par jour de 40 à 50 min pour chacune, elle facilite beaucoup l'action des fermentations microbiennes en fragmentant les aliments pour faciliter leur attaque par la microflore ruminale d'une part par la brise des membranes cellulaires ce qui expose le contenu à l'action des diastases, et d'autre part par la rumination qui augmente les sécrétions salivaires.

### ***3-6-1-b- L'insalivation abondante :***

La sécrétion salivaire chez les ruminants est très abondante et continue de 100-200 litres par jour, c'est presque 10 à 20 litre par Kg de MS ingérée.

La salive des ruminants ne contient pas de ptyaline qui est une diastase amylasique présente seulement chez l'homme. Elle contient de l'eau et du mucus, de l'urée (10 – 35 mg/ml), des bicarbonates et des phosphates de sodium et potassium, c'est une solution tampon. La salivation est variable selon la rugosité des aliments.

La présence d'aliments grossiers dans le rumen excite la zone du cardia et provoque le reflex de la salivation (Soltner, 1999).

### ***3-6-1-c- Le brassage prolongé et permanents:***

Selon des circuits obligatoires, le temps de séjours des aliments dans le rumen est variables selon les régimes, de 1,5 jours pour la jeune herbe de printemps à plus de 5 jours pour la paille.

En réalité tous les réservoirs participent au brassage:

- Au niveau du rumen: le brassage est assuré par les contractions de sa tunique musculaire et qui sont accélérées pendant la mastication. Les bols alimentaires surnagent d'abord au dessus du liquide puis s'y enfoncent en s'homogénéisant. Le séjour prolongé dans le rumen permet l'attaque des parois cellulosesiques.

Il existe aussi un micro- brassage réalisé par les cils des protozoaires.

- Au niveau du réseau qui est parcouru par des contractions venant du rumen intervenant dans la remonte des aliments lors de la rumination.

- Au niveau du feuillet: ses lamelles servant à un filtre permettant le passage progressif des aliments.

- Au niveau de la caillette les contractions sont plus lentes et les mouvements péristaltiques, elles débutent de la région du pylore en se prolongeant sur tout l'intestin.

### **3-6-2- Les phénomènes fermentaires :**

Il s'agit d'une dégradation biologique des aliments, chez les herbivores, c'est une particularité surtout chez les ruminants qui ont une sorte de cuve fermentaire (rumen-réseau) où les aliments finement divisés et imprégnés sont fermentés.

#### ***3-6-2-a-Le milieu ruminal et ses particularités :***

Il offre un milieu idéal et même favorable à la vie des micro-organismes ruminants, par une stabilité chimique et physique, il représente les caractéristiques essentielles d'un fermenteur par:

- Une température favorable maintenue à 39-40°C et qui peut atteindre 41°C lors des grandes fermentations (Thivend et al., 1985).
- Des conditions d'anaérobiose: le contenu ruminal est surmonté par une poche gazeuse composé d'azote, de dioxyde de carbone et de méthane (25-35 %) (60-70%).
- Un pH réglé et relativement constant oscille entre 7,2 et 6,5 (Blain, 2002), la régulation de ce pH ruminal est assurée grâce à une neutralisation des acides provenant de la digestion, par la salive qui apporte des sels basiques (solution tampon à pH = 8,2), ce sont des bicarbonates et des phosphates de sodium et potassium (10-20 litre/kg MS). La régulation peut aussi être muqueuse par une absorption continue des acides formés à travers la muqueuse ruminale, par l'ammoniac qui provient de la protéolyse microbienne, ainsi que par l'élimination des produits terminaux de la digestion (des échanges permanents à travers la paroi du rumen)
- Le rH: le potentiel d'oxydoréduction varie de -450 à -250 mV (Russell et Hespell, 1981), La concentration d'oxygène à ce potentiel et de  $10^{-22}$ M (Martinko et Modigan, 1997) tout dépend de l'aliment et son pH, la méthode de mesure... etc. Le rH exprime le degré d'oxydation et de réduction comparé avec l'électrode d'hydrogène, lorsque la valeur est négative une grande réduction prend place et les conditions sont anaérobies dans le rumen, pendant que la valeur positive montre l'oxydation, c'est-à-dire un environnement aérobie.
- La pression osmotique: la pression osmotique est maintenue proche à celle du sang.
- La phase gazeuse de la partie dorsale du rumen contient 50-70% de CO<sub>2</sub>, le reste est constitué principalement de méthane et une petite quantité des autres gaz: nitrogène et oxygène qui est rapidement utilisé par la population microbienne. La portion liquide du contenu ruminal contient relativement une grande quantité d'ammoniac

## **Physiologie digestive des ruminants**

comme un composé azoté et acide gras volatile, le CO<sub>2</sub> et le bicarbonate comme majeur composé carboné, les carbohydrates et les composés organiques azotés sont principalement liés avec les substances fibreuses et les cellules microbiennes.

- Une richesse en eau 85 à 90%.

Ce milieu favorise une prolifération microbienne intense et variée par un apport régulier de nutriments fournis à la fois par l'ingestion des aliments et par la rumination (ainsi que par le recyclage de l'urée).

### ***3-6-2-b- La transformation des aliments en nutriments :***

Les actes de la digestion servent à transformer les substances complexes souvent insolubles en produits de composition simple «les nutriments» qui seront facilement absorbés dans les différents secteurs digestifs sous l'action chimique exercée par les diastases digestives qui participent avec les processus mécaniques (broyage, brassage) ainsi que les processus biologiques qui dégradent les aliments et par conséquent à leur simplification.

#### ***\* - La digestion des sucres solubles :***

Les glucides solubles sont facilement utilisés par les micro-organismes ruminants (Bactéries et protozoaires), ils passent par une hydrolyse très rapide et totale, on peut constater que l'amidon est hydrolysé dans le rumen-réseau à des proportions élevées, 90-95%. Les sucres solubles représentent une source d'énergie importante pour la microflore et leur disparition du contenu ruminal est très rapide.

#### ***\*- La digestion de la cellulose :***

Aucune diastase digestive n'est capable d'hydrolyser la cellulose, il s'agit chez les ruminants d'une digestion microbienne (Soltner, 1999). Les glucides pariétaux (cellulose, hemicellulose) sont attaqués par des cellulases secrétées par des bactéries cellulolytiques, ils subissent une hydrolyse lente et partielle aboutissant au stade des oses ou sucres simples (glucose, pentose). Ces sucres vont donner d'autres produits après leur fermentation en anaérobie, en premier lieu il s'agit d'acide pyruvique et d'adénosine triphosphate (ATP) utilisée par les microbes pour leurs besoins d'entretien et de multiplication.

Le pyruvate va suivre différentes voies métaboliques qui aboutissent à la formation d'un mélange d'acides gras à courtes chaînes (AGCC) appelés aussi acides gras volatils (AGV) et selon les rations habituelles les proportions des acides gras volatils seront pour: acide acétique (en C<sub>2</sub>) est de 60 à 65% du mélange, acide propionique (en C<sub>3</sub>) 18 à 20% du mélange et 10 à 15% d'acide butyrique (en C<sub>4</sub>), on peut aussi trouver

## **Physiologie digestive des ruminants**

d'autres acides en C<sub>5</sub> (Valérique) ou en C<sub>6</sub> (Caproïque) mais en quantité beaucoup plus modeste (2 à 5% du mélange). Ces acides contiennent l'énergie utilisable par l'animal, ils sont absorbés le sang surtout à travers la paroi du rumen, ils constituent la principale source d'énergie pour l'animal hôte puisqu'ils fournissent de 70 à 80% de l'énergie totale absorbée chez les ruminants (Sauvant et Milgen, 1995) et sa par opposition aux monogastriques qui tirent l'énergie essentiellement du glucose et des lipides alimentaires qui sont absorbés au niveau de l'intestin grêle

la fermentation produit aussi du gaz représentés surtout par le gaz carbonique et le méthane .

On trouve une proportion de méthane qui varie entre 25-35 % et une proportion en CO<sub>2</sub> qui va de 60-70%, le CO<sub>2</sub> est rejetés à la fois par l'éruclation et aussi la circulation sanguine pulmonaire.

### **\*- *Digestion de la lignine :***

Les parois végétales ne sont pas totalement dégradées dans le rumen, la présence de la lignine est souvent corrélé avec une diminution de la digestibilité des végétaux, le type et le degré de liaisons entre la lignine et les autres constituants pariétaux semblent représenter le facteur limitant (Fonty et Forano, 1999).

En réalité la lignine résiste à l'action microbienne, elle n'est pas dégradable et elle représente un facteur réduisant la pénétration des enzymes bactérienne dans les fibres, ainsi qu'il inhibe chimiquement l'activité enzymatique.

### **\*- *Digestion des matières Azotées :***

La présence du rumen chez les polygastriques domine la dégradation des matières azotées qui subissent une dégradation plus ou moins intense et rapide, cette dégradation est assurée par la flore ruminale protéolytique.

On distingue deux types de matières azotées, les constituants non protidiques (amides, amines, bases azotées) dont la dégradation microbienne est rapide et totale, ces matières azotées sont dissoutes en totalité et hydrolysées en ammoniac NH<sub>3</sub>.

Les protéines peuvent subir une protéolyse, 50% des bactéries du rumen ont cette activité (utilisent ou dégradent les acides aminés ou les peptides), mais pas complète car leurs de travail dépend de leur nature (nature de l'aliment), les protéines contenues dans des aliments traités par des «Tannages» destinées à leur protection de la dégradation microbienne échappent à la protéolyse.

Les ciliés sont également des protéolytiques, on a constaté une concentration élevée en ammoniac avec une population abondante de protozoaires.

## **Physiologie digestive des ruminants**

La dégradation des matières azotées dans le rumen donne des éléments carbonés ainsi que l'ammoniac qui seront utilisés par les micro-organismes ruminants afin de synthétiser leurs propres protéines c'est la phase de la protéosynthèse microbienne, qui est assurée par la présence d'énergie nécessaire libérée au cours de la dégradation des glucides (Wilson, 1987).

L'ammoniac en excès va subir deux voies :

- Recyclage par la salive, ensuite un retour vers le tube digestif.
- Une part absorbée se transforme dans le foie en urée.

La partie non digérée des protéines alimentaires se retrouvant au contact avec les enzymes des autres secteurs du tube digestif, comme la pepsine gastrique, la trypsine pancréatique, et l'érepsine gastrique. Les polypeptides sont transformés en acides aminés.

L'ammoniac est un élément précurseur essentiel pour la croissance microbienne de la plupart des espèces bactériennes du rumen qui le prélèvent et l'utilisent pour la synthèse de leurs propres acides aminés constitutifs. Il est même considéré comme la principale source d'azote pour plusieurs souches bactériennes, en particulier celle impliquées dans la digestion de la cellulose et de l'amidon, 82% des bactéries du rumen peuvent se développer uniquement avec l'ammoniac comme source d'azote. Cependant, il a été observé qu'un apport d'acides aminés en association avec l'ammoniac fourni par l'urée stimule la synthèse des protéines microbiennes (Vérité et al., 1988)

Comme la transformation de l'azote alimentaire en azote microbien passe principalement par le pool ammoniacal, plusieurs auteurs ont mis l'accent sur l'importance d'une quantité minimale d'azote ammoniacal nécessaire dans le rumen pour une meilleure synthèse des microbes et une optimisation de la dégradation des aliments. Selon, entre autres, (Faverdin et al., 2003), ces concentrations d'azote ammoniacal dans le rumen ont un effet positif sur la digestion et l'ingestion des fourrages pauvres.

L'utilisation de l'ammoniac pour la synthèse microbienne est étroitement liée à la quantité d'énergie (sous forme d'ATP) produite par la fermentation des glucides, mais également à la présence de certains minéraux, en particulier le soufre et le phosphore. L'ensemble des résultats de recherches dans ce domaine permet de dire qu'en moyenne, 145 g de Matières Azotées Totales (MAT) microbiennes sont synthétisés pour chaque kg de Matière Organique Fermentée (MOF) dans le rumen.

## Physiologie digestive des ruminants

Les microbes sont ensuite entraînés avec les "digesta", dans la caillette et l'intestin grêle, ou ils subissent alors le processus classique de digestion. Ils sont constitués de 80% de protéines, très bien équilibrées en acides aminés indispensables, et sont dégradés à 80-85%, fournissant les PDIM (Protéines Digestibles dans l'Intestin d'origine Microbienne) du système PDI (Protéines Digestible dans l'Intestin) français, (INRA, 1988). Ces PDIM jouent un rôle très important dans la couverture des besoins azotés des ruminants, surtout quand ces derniers reçoivent des rations à base de fourrages pauvres.

A ces protéines s'ajoutent celles d'origine alimentaire qui ont échappé à la dégradation microbienne dans le rumen (cette dégradation est très variable suivant la nature des sources protéiques). Ces dernières sont digérées selon un coefficient appelé coefficient de digestibilité réel variant de 50 à 75%, elles fournissent les PDIA (Protéines Digestibles dans l'Intestin d'origine Alimentaire).

La somme des PDIA et des PDIM constitue les protéines digestibles dans l'intestin (PDI).

Le système PDI français, de même que les autres systèmes modernes internationaux, permet d'évaluer la part respective de l'aliment et des microbes dans la fourniture des matières azotées au niveau de l'intestin de l'animal hôte. Il permet d'attribuer à un aliment deux valeurs azotées.

L'une,  $PDIN = PDIA + PDIMN$ , où PDIMN est la quantité de PDIM synthétisées grâce à la quantité d'ammoniac et d'acides aminés libérés par l'aliment lorsque la quantité d'énergie nécessaire à la synthèse protéique microbienne n'est pas limitative.

L'autre,  $PDIE = PDIA + PDIME$ , où PDIME est la quantité de PDIM synthétisées grâce à l'énergie de l'aliment lorsque la quantité d'ammoniac et d'acides aminés nécessaire à la synthèse protéique microbienne n'est pas limitative.

Les ruminants sont donc moins tributaires de la qualité des matières azotées alimentaires que les monogastriques car ils peuvent transformer des formes azotées simples comme l'urée en protéines microbiennes de haute valeur nutritionnelle.

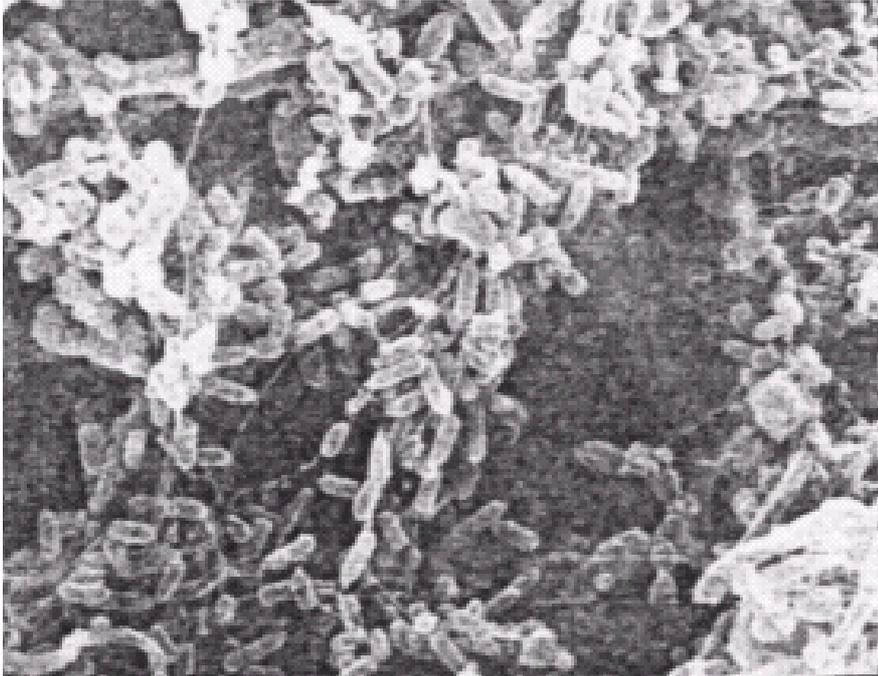
Il n'est alors pas nécessaire, du moins pour la satisfaction de leurs besoins d'entretien et d'une production modeste, de donner aux ruminants des protéines de bonne qualité dans la mesure où celles-ci seront en majorité dégradées en ammoniac qui aurait aussi pu provenir de formes azotées simples.

### **\*- *La dégradation des lipides :***

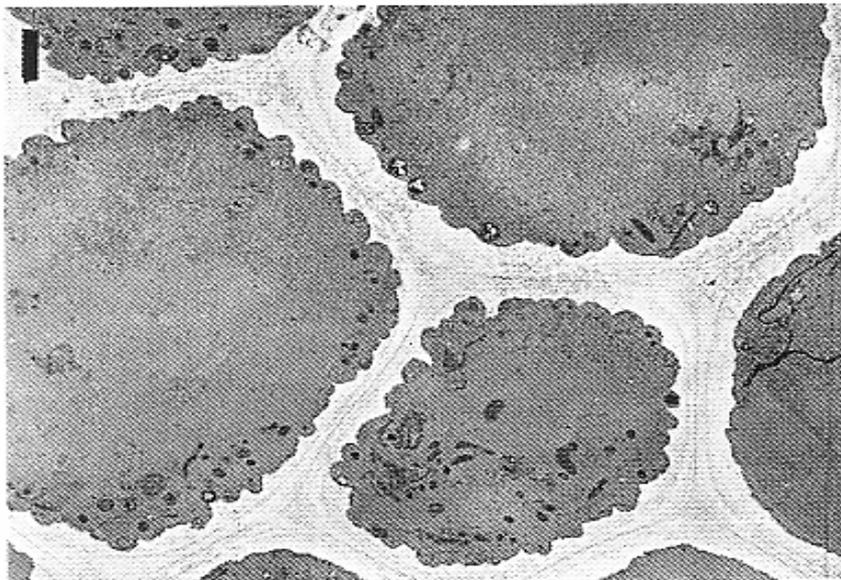
On trouve les lipides qu'en faible quantité (2-6%) dans la ration des ruminants (Gadoud, 1992), ils sont constitués en majeure partie par des triglycérides et aussi par des acides gras insaturés ( $> C_{18}$ ) qui sont abondants dans les grains et les graines et dans les fourrages (linoléique).

La digestion des lipides chez les ruminants est caractérisée par une lipolyse microbienne complète, pour les triglycérides ils sont transformés en acides gras et en glycérol.

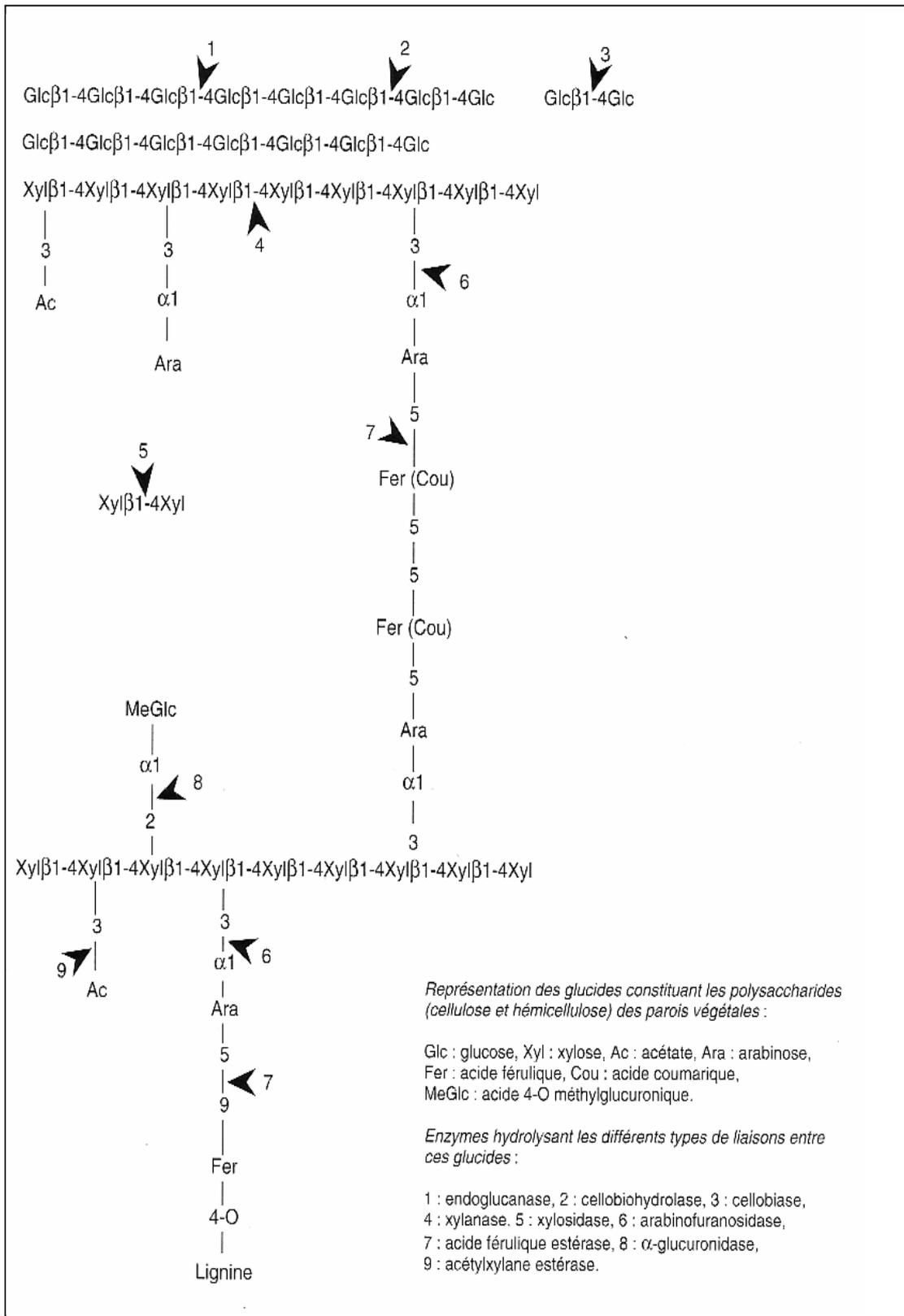
Les acides gras fixés sur les particules alimentaires sont repris par les bactéries pour élaborer leur propres acides gras (acides gras long saturés), les acides gras insaturés vont subir un remaniement par une hydrogénisation de leurs doubles liaisons. Ainsi, que les acides en  $C_{18}$ : linoléique, linoléique, oléique, sont transformés en acide stéarique ( $C_{18}$  saturé) qui se dépose dans les graisses corporelles dont il est le principal acide gras.



**Fig. 12-A.** *Bactéries du rumen fixées sur les parois cellulaires (Blain, 2002).*



**Fig.13-A.** *Dégradation des parois par les microorganismes (cliché au microscope électronique à transmission, Grenet, cité par Jarrige et al., 1995)*



**Fig. 14-A.** Types d'enzymes permettant de dégrader les parois végétales ( Jarrige et al., 1995)

### **3-7- Bilan de la digestion dans le rumen-réseau:**

La population microbienne fournit à l'animal la majeure partie des substrats énergétiques, acides gras volatils, des acides aminés et des vitamines B et en quantité généralement excédentaire.

Il sort du rumen la majeure partie des corps bactériens, une partie plus faible des protozoaires et aussi 30 à 40 % de la matière organique digestible qui est constituée surtout de protéines alimentaires et aussi des glucides pariétaux ayant échappé à la dégradation microbienne chez les ruminants il s'ensuit des particularités du métabolisme énergétique dont l'élément essentiel n'est plus le glucose mais un mélange d'acides gras volatils qui sont absorbés dans le rumen-réseau (60 à 80 % d'énergie absorbée), par ailleurs les acides aminés absorbés dans l'intestin grêle ont deux origines: alimentaires et microbienne ce qui confère aux ruminants une relative indépendance vis-à-vis des sources azotées de la ration (Thomas et al., 1972).

#### **\* Production d'acides gras volatils:**

Les acides gras représentent la source énergétique de toutes les fonctions de l'organisme des herbivores et des ruminants. Ces acides gras sont issus soit de la fermentation des glucides, soit par désamination des amino-acides. Il s'agit surtout d'acide acétique, d'acide propionique et d'acide butyrique.

Ils peuvent couvrir jusqu'à 40% des besoins énergétiques (Gürtler et al., 1995), leur concentration globale dans le rumen dépend de plusieurs facteurs liés à l'alimentation (préhension, quantité, composition et digestibilité).

#### **\* La production de gaz:**

Les glucides constituent la base des régimes alimentaires destinés aux animaux domestiques, les oses issus de la digestion de ces glucides sont rapidement absorbés par les bactéries, ils sont rarement détectés dans le rumen.

Le métabolisme glucidique aboutit en anaérobie à la formation d'A.T.P (nécessaire au métabolisme bactérien) et aussi à la formation d'acides gras volatils (l'acétate, le propionate et le butyrate), ainsi que la chaleur.

Les gaz de rumen sont constitués principalement de 65% de CO<sub>2</sub> et de 25% à 30% de méthane, le reste est représenté par de l'azote (environ 5%) et une très faible quantité d'H<sub>2</sub> et d'H<sub>2</sub>S, ce dernier gaz ne provient pas bien évidemment des glucides, mais du métabolisme des composés soufrés d'origine protéique ou minérale (Blain, 2002).

Les gaz produits sont éliminés par éructation et par voie pulmonaire (CO<sub>2</sub>).

## Physiologie digestive des ruminants

La production du méthane est reliée à celle de l'acétate, et celle de CO<sub>2</sub> est reliée à la production de propionate. Il existe aussi une relation inverse entre la production de propionate et celle de CH<sub>4</sub> (Chouinard, 2002).

La production de méthane représente une perte d'énergie qui peut aller jusqu'à 10% de l'énergie digestible de la ration (Jouany, 1991) ou 6.7% d'énergie brute, cette production est estimée à 600 litres par jours et pour le CO<sub>2</sub> elle est de 400 litres chez un bovin adulte, pour le mouton elle est de 30-60 litres, la digestibilité du régime alimentaire augmente la production de méthane.

L'inhibition de la production du méthane aboutit à une diminution de la désamination des acides aminés.

Les bactéries méthaniques ont un rôle métabolique essentiel comme des accepteurs d'H<sub>2</sub> formé dans la plupart des réactions.

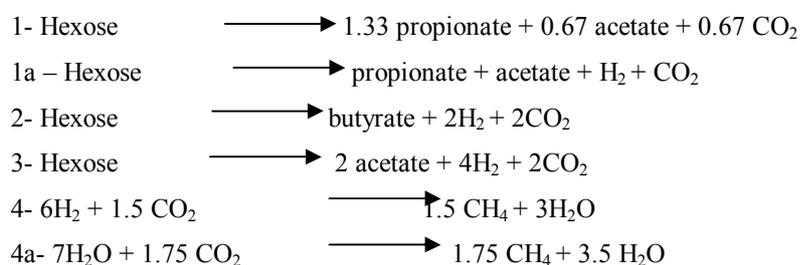
Les méthanogènes participent dans la réduction de CO<sub>2</sub> en méthane et éliminent le H<sub>2</sub>, leurs présence indique une bonne santé de la microflore.

Au plan nutritionnel, la relation qui représente les pertes sous forme de méthane s'inscrit ainsi:

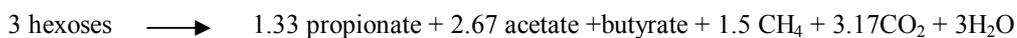
Pour 50 moles (CHO) (anhydro-glucose) → 3.54 kg d'acétate + 1.70kg propionate + 0.79 kg butyrate + 1187 litres CO<sub>2</sub> + 538 litres CH<sub>4</sub> + 2.5 kg de biomasse microbienne + chaleur.

Il existe plusieurs méthodes qui servent à mesurer les quantités de CH<sub>4</sub> produit par le bétail, une de ces méthodes est celle qui consiste à mesurer les quantités de méthane qui s'accumule dans une chambre respiratoire, il est possible aussi de mesurer la quantité totale dans l'air (y compris celle des déjections).

Le bilan global des réactions de dégradation des oses et de production de méthane d'après (Wollin et Miller cité par Blain, 2002) est le suivant:



Reactions 1 + 2 + 3 + 4



Reactions 1a + 2 = 3 + 4a



### **3-8- La digestion après le rumen-réseau :**

La digestion dans la caillette et dans les intestins est semblable à celle qui a lieu chez les monogastriques.

Dans le feuillet dépourvu de sécrétion digestives, a lieu une absorption d'eau et de sels minéraux. Cette résorption favorise l'acidification des aliments dans la caillette où il y aura aussi une absorption du reste des acides gras volatils non absorbés au niveau du rumen.

Dans la caillette le séjour du contenu ne dure que peu (2 à 3 heures), il progresse rapidement vers l'intestin grêle où a lieu la digestion et l'absorption des nutriments.

Les glucides sont dégradés dans le rumen, ils sont hydrolysés en glucose dans l'intestin grêle mais c'est surtout l'amidon et non pas les glucides pariétaux.

En générale les quantités de glucose absorbées au niveau de l'intestin grêle sont faible ou nulle avec des rations de fourrages seuls, et elles ne deviennent importantes qu'avec des rations riches en grains de maïs, et de sorgho.

Pour les matières azotées qui arrivent au duodénum, se sont de deux types : alimentaires et microbiennes.

Les matières azotées qui transitent la caillette puis arrivent dans l'intestin grêle sont représentées par deux fractions distinctes: la fractions non fermentescible d'origine alimentaire et d'autre part des protéines microbiennes.

Les lipides des aliments contiennent des acides gras insaturés, ils sont hydrogénés dans le rumen – réseau mais peu ou pas détruits, la quantité absorbée est faible mais elle peut être accrue par l'incorporation dans l'alimentation concentrée de graisse ou graines oléagineuses.

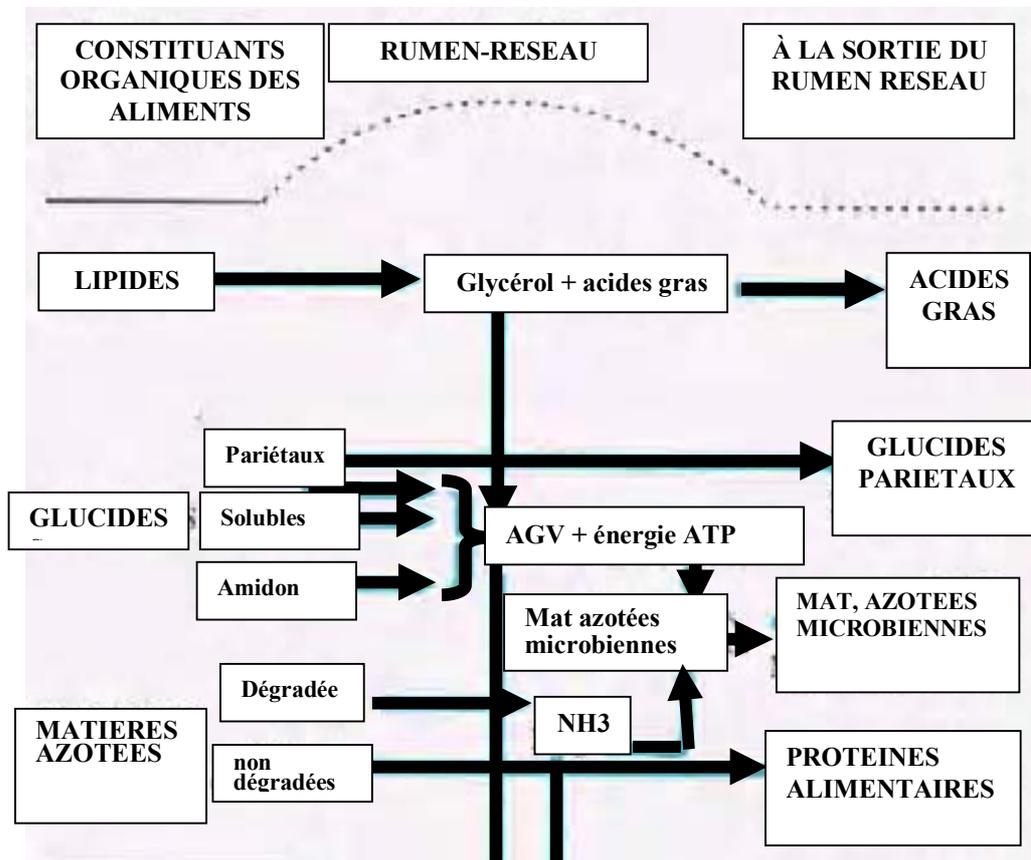


Fig. 15-A. Schéma de la dégradation des constituants organiques des aliments dans le rumen-réseau (Gadoud, 1992).

### **3-9- Caractéristiques digestives chez le dromadaire:**

Les camélidés vivent dans des régions sèches où leur alimentation est constituée de fourrages relativement pauvres, en les comparant avec les ruminants nous trouvons certaines particularités de point de vue anatomique, physiologique et surtout comportementale qui font leur adaptation aux conditions différentiels du milieu.

#### **3-9-1-Comparaison du contenu ruminal (dromadaire / ruminant):**

Le dromadaire héberge les mêmes espèces bactériennes que les ruminants avec un niveau légèrement réduit (Kayouli et al., 1991 cité par Jarrige et al., 1995), il y'a très peu de différences dans la population microbienne anaérobie des pré estomacs des camélidés et des ruminants, les espèces dominantes de bactérie sont les mêmes et leur nombres différent peu (Jouany, 2000) de  $10^{10}$  à  $10^{11}$  ml de contenu de rumen, il n'ya pas de différence significative concernant les bactéries méthanogènes et les bactérie sulfato-réductrices ainsi que les cellulolytiques.

Pour les protozoaires leur concentration est plus faible que chez les ruminants, la présence d'Isotrichidae n'a jamais été observée chez les camélidés.

Pour les champignons peu d'études ont été réalisées, pour les camélidés ont a pu constaté selon certains auteurs que leur concentration est plus élevée que celle du rumen.

#### **3-9-2- Particularités comportementales et digestives chez le dromadaire:**

En principe, les camélidés sont très bien adaptés à l'ingestion de fourrages pauvres, ce sont des brouteurs sélectifs et en plus ils ont une grande capacité d'utiliser efficacement les fourrages.

Le dromadaire boit moins et urine moins que les ruminants, le stockage des aliments dans leur pré estomacs est faible par rapport à celui des ruminants avec des phases de rumination et d'ingestion faibles.

L'utilisation du dromadaire dans l'étude des mécanismes qui déterminent la digestion des parois végétales est efficace grâce aux conditions physicochimiques les plus stables dans les compartiments de fermentation de leur tube digestif, le pH est stable et ne descend jamais en dessous de 6.5 même après des repas rapidement et hautement fermentescibles ce qui évite les perturbations du milieu mais il faut noter que cette aptitude des camélidés à maintenir les pH disparaît lorsque le contenu fermentaire est incubé in vitro, cela signifie que la muqueuse digestive (sécrétion des ions bicarbonates et phosphates au niveau des sacs glandulaires), le renouvellement de la phase liquide et peut être la salivation (sécrétion de grande quantités) des aliments

## **Physiologie digestive des ruminants**

---

sont impliquées dans la stabilisation du pH chez les camélidés, (Cordesse et al., 1992, Lemosquet et al., 1996 cité par Jouany, 2000) ont montré que les camélidés sont beaucoup plus efficaces que les ruminants dans l'utilisation des glucides pariétaux (cellulose, hémicellulose).

***DEUXIEME PARTIE***  
***ETUDE EXPERIMENTALE***

***QUATRIEME CHAPITRE:***  
***MATERIEL ET METHODES***  
***I- ANALYSES CHIMIQUES***

**Introduction**

L'évaluation de la valeur nutritive des aliments des animaux et surtout des ruminants repose sur plusieurs mesures qui peuvent aller des analyses chimiques simples jusqu'à l'étude de la digestibilité, soit "in vivo" ou "in vitro".

Au cours de notre travail réalisé sous la supervision de nos enseignants et encadreurs, et dans le but d'étudier la valeur nutritive de nos fourrages, les plantes choisies sont des arbustes halophytes prélevées d'une région aride. On a pris: *Salsola vermiculata*, *sueada mollis*, *Atriplex halimus*, qui appartiennent à la famille des chenopodiacées.

Nous avons pu exploiter les disponibilités de notre laboratoire d'E.S.P.A au niveau du département vétérinaire à l'université El-Hadj Lakhdar- Batna, pour réaliser des analyses relatives au contenu en matière organique, matière azotée, matière grasse et en contenu en éléments minéraux majeurs (calcium, phosphore) et en oligo-éléments (manganèse, cuivre).

Et à la fin la détermination de la teneur en fibres de ces plantes fourragères qui a été réalisée au niveau du Laboratoire Vétérinaire Régional de Constantine.

#### **4-1- Période et zone de prélèvement des plantes étudiées :**

Les plantes qui ont été l'objet de nos analyses chimiques sont représentées par 28 échantillons issus de trois espèces de plantes fourragères consommées par le bétail dans les régions arides et semi-arides. Il s'agit d'halophytes représentées par :

- Dix prélèvements d'*Atriplex halimus* (Guetaf).
- Neuf prélèvements de *salsola vermiculata* (Djell).
- Neuf prélèvements de *sueada mollis* (souida).

Les plantes ont été récoltées pendant une durée qui représente presque toute les saisons (dix mois) durant les années 2002-2003, les échantillons ont été prélevés de la région de «Biskra » et précisément la région «d'Elhawch » (sub-saharienne), qui se situe dans le Sud-est algérien et représente une pluviosité annuelle (250-300mm) (région aride).

##### **4-1-1- Préparation de l'échantillon :**

Les plantes ont été récoltées aux différents stades, chaque échantillon a été repartie en trois lots afin de faciliter sa préparation au broyage.

Avant leur broyage et pour chaque prélèvement un premier séchage est fait dans une étuve ventilée et réglée à 50-55 °C pendant 72 h après avoir été débarrassées de toutes particules étrangère à la nature de la plante. Ensuite et sur une paille bien javellisée un triage en feuilles et tiges est fait et de nouveau ces échantillons vont subir un deuxième séchage dans des barquettes en aluminium étiquetées (date de récolte et code d'échantillon), le séchage se fait toujours dans une étuve ventilée (de marque Memmert) à une température de 50-55 °C pendant 24h.

Tout ces échantillons ont été ensuite broyés dans un broyeur (de marque K-JANKE et KUNKEL "IKA-labortechnik) à travers une grille de 1 mm de diamètre, puis conservés dans des récipients (pots) clos jusqu'au jour de leurs analyses.

#### **4-2- Analyse chimique:**

\* **Répétabilité:** pour chaque analyse le nombre de répétition était deux (02) essais pour chaque échantillon.

##### **4-2-1- Détermination du taux en matière sèche:**

###### **a/ Principe :**

Lorsque l'échantillon est placé dans une étuve maintenue à 105°C jusqu'à poids constant, toute l'eau s'évapore et le résidu sec s'appelle la matière sèche (MS)

### ***b/ Matériel :***

- étuve réglée à 105 °C (Heraeus).
- des creusets en porcelaine.
- une balance de précision (Sartorius).
- une spatule
- un dessiccateur garnit d'un agent déshydratent efficace.

### ***c/ Méthode :***

Pour déterminer le taux de la matière sèche un gramme (1g) de l'échantillon est pesé ( $P_0$ ) dans un creuset en porcelaine préalablement taré ( $P_1$ ) ensuite il est placé dans une étuve réglée à 105 °C pendant 24h, après cette étape le creuset est sorti de l'étuve, transportés soigneusement et en évitant toute source d'humidité vers le dessiccateur pour avoir un poids constant. Après presque plus d'un demi heure nous pesant le creuset ( $P_2$ ) et la différence du poids représente le taux d'humidité.

### ***d/ Formule et calcul :***

Le taux d'humidité est calculé par différence entre le poids frais et le poids sec.

$$\%MS = \frac{P_2 - P_1}{P_0} \times 100$$

$P_0$  = représente le poids du creuset.

$P_1$  = représente le poids du creuset.

$P_2$  = représente le poids du creuset et du résidu

$$\%H_2O = 100 - \%MS$$

## **4-2-1-a-- Détermination des cendres ou matière minérale totale :**

### ***a/ principe :***

Lorsque l'échantillon est soumis à une incinération à 55°C la matière organique est consommée et la matière résiduelle est minérale (cendres).

### ***b/ Matériel :***

- Four à moufle (Heraeus).
- Balance de précision (Sartorius).
- Un dessiccateur garnit d'un agent déshydratent efficace.

### ***c/ Méthode :***

Après la détermination de sa teneur en matière sèche l'échantillon est mis dans un four à moufle à une température égale à 550 °C durant une nuit (plus que 12 heures). Nous laissons le creuset refroidi à l'intérieur du four un certain temps avant de le mettre dans le dessiccateur pour avoir un poids constant, puis on le pèse pour avoir un

nouveau poids ( $P_3$ ) qui détermine le taux des cendres après la disparition de la matière organique.

### ***d/ Formule et calcul :***

La teneur en cendres est calculée par différence :

$$\text{cendres (MM)} = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1} \times 100$$

$P_0$  = poids du creuset

$P_1$  = poids du creuset de l'échantillon

$P_2$  = Poids du creuset contenant le résidu après calcination la matière organique est déterminée par :

Différence = 100 - % cendres

### **4-2-2- Détermination de la teneur en cendres insolubles :**

#### ***a/ principe :***

C'est à partir des cendres (matières minérales totales) qu'on détermine le taux des cendres insolubles. L'attaque à chaud par l'acide chlorhydrique laisse un résidu à partir des cendres, ce sont les cendres insolubles.

#### ***b/ Matériel :***

- Un four à moufle (Heraeus).
- Une balance de précision (Sartorius).
- Des creusets en porcelaine
- Des entonnoirs en verre.
- Des fioles en verre (jaugées) à 50 ml ou 100 ml de volume.
- Un papier filtre dit «sans cendres» (Wattman).

#### ***c/ Réactifs :***

- Acide chlorhydrique (1N)

#### ***d/ Méthode :***

Les cendres insolubles sont obtenues à partir des cendres (matière minérale totale), ces cendre vont subir une attaque par un excès d'HCl (nous avons pris  $\approx 5$  ml pour chaque gramme d'échantillon). Le creuset est soumis à une ébullition sur une plaque chauffante jusqu'à ce que les cendres soient dissoutes, nous laissons les creusets refroidir, puis nous ajoutons une quantité d'eau distillée et nous filtrons à travers un papier filtre (sans cendres). Une fois nous terminons la filtration, le filtre et son contenu est de nouveau mis dans le creuset pour subir une incinération dans le four à

moufle à  $t^{\circ} = 545^{\circ}\text{C}$  pendant 08 heures, nous le laissons refroidir dans le dessiccateur jusqu'à ce qu'il atteigne un poids constant ( $P_4$ ).

### ***e/ Formule et calcul :***

Le pourcentage des cendres insolubles dans un échantillon est calculé comme suivant :

$$\% \text{ cendres inso} = \frac{P_3 - P_1}{P_2 - P_1}$$

$P_1$  = poids du creuset

$P_2$  = poids du creuset et des cendres.

$P_3$  = Poids du creuset et des cendres insolubles

### **4-2-3 - Détermination de la matière grasse totale :**

#### ***a/ Principe :***

Le solvant organique (extracteur) est très peu polaire, il extrait les triglycérides et les acides gras libres à chaîne longue.

#### ***b/ Matériel :***

- Un extracteur Soxhlet (Gerhard).
- Des cartouches en papier filtre épais ou cellulose.
- Un bain marie (Gerhardt).
- Etuve ventilée (Heraeus).

#### ***c/ Réactifs :***

- Un solvant organique: Ether de pétrole.

#### ***d/ Méthode :***

Après préparation du système «Soxhlet », nous pesons 1 g de l'échantillon ( $P_0$ ) dans une cartouche en cellulose et nous mettons 150 ml d'éther de pétrole dans un ballon préalablement lavé séché et taré ( $P_1$ ).

La cartouche est placée dans le système «Soxhlet », le ballon est placé dans le bain-marie qui est réglé à une température égale à celle du degré d'ébullition du solvant ( $95^{\circ}\text{C}$ ).

L'extraction se fait par ébullition du solvant et condensation de ses vapeurs par un réfrigérant, le système de siphonage assure le passage des gouttelettes de la matière grasse vers le ballon.

Cette extraction dure environ 6 heures, et l'éther peut être récupéré avant la fin de l'opération.

## **Matériel et Méthodes : Analyses Chimiques**

Après presque 6 heures, les ballons sont retirés et mis dans une étuve réglée à la même température de celle du bain-marie afin d'évaporer l'excès d'éther.

Le ballon est ensuite refroidi jusqu'à poids constant dans un dessiccateur et pesé de nouveau ( $P_2$ ).

### ***e/ Formule et calcul :***

Le pourcentage de la matière grasse est calculé par différence de pesée du ballon :

$$\%MGT = \frac{P_2 - P_1}{P_0} \times 100$$

$P_0$  = la prise d'essai de l'échantillon

$P_1$  = poids du ballon

$P_2$  = Poids du ballon contenant l'extrait gras.

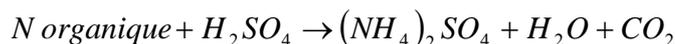
### **4-2-4- Détermination du taux des matières azotées totales :**

Le dosage de la matière azotée se fait selon la méthode de Kjeldahl, cette méthode détermine le contenu azoté des substances organiques et inorganiques, la méthode de Kjeldahl peut être divisée en trois principales étapes :

#### **A- Minéralisation:**

##### ***a/ principe :***

La minéralisation de la matière organique se fait par l'acide sulfurique et à chaud, en présence de l'acide sulfurique concentré et d'un catalyseur minérale la matière azotée se transforme en sulfate d'ammonium (la transformation de la substance organique en substance minérale).



On détermine la quantité d'azote pur N(g) contenu dans l'échantillon puis en déduit sa teneur en M.A.T. L'azote représente en moyenne 16% du poids des protéines.

##### ***b/ Matériel:***

- Minéralisateur d'azote ( Gerhardt-Kjeldatherme)
- Balance de précision (Sartorius).

##### ***c/ Réactifs :***

- Acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) concentré (95-96%).
- Catalyseur en sélénium préparé à partir de :
  - 80 g de sulfate de potassium ( $KSO_4$ ).
  - 20 g de sulfate de cuivre ( $CUSO_4$ ).
  - 2 g de sélénium (Se).

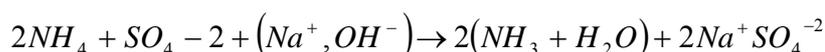
**d/ Mode opératoire :**

- Nous pesons 1g de l'échantillon sec; nous l'introduisons dans un matras de 250ml.
- Nous ajoutons à l'échantillon 20 ml d'acide sulfurique pur et 2g du catalyseur en sélénium.
- Le matras est placé sur une rampe chauffante (le minéralisateur), le chauffage doit être progressif afin d'éviter la formation de mousse, et nous veillons à que des particules de l'échantillon ne se collent pas aux parois.
- Le chauffage est progressif jusqu'à que la solution soit limpide (d'une couleur vert pale), puis l'appareil est éteint et nous laissons la solution refroidir.
- Le volume est complété à 100ml par de l'eau distillée (dans des fioles jaugées)

**B- Distillation :**

**a/ principe :**

- La décomposition du sulfate d'ammonium par la soude et la formation d'ammoniac



- L'entraînement et la condensation de NH<sub>3</sub> dans un récipient, la conversion du NH<sub>4</sub> en NH<sub>3</sub>.

**b/ Matériel :**

- Distillateur d'azote (Selecta)

**c/ Réactifs :**

- Lessive de soude 40% (solution)
- Acide borique 4% (solution aqueuse saturée à pH = 5.5)
- Réactif de Tashiro: il est préparé à partir de deux volumes égaux de deux solutions préparées séparément I et II.

\*Solution I: c'est une solution de rouge de méthyle à 0.1% préparée à partir de 0.1g de rouge de méthyle dissoute dans 100ml d'éthanol 95% (au bain marie).

\*Solution II: c'est une solution de bleu de méthyle préparée en prenant 04ml d'une solution de 1% de bleu de méthyle avec 96ml de l'éthanol à 95%.

Le colorant de Tashiro est vert pour un pH supérieur à 5.5; il devient violet pour un pH inférieur à 5.5. La teinte sensible est gris sale (le coq. 1965).

### *d/ mode opératoire :*

La distillation se fait dans un appareil qui assure l'entraînement de la vapeur d'ammoniac et sa condensation par un réfrigérant, il s'agit d'un déplacement de l'azote minérale dissout dans la solution sulfurique par la soude.

Lorsque l'eau de la chaudière est à ébullition, nous faisons couler 15 ml de soude dans le matras qui contient 10 ml de l'échantillon minéralisé.

Il se forme de d'ammoniac volatil qui est entraîné par la vapeur d'eau qui est condensé (par le réfrigérant) et recueilli dans l'acide borique saturé qui contient quelque gouttes du réactif de Tashiro (deux à trois gouttes).

La distillation est terminée lorsque la volume recueilli est à 100ml, là nous arrêtons le système de chauffage et nous passons au titrage.

### **C – Titration (Titration):**

#### *a/ Principe :*

L'ammoniac distillé neutralise une certaine fraction de la solution titrée d'acide chlorhydrique.

#### *b/ Matériel :*

- une burette de 20-25 ml subdivisée en 1/20<sup>ème</sup> ml
- agitateur magnétique (M6 IKA-Werk).

#### *c/ Réactif :*

- acide chlorhydrique : HCl (0,1 N).

#### *d/ Mode opératoire :*

Le titrage se fait à l'aide d'une burette qui permet de mesurer le volume d'acide chlorhydrique nécessaire pour titrer la quantité d'ammoniac distillé, la neutralisation (écoulement de la solution HCl) se fait au fur et mesure jusqu'au virage au gris sal de la solution.

#### *e/ Formule et calcul :*

La teneur en azote totale est calculée par cette formule :

$$\% \text{ MAT} = \frac{1,40 \times N (V_1 - V_0)}{P}$$

N = La normalité de l'acide chlorhydrique

V<sub>1</sub> = quantité d'acide chlorhydrique en millilitre, utilisée au cours du dosage (titration).

V<sub>0</sub> = volume d'acide chlorhydrique en millilitre, utilisée au cours de l'essai à blanc.

P = Poids de l'échantillon.

Si on admet que l'azote représente une moyenne de 16% de la masse des protéines, la concentration des protéines sera:

$$\% \text{Protéines} = \% \text{MAT} \times 6.25$$

### **\* Le blanc:**

Pour préparer le blanc une minéralisation est faite par les réactifs sans mettre l'échantillon, qui est remplacé par 10ml d'eau distillée.

Le digestat obtenu est ensuite distillé et titré dans les mêmes conditions.

### **4-2-5- Détermination de la teneur en constituants pariétaux ou fibres**

#### **• Principe général:**

Les méthodes d'analyses des fibres sont basées sur des traitements successifs (chimiques) de l'échantillon afin de solubiliser les composants non fibreux et à la fin l'obtention d'un résidu qui détermine la teneur en fibre.

La méthode utilisée pour déterminer la teneur en fibres dans les trois plantes fourragères est celle de (Van-soest, 1991), qui est une méthode qui permet la détermination des trois fractions de fibres insolubles (hémicellulose, cellulose et lignine) en utilisant un détergent.

#### **\* - Détermination de la fraction insoluble dans un réactif détergent neutre le NDF (Neutral detergent fiber):**

##### **a/ Principe:**

Il s'agit d'un résidu obtenu après un traitement par une solution neutre (pH7), elle inclut la cellulose hémicellulose, et la lignine ainsi que les cendres et les matières azotées. A la présence de la solution détergente tout ce qui n'est pas fibres est solubilisé.

##### **b/ Matériel:**

- Un Dosi- fibre (de marque Selecta).
- Creusets en verre de borosilicate (leur filtre est d'une porosité de 40 à 70  $\mu$ ).
- Etuve réglée à 105 (de marque Binder).
- Balance de précision (de marque Kern).
- Four à moufle réglé à 525 (de marque Sirio-Dental).
- Un dessiccateur garni d'un déshydratant efficace (silicagel).
- Agitateur magnétique chauffant (M6 IKA-Werk).

##### **c/ Réactifs:** pour préparer un litre de la solution:

\*18.62g d' EDTA (Dissodium ethylenediamine tetraacetate,  $C_{10} H_{14} N_2 O_8 \times H_2O$ );

\*6,81g de borate de sodium décahydrate ( $Na_2 B_4O_7 \times 10H_2O$ );

## **Matériel et Méthodes : Analyses Chimiques**

---

\*30g de Sulphate de sodium lauryl(C<sub>12</sub> H<sub>25</sub> SO<sub>3</sub> Na);

\*10 ml de 2-ethoxyéthanol;

\*4,56 g de dissodium hydrogénophosphate (Na<sub>2</sub> HPO<sub>4</sub> ).

\* **Préparation de la solution neutre:** pour la préparation de cette solution les quantités d'EDTA et de borate de sodium sont dissoutes dans une quantité suffisante d'eau distillée, la dissolution des réactifs est assurée par un agitateur chauffant (≈50°C), puis nous ajoutons le reste des réactifs et après la dissolution complète le volume est complété par l'eau distillée et ajusté à 1000 ml.

### ***d/ Méthode:***

#### **Etape de traitement par ébullition:**

1g de l'échantillon (finement broyé) est pesé dans les creusets préalablement lavés et tarés (P<sub>1</sub>). Le poids de la prise d'essai est (P<sub>0</sub>).

Ensuite les creusets sont placés dans l'extracteur de fibres (Dosi-fiber) et d'un autre coté la solution détergente est chauffée sur une plaque chauffante. Dans chaque colonne on verse 100 ml de la solution détergente neutre.

Avant de lancer l'ébullition le système de réfrigération doit être ouvert, l'ébullition doit être maintenue pendant une heure (60 min).

A la fin de l'extraction nous filtrons le contenu des colonnes par de l'eau distillée chauffée en abondance.

Les creusets sont par la suite retirés et placés dans l'étuve réglée à 105 °C pendant une nuit et après ils sont refroidis dans le dessiccateur jusqu'à poids constant qui sera déterminé (P<sub>1</sub>).

#### **Etape d'incinération.**

Dans un four à moufle réglé à 525°C, nous remettons les creusets et nous laissons incinérer pendant huit heures, après ça et de nouveau les creusets sont pesés (après dessiccateur) il s'agit de (P<sub>2</sub>).

### ***e/ Formule et calcul:***

Le pourcentage des NDF (Neutral detergent fiber) est égale à:

$$\text{NDF} = \frac{P_1 - P_2}{P_0} \times 100.$$

P<sub>0</sub>: prise d'essai initial (doit être corrigé par la matière sèche).

P<sub>1</sub>: poids du creuset après étuvage.

P<sub>2</sub>: poids du creuset après incinération.

**\* - Détermination de la fraction insoluble dans un réactif détergent acide le ADF (acid detergent fiber).**

**a/ Principe:**

Cette fraction représente le résidu insoluble dans une solution détergente acide, elle contient la lignine et la cellulose.

**b/ Réactif:**

- L'acide sulfurique (95-96%).
- Le C.T.A.B (cétyle triméthyle ammonium bromure).

La solution est préparée par dissolution de 100g de C.T.A.B dans une quantité d'eau distillée puis les 150ml d'acide sulfurique sont ajoutées avec précaution, le volume ensuite est complété jusqu'à les cinq litres (5000ml).

**c/ Méthode::**

**Etape de traitement à chaud:**

- Placer les creusets préalablement pesés ( $P_1$ ) avec un gramme d'échantillon ( $P_0$ ) dans le Dosi-fiber, ouvrir le système de refroidissement et maintenir l'ébullition pendant une heure (60min).
- Filtrer avec de l'eau distillée après avoir arrêté le chauffage (après les 60min), et mettre les creusets dans l'étuve réglée à 105°C pendant une nuit.
- Laisser les creusets refroidir dans le dessiccateur après peser les pour avoir un ( $P_2$ ).

**d/ Formule et calcul:**

$$\%ADF = \frac{P_2 - P_1}{P_0} \times 100$$

$P_0$ : Le poids de la prise d'essai initial (doit être corrigée par la MS).

$P_1$ : Poids du creuset vide.

$P_2$ : Poids du creuset contenant le résidu après traitement et étuvage.

**\* - Détermination de la fraction insoluble dans l'acide sulfurique à 72% (ou lignine Van soest).**

**a/ Principe**

Il s'agit de la lignine qui est le résidu de l'attaque par l'acide sulfurique à 72% du résidu ADF, il peut contenir des substances annexes.

### ***b/ Réactifs:***

Acide sulfurique à 72% (préparé à partir de l'acide sulfurique 96%), c'est une dilution de l'acide concentré, pour un litre d'acide sulfurique à 72% nous mettons 750ml d'acide sulfurique à 96% et nous complétons le volume à 1000ml.

### ***c/ Méthode:***

Mettre les creusets contenant le résidu A.D.F dans des bacs en verre et verser une quantité d'acide sulfurique 72% de façon à couvrir le résidu et à l'aide des baguettes en verre nous essayons à homogénéiser le contenu, ajouter encore de l'acide jusque presque la moitié du creuset, le volume doit être constant pendant les trois heures (3h) de traitement et en cas de diminution nous devons ajuster le volume.

Après les trois heures de l'attaque acide, nous passons à la filtration par un rinçage abondant à l'eau distillée chaude dans le Dosi-fiber.

- Les creusets sont mis ensuite dans l'étuve réglée à 105°C pendant toute une nuit (plus de 12 heures).
- Après refroidissement dans le dessiccateur et pesée (P<sub>3</sub>), le résidu va subir une incinération dans le four à moufle réglé à 525°C pendant huit heures.
- Les creusets sont refroidis et pesée pour avoir le taux des cendres, on à (P<sub>4</sub>).

### ***d/ Formule et calcul:***

La lignine est calculée comme suit:

$$\%Lign = \frac{P_3 - P_4}{P_0} \times 100$$

P<sub>0</sub>: La prise d'essai initiale.

P<sub>3</sub>: La lignine avec les cendres.

P<sub>4</sub>: Les cendres obtenues par l'incinération.

## **4-2-6- Détermination des teneurs en éléments minéraux:**

### **4-2--6-1- Détermination des teneurs en éléments minéraux majeurs:**

#### **A- Calcium: (Ca)**

##### **La préparation de l'extrait:**

##### ***a/ Principe***

IL consiste à préparer des extraits à partir des échantillons secs en les soumitant a une attaque acide pour libérer les éléments minéraux (Elmer, 1994).

##### ***b/ Matériel :***

- des béchers
- une plaque chauffante (Mirak).

## **Matériel et Méthodes : Analyses Chimiques**

- une micro-pipette (Witopet).

### ***c/ Réactifs :***

- Acide nitrique concentré
- Acide perchlorique à 70 %

### ***d/ Méthode :***

Nous avons choisis la méthode de digestion acide (Nitro-perchlorique) nous prenons 1g de l'échantillon pesé dans un petit becher. Nous ajoutons 10 ml d'acide Nitrique concentré, ce mélange est laissé toute une nuit.

Après et sur une plaque chauffante on chauffe jusqu'à disparition des fumées rouges de (NO<sub>2</sub>), nous laissons les béchers refroidir et nous ajoutons une petite quantité (≈ 3 ml) d'acide perchlorique à 70 % et nous remettons les béchers de nouveau sur la plaque chauffante où le volume est évaporé jusqu'à presque le tiers, ensuite le contenu des béchers est transféré dans des fioles de 50 ml par filtration à travers un papier filtre. L'extrait est conservé dans des flacons étanches dans un endroit froid (4°C) jusqu'au jour de l'analyse par le spectrophotomètre à absorption atomique.

### ***e/ Passage au spectrophotomètre à absorption atomique:***

La détermination du Calcium se fait par le passage par un photomètre à flamme. La dilution des solutions des extraits se fait à un dixième (1/10), et la mesure de Ca se fait dans des conditions d'une flamme à acétylène à 623 nm. Les solutions étalons peuvent s'étendre de 0-200 mg de Ca/l.

## **B- Phosphore (P):**

### ***Préparation des extraits pour dosage du phosphore :***

#### ***a/ principe :***

Le dosage du phosphore se fait sur des extraits qui ont été préparés par une incinération et une digestion Nitrique.

En présence de V<sup>+5</sup> et MO<sup>+6</sup>, l'ortho phosphore forme un complexe qui est le phospho-vanado-molybdate qui donne une absorption optimale à une longueur d'onde = 430 nm .

Les solutions étalons nous aident à établir une courbe d'étalonnage, c'est à dire le calibrage de l'appareil.

#### ***b/ Matériel :***

- Four à moufle réglé à 525°C (Heraeus).
- Etuve ventilée (Heraeus).

## **Matériel et Méthodes : Analyses Chimiques**

- Plaque chauffante (Mirak).
- Des béchers.
- Des creusets en porcelaine.
- Fioles de 50 ml.
- Papier filtre (Wattman).

### ***c/ Réactifs :***

- Acide Nitrique (1N).

### ***d/ Mode opératoire :***

1 g de l'échantillon est pesé et mis dans une étuve régler à 110°C pendant une durée de deux heures les creusets sont mis dans le four pendant deux heures à une température de 450°C. Nous laissons les creusets refroidir et à chaque creuset nous ajoutons 10ml de la solution d'acide nitrique (1N) nous mettons ensuite les creusets sur une plaque chauffante (150°C) pendant presque 30min.

Le résidu est filtré à travers un papier filtre dans une fiole jaugée et le volume est complété jusqu'à 50ml, l'extrait se conserve dans des flacons étanches à une température de 4°C.

### **\* Solutions pour le dosage du P :**

#### **1/ Préparation de la solution mère 500 ppm :**

Dans un litre d'eau distillée nous mettons 2,1965 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , et c'est à partir de cette solution que nous préparons ensuite une série de solutions étalons contenant 0-5-15-25 et 35 ppm P.

- Pour la solution de 5 ppm : nous prenons 01 ml de la solution mère et nous complétons le volume jusque 50 ml dans une fiole jaugée.
- Pour la solution de 15 ppm : nous prenons 3 ml de solution mère et nous complétons le volume jusqu'à 50 ml dans une fiole jaugée.
- Pour la solution de 25 ppm : nous prenons 5 ml de solution mère et nous complétons le volume jusqu'à 50 ml dans une fiole jaugée.
- Pour la solution de 35 ppm : nous prenons 7 ml de solution mère et nous complétons le volume jusqu'à 50 ml dans une fiole jaugée.

#### **2/ Le réactif :**

Le Nitrovanadomolybdate est préparé à partir de trois solutions qui sont :

- 100ml de la solution de molybdate d'ammonium 5% qui est préparée à partir de 50 g de  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dissout dans 500 ml d'eau distillée à chaud ( $t^\circ = 50^\circ\text{C}$ ), le volume est transférée dans une fiole de 1 litre .

## **Matériel et Méthodes : Analyses Chimiques**

- 100 ml de la solution de vanadate d'ammonium 0,25% qui est préparée à partir de 2,5 g de  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  dissout dans 500 ml d'eau distillée bouillie et après qu'elle soit refroidie nous ajoutons 20 ml d' $\text{HNO}_3$  le volume est ensuite complété à 100 ml avec de l'eau distillée.
- 100 ml d'acide Nitrique dilué à un tiers (1/3) [Un volume d'acide nitrique avec deux volumes d'eau distillée].

### **3/ Les solutions d'étalonnage :**

De chaque solution qu'on a préparé nous prenons 05ml et nous ajoutons 10ml de réactif (nitrovanadomolybdate) et le volume est complété jusqu'à 50ml, on laisse les solutions reposer après les avoir mélangé la durée est au minimum une heure .

A partir des extraits préparés préalablement 05ml sont pipetés et pour chaque extraits on met exactement 10ml du réactif et nous complétons par de l'eau distillée le volume de dilution approprié.

### **Le passage au spectrophotomètre dans le visible (méthode chlorimétrique) :**

La détermination du phosphore dans les extraits de nos plantes se fait à travers un spectrophotomètre (Shimadzu).

### **4-2-6-2- Détermination des teneurs en oligoéléments:**

#### **A- Détermination de la teneur en cuivre (Cu):**

La détermination de cet élément se fait sous une onde de 324.7 nm de longueur et une air oxydée par une flamme à acétylène.

La solution mère à 1000 ppm Cu: est préparée à partir de 1g de sel de Cu dissout dans un volume de  $\text{HNO}_3$  1/1 au minimum dilué à un litre.

Cette solution peut être conservé pendant plusieurs mois.

Les solutions d'étalonnage sont des solutions qui contiennent respectivement 0 – 0.5 – 1 – 2 ppm Cu.

#### **B- Détermination de la teneur en manganèse (Mn):**

L'onde de détermination est d'une longueur de 279.5 nm à air oxydée par une flamme à acétylène.

La solution mère à 1000ppm Mn: est préparé en faisant dissoudre le sel de Manganèse dans un volume d'acide nitrique 1/1 puis diluer jusqu'à un litre.

Les solutions d'étalonnage sont des solutions de 0 – 0.5 – 1 – 2 ppm Mn.

Les solutions d'étalonnage pour tous les dosages des minéraux sont faite selon l'indice de pente obtenu après passage à travers le spectrophotomètre à flamme.

*e/ Calcul et formule*

La concentration de chaque élément se fait comme suit:

$$[Cu] = \frac{[Lue] \times \text{volume.de.dilution} \times \text{facteur.de.dilution}}{\text{prise.d'essai}}$$

## ***MATERIEL ET METHODES***

### ***II-ETUDE IN VITRO***

#### **Introduction**

Les ruminants consomment une grande quantité de fourrages entrant dans leurs rations.

Plusieurs méthodes d'estimation de la digestibilité ou de la dégradabilité ont été établies afin d'évaluer la valeur nutritive de ces fourrages.

La technique in vitro est une routine qui permet l'évaluation de la fermentation au niveau ruminal en utilisant le liquide ruminal, la technique à été réalisé par Tilley et Terry (1963) ou méthode de production de gaz (Menke et al., 1979), ainsi que la méthode qui utilise les enzymes et non pas le liquide ruminal (Aufrer, 1982 cité par Demarquilly et Jarrige, 1981).

La quantité de gaz libérée lorsque les aliments sont incubés in vitro avec le liquide ruminal est étroitement liée à la digestibilité et à la valeur énergétique des nutriments pour les ruminants (Menke et al.1979). L'inclusion de la protéine brute et de matière grasse au cours de l'évaluation fait que l'estimation soit plus exacte que pour les autres méthodes (test à deux étapes d'après Tilley et Terry.1963, méthode de cellulase d'après Kellner et kirchgessner (1976), estimation à partir de l'analyse chimique). Depuis la première publication de cette méthode en 1979 de nombreuses améliorations et simplifications ont été faites.

La méthode d'étude de gaz "in vitro" est un moyen efficace pour évaluer les fermentations des aliments ainsi que l'étude de la cinétique de digestion dans le rumen.

Notre étude a été réalisé au niveau du laboratoire de la biotechnologie au département de sciences de la nature et de la vie –Université Mentouri de Constantine-, afin d'étudier la relation entre la composition chimique des trois plantes halophytes prélevées à différents stades et triées en feuilles et tiges (différentes parties morphologiques) et leurs cinétique fermentaires.

#### **4-1- Expérimentation in vitro**

La première étape de cette étude et la stérilisation du matériel utilisé de l'eau distillée servant à préparer les différentes solutions, et aussi la stérilisation de la salive artificielle reconstituée.

On peut distinguer trois étapes successives pour réaliser cette technique:

- 1<sup>ère</sup> étape: préparation de la salive artificielle.
- 2<sup>ème</sup> étape: mélange de la salive avec le contenu ruminal.
- 3<sup>ème</sup> étape: réalisation de l'inoculation et incubation.
- 4<sup>ème</sup> étape: vidange des seringues après les 120h d'incubation.

##### **4-1-1- L'animal donneur:**

nous avons choisi l'inoculum du dromadaire afin d'évaluer la dégradabilité de nos fourrages, le liquide ruminal du dromadaire est caractérisé par une certaine stabilité, c'est un inoculum standard (la flore microbienne ne représente pas beaucoup de modifications). L'inoculum a été obtenu à partir des animaux abattus juste après l'éviscération au niveau des abattoirs municipales (abattoir municipale d'EL khroub –Constantine). Les animaux utilisés provenaient respectivement des régions suivantes: Biskra et Boussaada, leurs ages étaient environ deux ans.

##### **• L'influence de la ration (type d'alimentation) de l'animal donneur:**

La technique in vitro a le pouvoir de bien caractériser la quantité digestible des carbohydrates d'un aliment ainsi que le taux de libération de ces nutriments. De telles caractéristiques sont d'une grande importance pour bien comprendre la dynamique fermentaire dans le rumen. L'activité de la microflore de l'inoculum est l'un des facteurs qui peuvent avoir une influence sur les profils de la production de gaz (Nagadi et al., 2000), et cela est due à l'alimentation de l'animal hôte (donneur) qui à un effet sur la composition chimique du rumen par conséquence sur la population microbienne de ce milieu.

Différents études ont montrés que la ration alimentaire du "donneur" a une influence sur la production totale de gaz ainsi que les profils de cette production.

Pell et Schofield (1993); Theodorou et al (1994) et Blümmel et Becker (1997) ont utilisé un liquide ruminal provenant d'un animal nourris seulement par le foin, les autres ont utilisés des animaux recevant une ration à base de foin et de concentré (Menke et Steingass, 1988).

##### **4-1-2- Matériel :**

- Autoclave pour stériliser (Hersteller. Webeco. GmbH)
- Système de transfert qui sert à transvaser le liquide ruminal et la salive artificielle.

## **Matériel et méthode: étude in vitro**

---

- Seringues de transfert.
- Thermos.
- Etuve réglée (39°C) qui joue le rôle d'incubateur (de marque Memmert).
- Seringues en verre à 100 ml de graduation 1/1 utilisées comme des bioréacteurs.
- Balance de précision.
- Thermos - Centenaire d'acier avec le dioxyde de carbone et une valve de réduction.
- Agitateur magnétique.
- Mousseline stérilisée (pour filtrer le liquide ruminal).
- Un pHmètre.

### **4-1-3-Réactifs :**

- Disodium hydrogénophosphate ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ).
- Phosphate de potassium ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ).
- Sulphate de magnésium ( $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ )
- Carbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ).
- Carbonate d'ammonium ( $(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$ ).
- Chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ )
- Chlorure de cobalte ( $\text{CoCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ )
- Chlorure de fer ( $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ ).
- La résazurin (0.1%)
- Hydroxyde de sodium (1N)
- Sulphate de sodium ( $\text{Na}_2\text{S} \times 7\text{H}_2\text{O}$ )
- La vaseline

### **4-1-4- Préparation de la salive artificielle :**

La majorité des composants de la salive naturelle ou artificielle sont les sels qui sont surtout: les bicarbonates de sodium ou de potassium et aussi dihydrogène de phosphate et de chlore.

Dans la technique in vitro, le pH doit être ajusté par l'addition de KOH ou NaOH.

Les caractéristiques les plus importants d'une salive jusqu'ici peuvent être définis par trois facteurs qui sont:

- (1) – La quantité des phosphates représentée par dihydrogène-phosphate ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ).
- (2) – La quantité de bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ).
- (3) – La quantité du chlore ( $\text{Cl}^-$ )
- (4) – Le rapport sodium / potassium ( $\text{Na}^+ / \text{K}^+$ ).

## **Matériel et méthode: étude in vitro**

---

Chaque élément a un rôle métabolique définis, les bicarbonates est un tampon efficace à des valeurs de pH qui se rapprochent de 6,5 (Philippe et al., 1999).

Le dioxyde de carbone est utilisé par les méthanogènes comme un accepteur d'électron.

Les phosphates contribuent aussi au tamponnage du milieu, le phosphore est un constituant des acides nucléiques (bactérienne), des phospholipides et des coenzymes.

L'approvisionnement en chlorures de potassium et de sodium change la pression osmotique.

Le potassium est le cation majeur des cellules bactériennes, ainsi qu'il entre comme un cofacteur pour certaines enzymes comme le phosphohexokinase.

Les quantités des bicarbonates ainsi que celle des phosphates ont une influence sur le taux des fermentations en changeant le pH salivaire avec une valeur maximale à pH7.

**4-1-4-a-Composition**

Nous avons préparés à partir des réactifs les solutions suivantes (selon le tableau 1)

**Tableau 5** : les différents constituants de la salive artificielle (Menke et Stingass, 1988)

<b>Solutions</b>	<b>Eléments et concentrations</b>
Solution des éléments majeurs (I)	-5.7g Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> -6.2g KHPO <sub>4</sub> - 0.6g Mg SO <sub>4</sub> x7H <sub>2</sub> O quantités suffisantes pour un litre.
Solution des éléments traces (II)	-13.2g CaCl <sub>2</sub> x2H <sub>2</sub> O - 10g MnCl <sub>2</sub> x4H <sub>2</sub> O - 1g CoCl <sub>2</sub> x6H <sub>2</sub> O -0.8g FeCl <sub>2</sub> X6H <sub>2</sub> O quantités suffisantes pour un litre
Solution tampon (III)	- 35g NaHCO <sub>3</sub> - 4g ((NH <sub>4</sub> )HCO <sub>3</sub> ) quantités suffisantes pour un litre
Solution de résazurin (IV) indicateur d'oxydo-reduction	-100g de résazurin dans un litre d'eau distillée.
Solution réductrice (V)	- 2ml de la solution de NaOH (1N) à la quelle nous ajoutons 285 mg de Na <sub>2</sub> Sx7H <sub>2</sub> O et 47.5ml d'eau distillée. (cette solution doit être immédiatement préparée par contre les autres peuvent être stockées).

#### ***4-1-4-b- Préparation de la salive artificielle***

Ces solutions sont mélangées par un agitateur magnétique et chauffées dans un bain marie à 39 C° pour assurer le maintien thermique, les quantités prises de chaque solution sont les suivantes :

- 474.00 ml d'eau distillée.
- 0.12 ml de la solution des éléments trace.
- 237.00 ml de la solution tampon.
- 237.00 ml de la solution des éléments majeurs.
- 1.22 ml de la solution de la résazurine.
- 50.00 ml de la solution réductrice.

Le mélange se fait sous flux de CO<sub>2</sub> exempt d'oxygène, l'ordre doit être respecter concernant le mélange de solution et la solution réductrice est ajoutée progressivement.

#### **4-1-5- Méthode:**

Les échantillons sont déjà séchés et broyés (1mm), la quantité de gaz produite est en relation directe avec la qualité de l'aliment, elle ne peut dépasser 90 ml. Si l'aliment est facilement digestible on doit mettre plus de 200mg de l'échantillon, mais en cas d'aliment pauvre la quantité de l'aliment peut atteindre les 300mg (Menke et Steingass, 1988).

En règle générale, les seringues sont rangées parallèlement, chaque aliment (échantillons) est répété trois fois (3 seringues).

Les pistons des seringues doivent être vaselinés afin d'éviter leur blocage.

Tout l'entourage doit être stérilisé (éviter toute contamination), le récipient contenant la salive artificielle est placé dans le bain marie préalablement chauffé (39C°-40C°).

Le passage de CO<sub>2</sub> dans ce récipient assure une anaérobiose du milieu (nous chassons le O<sub>2</sub> qui peut exister en le remplaçons par le CO<sub>2</sub>), le barbotage de la salive par le CO<sub>2</sub> se fait d'une façon continue.

La stérilisation peut elle-même chasser une partie de ce O<sub>2</sub> (disparition d'O<sub>2</sub> par excès de chaleur).

Après 30 minutes de passage de CO<sub>2</sub>, le récipient est fermé hermétiquement jusqu'à l'arrivé du liquide ruminal.

Le pH de la salive est mesuré par un pH-mètre déjà étalonné.

#### **4-1-6 Inoculation et incubation :**

A son arrivé le liquide ruminal est filtré à travers une mousseline dans le récipient contenant la salive artificielle et toujours sous flux de CO<sub>2</sub>.

## **Matériel et méthode: étude in vitro**

---

La mesure du pH du liquide ruminal est effectuée sur une partie non utilisée de ce liquide (il était au alentours de 6,85).

La solution réductrice est ajoutée au moment que la couleur de la salive artificielle est devenue transparente (nous assurant toujours un chauffage à 39-40C° et une agitation continus dans le bain marie).

Le volume de liquide ruminal salive artificielle est d'un ratio 1/2. Le remplissage des seringues qui servent à incuber l'inoculum et les échantillons de plantes déjà pesé et chauffés à 39C°, est aussi par une seringue de transfert en mesurant 30ml comme volume initial d'inoculum.

Pour chaque essai nous avons utilisé des substrats pures qui sont la cellulose forme cristallisée, la pectine, l'amidon, le xylane et la protéine.

Ces substances servent à contrôler mieux la qualité de l'inoculum apporté en fonctions des différentes activités bactériennes (indication sur lequilibre du milieu ruminal), comme elles peuvent servir au calibrage de la méthode.

La durée d'incubation est de 120 heures.

La lecture du volume de gaz produit se fait chaque 2 heures.

### **4-1-7- la lecture du volume de gaz :**

En premier lieu une lecture du volume initial (vo) est faite dans des conditions où la température doit être aux alentours de 39 plus ou moins 0.5 C° pendant toute la période d'incubation. La diminution ou l'augmentation de la température peut avoir des effets indésirables sur l'activité bactérienne.

Une première lecture du volume du gaz produit est réalisée après deux heures d'incubations et la dernière lecture sera faites après 120 heures (la lecture est faite chaque deux heures durant tous les essais).

### **4-1-8- La correction :**

Avec chaque test (essai) nous avons trois seringues contenant le liquide ruminal et la solution tampon sans aucun aliment, il s'agit d'un test à blanc qui indique le volume de gaz qui peut être dégagé par le contenu du liquide ruminal initial (de l'animal donneur). On ajoute à ce test un autre test de calibrage il s'agit de substrats pures qui sont des indicateurs du bon fonctionnement des différentes activités du liquide ruminal ce sont: la cellulose, le xylane, l'amidon, la pectine et la protéine.

### **4-1-9- Formule et calcule:**

La quantité du gaz produite pendant un temps défini détermine la caractéristique de la cinétique fermentaire pour chaque plante étudié.

## **Matériel et méthode: étude in vitro**

---

Cette détermination se fait par un programme d'analyse de données et selon des équations établies mathématiquement.

### **4-1-10- L'estimation de l'énergie métabolisable:**

Les volumes de gaz enregistrés pour chaque aliment va nous aider à calculer sa valeur énergétique ainsi que la dégradabilité de sa matière organique selon des équations définies (Nogueira et al., 2000).

## ***CINQUEME CHAPITRE:***

### ***RESULTATS ET DISCUSSIONS***

#### **5-A- Analyse de la composition chimique:**

##### **5-A-1° / Analyse comparée des quatre plantes fourragères :**

L'analyse de la composition des trois arbustes fourragers de la zone aride du Sud-est de Biskra est présentée dans le tableau 1, par comparaison à une légumineuse du Nord, *Hedysarium coronarium* (Sulla).

##### **Matière sèche :**

*Atriplex halimus* et *Salsola vermiculata* présentent des taux de MS par rapport à la matière fraîche significativement plus élevés ( $p < 0,05$ ) que *Sueada* mais les trois arbustes ont des taux de MS plus élevés que *Sulla* (12,66%). En comparaison des plantes méditerranéennes nous constatons une grande différence ces dernières ont des valeurs plus élevées que celles des régions arides (Ammar et al., 2005).

##### **Matière organique, matière minérale et cendres insolubles**

Concernant la matière organique, les trois arbustes ont des teneurs significativement plus faibles que *Sulla* (87,5% MS), alors que c'est l'inverse pour la MM qui a des valeurs plus élevées que celles des plantes du nord africain (Apori et al., 1998) .

*Sulla* renferme moins de cendres insolubles dans l'acide (0,58% MS), contrairement aux trois arbustes de la zone aride qui renferment jusqu'à 1,82% MS soit plus que le double, tableau 1.

Les cendres insolubles dans l'acide représentent une fraction minérale non assimilable du fait de sa forte insolubilité, un taux élevé en insoluble chlorhydrique dans un aliment constitue un élément de jugement négatif sur sa qualité.

Le taux de matière organique de nos arbustes est plus bas que celui des plantes tropicales qui ont des taux plus élevés: de 91,5 à 95,5% MS (Nogueira et al., 2000).

## Résultats et discussions

### Matière grasse :

Pour la matière grasse, on ne note aucune différence significative entre les arbustes et *Sulla*, les taux de MG des arbustes varient de 1,46% à 1,82% de MS, ce qui est inférieur à des valeurs citées par Fontaine (1995) pour le Maïs (4% MS), mais d'un autre côté la matière grasse des plantes analysées se rapproche de celle de l'avoine (2% MS) et de l'orge (1,8% MS).

### Matières azotées totales :

Relativement aux taux de protéines, les arbustes ont des taux significativement plus bas que ceux de la légumineuse *Sulla* (18,36% MS). *Sueada* présente un taux de MAT significativement plus élevé (14,55%) par rapport aux autres arbustes.

Ainsi que nous constatons que ces valeurs en MAT sont plus basses que celles obtenues par (Lemnour, 2001) et qui sont de 26,10% MS chez les légumineuses, par contre les valeurs obtenues pour les graminées sont plus élevées (13,95% MS) par rapport à celles des arbustes. Mais pour *Sueada mollis* cette valeur reste plus élevée (14,55% MS) que celle des graminées mais toujours plus basse que celle de *Sulla*.

Constituants	<i>Atriplex</i>	<i>Salsola</i>	<i>Sueada</i>	<i>Sulla</i>
	MS (%MF)	24,37 <sup>a</sup>	23,9 <sup>a</sup>	21,28 <sup>b</sup>
MM	22,24 <sup>a</sup>	25,87 <sup>a</sup>	21,4 <sup>a</sup>	12,5 <sup>b</sup>
MO	77,76 <sup>b</sup>	74,11 <sup>b</sup>	78,6 <sup>b</sup>	87,5 <sup>a</sup>
CEND INS	1,53 <sup>a</sup>	1,82 <sup>a</sup>	1,46 <sup>a</sup>	0,58 <sup>b</sup>
MG	1,86	1,56	1,54	1,76
Protéines	13,14 <sup>c</sup>	12,78 <sup>c</sup>	14,55 <sup>b</sup>	18,36 <sup>a</sup>
NDF	44 <sup>a</sup>	42,01 <sup>a</sup>	45 <sup>a</sup>	32,2 <sup>b</sup>
ADF	28,73	25,92	25,99	27,07
ADL	8,11	9,18	7,6	11,05
Ca g/kg	10,48 <sup>a</sup>	9,75 <sup>a</sup>	7,19 <sup>b</sup>	2,91 <sup>c</sup>
P g/kg	2,82 <sup>b</sup>	2,54 <sup>b</sup>	1,76 <sup>b</sup>	23,09 <sup>a</sup>
Ca/P	4,19 <sup>a</sup>	4,94 <sup>a</sup>	4,55 <sup>a</sup>	0,13 <sup>b</sup>
Mn mg/kg	23,58 <sup>b</sup>	27,54 <sup>ab</sup>	29,85 <sup>a</sup>	32,38 <sup>a</sup>
Cu	13,56 <sup>a</sup>	7,75 <sup>c</sup>	9,57 <sup>b</sup>	11,9 <sup>ab</sup>

### **Fibres neutres NDF :**

Les fibres neutres, représentant la paroi cellulaire végétale sont significativement abondantes ( $p < 0,05$ ) dans les trois arbustes, allant de 42,01% chez *Salsola* à 45,00% chez *Sueada* alors qu'elle ne sont que de 32,2 chez *Sulla* (Arab, 2006). Chez *Atriplex* la valeur des NDF est de 44% MS, cette valeur est inférieure de celle retrouvée par Bensalem et al (2005) qui est de 52% MS pour *Atriplex.nummularia* de la région tunisienne. En comparant les teneurs de la région aride en fibres neutres avec les plantes des régions tropicales il apparaît que ces dernières ont des taux plus élevés.

### **Fibres acides ADF :**

Pour les fibres acides constituant le complexe lignocellulosique de la paroi végétale, on note des teneurs comparables entre les arbustes et *Sulla* avec des valeurs, allant de 25,92% (chez *Salsola*) à 28,73% chez *Atriplex*, ces valeurs sont très loin des valeurs des "Achebs" dont on note des valeurs élevées pour le Chebrok (53% MS) et le Drinn et Adjram qui renferment respectivement 50 et 37% MS (Longo et al., 1989).

### **La lignine ADL :**

La lignine obtenue par traitement à l'acide sulfurique à 72% présente des valeurs comparables entre les quatre plantes étudiées, bien que *Sulla* représente le taux le plus élevé (11,05% MS), et *Sueada* le taux le moins élevé (7,6% MS).

En comparaison avec les résultats de Haddi et al (2003), ADL était supérieur à nos résultats et représentait respectivement (12% MS) pour *Sueada mollis*, 10,8% MS pour *Atriplex halimus* et 10,1% MS pour *Salsola vermiculata*.

### **Analyse de la composition minérale :**

Alors que les arbustes sont significativement plus riches en calcium par rapport à *Sulla*, cette dernière est significativement plus riche qu'eux en phosphore (23,09 g/Kg). Ceci se traduit par un apport Ca/P plus élevé chez les arbustes (4,19-4,94) qui offrent donc un meilleur équilibre minéral pour les animaux.

Ces valeurs sont différentes de celles citées par Blain (1992) pour une herbe de prairie d'excellente qualité dont la teneur en P est 4g/kg et qui représente presque le double des teneurs en P de nos plantes mais qui reste toujours inférieure à celle de la légumineuse du nord *Sulla* (23,09 g/kg).

## Résultats et discussions

---

Par ailleurs, l'*Atriplex* présente un taux de Ca plus élevé que chez l'herbe de prairie.

Ces éléments sont essentiels dans la ration pour assurer le bien être de l'animal et pour un fonctionnement équilibré de la flore ruminale.

Le rapport phosphocalcique pour l'ensemble des plantes étudiées est situé dans le fourchette indiquée par INRA (1984) qui est de 1-7g/kg sans aucun problème pour une femelle en lactation.

Concernant le Manganèse, les quatre plantes étudiées ont des teneurs appréciables et assez comparables, allant de 23,58 mg/kg MS chez *Atriplex halimus* à 32,38 mg/kg MS chez *Sulla*, tableau 1.

### **5-A-2° / - Analyse de la composition chimique d'*Atriplex halimus* en fonction de la fraction anatomique et effet des différents facteurs :**

**5-A-2°-1 / -** Le tableau 2 montre que la composition chimique des feuilles et des tiges d'*Atriplex halimus* sont significativement différentes pour plusieurs constituants (ADL excepté).

Les feuilles sont plus riches en :

- a) – Matière minérale : 30,61% MS contre 13,86% chez les tiges.
- b) – Cendres insolubles.
- c) – Matières grasses
- d) – en Ca, P, Mn et Cu;

Alors que les tiges sont riches en matière organique, en fibres totales neutre (NDF), en fibres ligno-cellulaires (ADF) et représentent un meilleur rapport Ca/P.

La lignine acide (ADL) est le seul constituant pour lequel on ne note pas de différence significative entre les tiges et les feuilles.

Le tableau 2 montre aussi que la période de prélèvement exerce un effet significatif sur la totalité des constituants chimiques exception faite pour les fibres acides ADF. Ceci veut dire que la structure lignocellulosique de *Atriplex halimus* ne varie pas de manière significative le long de l'année, ceci en considérant uniquement la partie comestible prélevée par l'animal. Dans cette matrice lignocellulosique, les autres constituants varient de manière significative avec la période de prélèvement.

**Tableau 2:** Composition chimique (en % de MS) des feuilles et des tiges de l'arbuste *Atriplex halimus*.

CONSTITUANTS			Effets		
	Feuilles	Tig	Morf	Per	Sais
MS	24,37	24,37		0,0001	0,0001
MM	30,61 <sup>a</sup>	13,86 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	ns (0,366)
MO	69,13 <sup>b</sup>	86,14 <sup>a</sup>	0,0001	0,0001	ns (0,366)
CEND INS	2,4 <sup>a</sup>	0,66 <sup>b</sup>	0,0001	0,0005	ns (0,087)
MG	2,53 <sup>a</sup>	1,2 <sup>b</sup>	0,0001	0,0006	* 0,027
Protéines	17,3 <sup>a</sup>	8,99 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	ns (0,40)
NDF	23,6 <sup>b</sup>	64,4 <sup>a</sup> (64,4/86,1)	0,0001	0,0004	ns(0,95)
ADF	19,21 <sup>b</sup>	38,25 <sup>a</sup>	0,0001	ns( 0,16 )	ns(0,63)
ADL	8,5	7,73	ns (0.24)	0,0001	*0,0149
Ca g/kg	12,42 <sup>a</sup>	8,48 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	ns0,1
P g/kg	3,54 <sup>a</sup>	2,14 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	0,022
Ca/P	3,77 <sup>b</sup>	4,63 <sup>a</sup>	*0,0319	0,0001	*0,011
Mn mg/kg	32,4 <sup>a</sup>	14,26 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	ns (0,309)
Cu mg/kg	15,20 <sup>a</sup>	11,94 <sup>b</sup>	0,0001	0,0012	ns (0,099)

**5-A-2°-2 / - Etude de l'effet de la période de prélèvement:**

L'*Atriplex* est une plante qui supporte bien les conditions climatiques et pédologiques des régions arides et semi-arides. Elle peut être utilisée contre la désertification qui est un phénomène très lourd (Benchaabane, 1997).

La période de prélèvement affecte de manière très significative la majorité des constituants chimiques des feuilles (tableau 3) et des tiges (tableau 4) d'*Atriplex halimus*. Ces constituants varient dans des proportions allant d'un cv de 0,23% (pour la MO) à un cv de 15,67% (pour la MG) chez les feuilles. Pour les tiges, la variation des constituants chimiques varie d'un cv de 0,29% (pour la MO) à un cv de 17,71% pour les NDF (tableau 4).

L'*Atriplex* est une plante qui peut résister à la sécheresse selon (le Houerou, 1992), cette plante halophyte pousse dans des conditions défavorables pour les autres espèces végétales ce n'est pas une légumineuse mais elle représente un taux élevé en protéines brutes (17,1% MS) pour *Atriplex nummularia lindi* ce qui est supérieur à celui trouvé chez *Atriplex halimus* (13,14%MS), dans notre étude.

### **Taux de matière sèche:**

Le tableau 3 montre que c'est durant le mois de juillet que les feuilles d'*Atriplex* ont le taux le plus élevé en matière sèche, en matière minérale et le meilleur rapport Ca/P. Les tiges ont seulement le taux le plus élevé en MS (tableau 4). Inversement, c'est durant le mois de mars que les feuilles et les tiges ont le % de MS le plus bas (14,16% MF). L'effet de la saison est hautement significatif, la variabilité de taux de MF se traduit par un coefficient de variation de 9,43% autour d'une moyenne de 24,37 g MS/100 g MF.

### **Taux de matière organique et minérale:**

Ces deux taux sont inversement liés. Le tableau 3 montre que pour les feuilles d'*Atriplex*, le taux de MO est plus élevé en février (72,5% MS) et plus bas en mai-juillet (64,9-64,45% MS). Pour les tiges (tableau 4), c'est au mois d'octobre qu'on note le taux de MO le plus élevé (91,1% MS) et le moins élevé au mois d'avril (79,15% MS), ces valeurs sont proches de celle du foin de la luzerne qui est comprise entre 86,0 et 91,1% MS (Elhassan et al., 2000)

Le taux de matière minérale totale est élevé pour les feuilles au mois de juillet (35,71% MS) et plus bas au mois de février (24,79% MS).

Par ailleurs on note au mois d'avril pour les tiges la valeur la plus élevée en MM totale (20,85% MS) et au mois de juin la valeur la plus basse (10,13% MS).

Cela peut être expliqué par l'absence de toute source d'eau qui entraîne une concentration en sels qui limite l'ingestion de cette plante par les ruminants ainsi que sa digestion. La valeur élevée en matière minérale des feuilles d'*Atriplex* diminue son apport énergétique (Bensalem et al., 2005).

### **Taux de cendres insolubles:**

Comme observé précédemment, les feuilles ont un taux de cendres insolubles significativement plus élevé que celui des tiges (tableau 2): 2,4 contre 0,66% de MS. Pour les feuilles ce taux est le plus élevé au mois de mai et le plus bas aux mois de novembre-décembre (tableau 4), c'est aux mois de juin (0,35% MS), d'octobre (0,2% MS) et de décembre (0,3% MS) qu'il est le plus bas.

## **Résultats et discussions**

---

### **Taux de matière grasse:**

Le taux de MG des feuilles est significativement plus élevé pour les feuilles d'*Atriplex* (tableau 2). Ce taux est le plus élevé aux mois de mars-avril (4,66-3,85) pour les feuilles (tableau 3) et au mois d'avril pour les tiges (1,90) (tableau 4) et pratiquement tous les autres mois comparables pour feuilles et tiges séparément.

Nos valeurs sont semblables à celles trouvées chez certaines plantes africaines (Ghana) et qui sont représentées par des espèces telles que *Grewia carpinifolia* avec 2,11% MS et *Thespesia populnea* avec 3,74% MS selon Apori et al (1998).

### **Taux de matières azotées totales:**

Les feuilles d'*Atriplex* montrent un taux de protéines brutes (N. Kjeldahl x 6,25) significativement plus élevé que celui des tiges (tableau 2). Pour les feuilles, la teneur en MAT est élevée presque toute l'année avec des pointes au mois de janvier février avril et novembre (19,79-18,58- 19,78% MS). Le mois d'octobre est le mois où les MAT des feuilles d'*Atriplex* sont les plus basses (11,89% MS, tableau 3). Pour les tiges, c'est au mois de mars, au printemps, que les MAT sont les plus élevées (11,82% MS) (tableau 41) et c'est au mois d'octobre que ce taux est le plus bas (6,47% MS).

Les teneurs en MAT des feuilles sont plus basses que celles citées par (Jarrige et al., 1995) pour les feuilles de la luzerne (22,5-31,87% MS) par contre celle des tiges se rapprochent des valeurs citées pour la luzerne (8,75-16,25% MS, cité par Jarrige et al, 1995).

### **Taux de fibres:**

Les tiges d'*Atriplex* sont significativement plus fibreuses que les feuilles mais ont un taux de lignine comparable (tableau 2). La période de prélèvement présente un effet significatif sur tous les types de fibres aussi bien pour les feuilles que pour les tiges, alors que la saison n'a pas d'effet que sur les fibres neutres des feuilles (tableau 3 et 4). Les taux de lignine (ADL) est le plus bas aux mois de janvier et avril pour les feuilles et aux mois de février et juin pour les tiges. Inversement, c'est au mois d'octobre que la lignine est la plus élevée pour les feuilles (12,3% MS) et aussi pour les tiges (16,65% MS).

Les teneurs en différents types de fibres des feuilles chez *Atriplex* sont inférieurs à celle de certaines plantes méditerranéennes telle que *Erica arborea*. La teneur en ADL est très basse (12,30% MS) que celle des feuilles de ces plantes (36% MS) (Ammar el al, 2005).

### **Taux de constituants minéraux:**

Concernant le contenu minéral, les feuilles d'*Atriplex* qui sont significativement plus riches en MM et en cendres insolubles, sont également plus riches en Ca (12,4 g/kg), en P (3,5 g/kg) en Mn (32,4 mg/kg) et en Cu (15,2 mg/kg) et présentent donc un rapport Ca/P plus faible (tableau 2). Les quatre éléments minéraux étudiés sont significativement affectés par la période de prélèvement aussi bien pour les feuilles que pour les tiges (tableau 3 et 4), alors la saison n'affecte pas la teneur en Ca et en P chez les feuilles et n'affecte pas non plus la teneur en Mn et en Cu pour les tiges. Les résultats obtenus sont plus bas pour le Ca que celles citées par (Paragon, 1984) pour les trèfles dont le taux de Ca représente 21% MS et le P 0,9% MS qui est une valeur inférieure à nos résultats. Pour les tiges nous constatons que les taux en Ca des tiges des trèfles sont plus élevés que celles de l'*Atriplex*. Alors que le P présente une valeur plus élevée chez l'*Atriplex* (8,48g/kg) que celle des trèfles (1,5% MS).

### **5-A-2°-3 / - Etude de l'effet de la saison:**

Comme le montre le tableau 3 pour les feuilles d'*Atriplex halimus*, la saison qui est ici le regroupement de trois prélèvements, exerce un effet hautement significatif sur les taux de MS, de MM, de MO de cendres insolubles, de MG, de protéines brutes et des fibres neutres (NDF). Parmi les minéraux seuls le Ca et le P sont affectés par la saison.

Pour les tiges par contre, on note dans le tableau 4 plus de constituants dont les teneurs ne subissent pas l'effet de la saison: c'est le cas pour la MG, pour tous les types de fibres, pour le Ca et pour le P.

Tableau 3 - Evolution des caractéristiques (% MS) des bulles d'actes de dévotion en fonction de la période de prélèvement et de la saison, MS en % MS).

Caractéristiques		MB	MM	MO	MB	MO	Prot	ADPr	ADPr	ADPr	Ca	P	Ca/P	MS	Ca
période de prélèvement															
Jan	19,89	29,90	70,10	2,88	1,82	19,79	22,28	38,07	4,78	14,22	3,82	4,01	46,98	15,00	
Fév	20,60	24,79	75,20	2,22	2,13	18,58	21,79	13,53	11,30	12,54	6,52	1,93	36,57	17,98	
Mars	16,71	32,58	67,41	2,31	4,85	17,87	18,92	10,57	6,88	14,30	4,21	3,40	36,19	15,79	
Avr	14,18	28,99	71,01	2,62	3,88	19,79	21,44	52,14	4,80	13,17	3,24	4,05	38,08	18,50	
Mai	18,98	36,99	64,48	4,77	2,54	16,47	22,88	11,74	9,28	13,34	3,04	4,42	36,19	14,30	
Jun	32,34	33,04	66,98	2,27	2,18	15,33	23,02	12,43	10,16	9,26	2,39	3,94	23,14	9,98	
Jul	34,90	36,74	64,29	2,11	2,40	15,52	23,28	12,53	8,29	10,33	2,28	4,98	33,74	16,07	
Août	30,48	26,17	74,83	1,99	2,98	11,88	33,19	16,40	12,30	12,99	3,13	4,04	15,07	18,14	
Sept	28,99	30,74	69,28	0,80	1,52	18,74	24,98	12,44	7,98	10,02	3,77	2,87	37,67	14,47	
Oct	27,04	29,89	70,39	2,43	1,57	17,98	24,74	12,28	9,52	13,12	3,23	4,05	23,60	12,04	
<b>Moyenne</b>		24,37	30,61	69,39	2,40	2,53	17,30	23,60	19,21	12,42	3,54	3,77	32,40	15,20	
<b>écart</b>		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
CV		9,43	0,53	0,23	9,83	15,67	5,62	5,68	5,98	15,06	4,08	8,76	10,98	2,73	8,14
<b>Balloon</b>															
Fév	33,62	34,39	65,64	2,19	2,29	15,43	23,13	12,48	9,27	9,81	2,31	4,25	28,41	13,01	
Août	29,54	27,94	72,06	1,20	2,08	15,33	28,87	14,42	9,95	11,70	3,48	3,63	22,54	16,31	
Sept	22,90	28,12	71,88	2,51	1,84	19,13	22,97	21,29	8,53	13,33	4,48	3,33	36,28	14,98	
Print	16,62	32,37	67,63	3,24	3,88	18,08	21,04	24,82	6,99	13,59	3,48	3,96	37,02	16,12	
<b>Moyenne</b>		24,37	30,61	69,39	2,40	2,53	17,30	23,60	19,21	12,42	3,54	3,77	32,40	15,19	
<b>écart</b>		0,0001	0,042	0,042	0,0053	0,0014	0,027	0,003	0,494	0,337	0,0001	0,003	0,37	0,08	0,305
CV		10,0	8,74	3,86	30,83	27,36	12,21	11,41	72,62	30,48	7,21	28,14	21,37	25,38	18,02

Tableau 4- Evolution des coefficients (MS) des types d'Atténués (Atténués) et factoriel de la période de prélevement de Bakon.

	MS	MM	MO	MS	MG	Prot	NDP	ADP	ADU	CS	P	CS/P	MM	CU
<b>Facteur 1</b>														
<b>Période de prélevement</b>														
JAN	19,89 <sup>a</sup>	13,25 <sup>a</sup>	86,75 <sup>a</sup>	0,65 <sup>b</sup>	0,56 <sup>b</sup>	10,99 <sup>ab</sup>	64,14 <sup>a</sup>	25,41 <sup>ab</sup>	6,17 <sup>c</sup>	8,17 <sup>bc</sup>	2,88 <sup>a</sup>	2,83 <sup>a</sup>	23,02 <sup>a</sup>	14,12 <sup>a</sup>
Fév	20,80 <sup>a</sup>	11,90 <sup>a</sup>	88,10 <sup>a</sup>	0,75 <sup>b</sup>	1,15 <sup>a</sup>	10,09 <sup>ab</sup>	66,97 <sup>a</sup>	38,89 <sup>a</sup>	6,13 <sup>a</sup>	6,47 <sup>a</sup>	2,81 <sup>a</sup>	2,30 <sup>a</sup>	20,12 <sup>a</sup>	12,42 <sup>a</sup>
MAR	16,71 <sup>a</sup>	18,62 <sup>a</sup>	81,38 <sup>a</sup>	1,12 <sup>a</sup>	1,37 <sup>b</sup>	11,82 <sup>a</sup>	49,11 <sup>a</sup>	36,20 <sup>a</sup>	4,68 <sup>a</sup>	8,68 <sup>a</sup>	3,07 <sup>a</sup>	2,84 <sup>a</sup>	13,10 <sup>ab</sup>	13,69 <sup>ab</sup>
AVR	14,16 <sup>a</sup>	20,85 <sup>a</sup>	79,15 <sup>a</sup>	0,81 <sup>b</sup>	1,90 <sup>a</sup>	10,27 <sup>ab</sup>	82,49 <sup>a</sup>	34,64 <sup>a</sup>	4,39 <sup>a</sup>	9,39 <sup>ab</sup>	1,70 <sup>a</sup>	5,59 <sup>a</sup>	16,18 <sup>a</sup>	14,75 <sup>a</sup>
Mai	18,99 <sup>a</sup>	18,10 <sup>a</sup>	81,90 <sup>a</sup>	1,01 <sup>a</sup>	0,03 <sup>b</sup>	8,68 <sup>ab</sup>	88,02 <sup>a</sup>	40,80 <sup>a</sup>	4,98 <sup>a</sup>	9,31 <sup>ab</sup>	2,10 <sup>a</sup>	4,43 <sup>a</sup>	11,28 <sup>ab</sup>	12,20 <sup>ab</sup>
JUN	32,34 <sup>b</sup>	10,13 <sup>a</sup>	89,87 <sup>b</sup>	0,39 <sup>b</sup>	1,48 <sup>a</sup>	7,06 <sup>a</sup>	70,13 <sup>a</sup>	48,66 <sup>a</sup>	6,99 <sup>a</sup>	7,24 <sup>ab</sup>	1,59 <sup>a</sup>	4,66 <sup>a</sup>	11,89 <sup>ab</sup>	11,22 <sup>ab</sup>
JUL	34,90 <sup>b</sup>	13,35 <sup>a</sup>	86,64 <sup>a</sup>	0,71 <sup>b</sup>	0,68 <sup>b</sup>	6,59 <sup>a</sup>	66,18 <sup>a</sup>	14,43 <sup>a</sup>	7,89 <sup>a</sup>	7,73 <sup>ab</sup>	1,63 <sup>a</sup>	4,77 <sup>a</sup>	9,09 <sup>a</sup>	9,08 <sup>a</sup>
Oct	30,49 <sup>b</sup>	8,90 <sup>a</sup>	91,10 <sup>a</sup>	0,20 <sup>b</sup>	1,29 <sup>a</sup>	6,47 <sup>a</sup>	70,10 <sup>a</sup>	50,90 <sup>a</sup>	16,69 <sup>a</sup>	8,68 <sup>a</sup>	0,90 <sup>a</sup>	9,61 <sup>a</sup>	10,24 <sup>a</sup>	10,20 <sup>a</sup>
Nov	28,89 <sup>b</sup>	12,97 <sup>a</sup>	87,02 <sup>a</sup>	0,65 <sup>b</sup>	1,47 <sup>a</sup>	10,96 <sup>ab</sup>	61,44 <sup>a</sup>	44,22 <sup>a</sup>	5,70 <sup>a</sup>	10,30 <sup>a</sup>	2,54 <sup>ab</sup>	10,30 <sup>a</sup>	11,62 <sup>ab</sup>	11,62 <sup>ab</sup>
Déc	27,01 <sup>b</sup>	10,59 <sup>a</sup>	89,83 <sup>a</sup>	0,30 <sup>b</sup>	1,09 <sup>a</sup>	6,99 <sup>a</sup>	66,43 <sup>a</sup>	49,34 <sup>a</sup>	13,80 <sup>a</sup>	10,30 <sup>a</sup>	2,22 <sup>bc</sup>	4,69 <sup>a</sup>	13,82 <sup>a</sup>	10,04 <sup>ab</sup>
<b>Moyenne</b>														
MS	24,37	13,86	86,13	0,66	1,20	8,99	64,40	38,26	7,73	8,44	2,14	4,63	14,26	11,93
MS	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0057	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
CV	9,43	1,81	0,29	12,36	11,38	9,13	1,56	17,71	13,01	4,88	9,68	10,84	4,68	5,64
<b>Bakon</b>														
Eth	33,62 <sup>a</sup>	11,74 <sup>ab</sup>	88,26 <sup>a</sup>	0,57 <sup>b</sup>	1,08 <sup>a</sup>	6,81 <sup>a</sup>	68,16 <sup>a</sup>	31,55 <sup>a</sup>	7,42 <sup>a</sup>	7,49 <sup>a</sup>	1,59 <sup>a</sup>	4,72 <sup>a</sup>	10,47 <sup>ab</sup>	10,19 <sup>ab</sup>
Aut	29,54 <sup>a</sup>	10,94 <sup>ab</sup>	89,05 <sup>a</sup>	0,42 <sup>b</sup>	1,34 <sup>a</sup>	8,72 <sup>ab</sup>	66,77 <sup>a</sup>	47,56 <sup>a</sup>	11,18 <sup>a</sup>	8,66 <sup>a</sup>	1,72 <sup>a</sup>	9,61 <sup>a</sup>	10,24 <sup>ab</sup>	10,91 <sup>ab</sup>
Moyen	22,50 <sup>a</sup>	11,90 <sup>ab</sup>	88,09 <sup>a</sup>	0,57 <sup>b</sup>	0,95 <sup>a</sup>	9,36 <sup>ab</sup>	63,21 <sup>a</sup>	37,88 <sup>a</sup>	8,10 <sup>a</sup>	8,32 <sup>a</sup>	2,64 <sup>a</sup>	3,29 <sup>a</sup>	18,99 <sup>a</sup>	12,19 <sup>ab</sup>
Print	16,62 <sup>a</sup>	19,19 <sup>a</sup>	80,81 <sup>b</sup>	0,99 <sup>a</sup>	1,44 <sup>a</sup>	10,29 <sup>a</sup>	62,18 <sup>a</sup>	36,88 <sup>a</sup>	4,66 <sup>a</sup>	9,12 <sup>a</sup>	2,29 <sup>a</sup>	4,28 <sup>a</sup>	13,40 <sup>ab</sup>	13,59 <sup>ab</sup>
<b>Moyenne</b>														
MS	24,37	13,86	86,13	0,66	1,20	8,99	64,40	38,26	7,73	8,44	2,14	4,63	14,26	11,93
MS	0,0001	0,0001	0,0001	0,0029	0,136	0,067	0,76	0,32	0,073	0,19	0,06	0,0001	0,0016	0,011
CV	10,0	11,87	1,91	32,16	30,31	20,55	14,41	31,32	46,79	13,08	27,71	22,94	20,64	12,30

### **5-A-3°/ - Analyse de la composition de *Salsola vermiculata*, en fonction de la morphologie, de la période de prélèvement et de la saison:**

#### **5-A-3°- 1/- Comparaison entre feuilles et tiges:**

Le tableau 5 montre une différence significative dans la composition chimique des feuilles et des tiges de *Salsola vermiculata*.

#### **Matière organique, matière minérale et cendres insolubles:**

Les tiges de la *Salsola vermiculata* sont nettement plus riches en matière organique que les feuilles (90,28 contre 57,94% MS), ce qui se traduit par un taux de cendres insolubles plus élevé chez les feuilles (2,81 contre 0,81% MS).

#### **Matière grasse et matières azotées totales:**

Les feuilles restent également un organe riche en matière grasse et matières azotées totales qui sont respectivement 2,10 contre 0,99% MS pour la matière grasse et 15,873 contre 10,22% MS pour les MAT des tiges.

#### **Les fibres:**

Contrairement aux feuilles, les tiges sont la partie la plus fibreuse de *Salsola* et cela d'une manière significative ( $p < 0,05$ ). Ainsi, il y'a approximativement 3,7 fois plus de fibres neutres (NDF) dans les tiges que dans les feuilles et 5,7 fois plus de fibres lignocellulosique ou ADF et  $\approx 3$  fois plus de sous forme d'ADL.

Les teneurs en Ca et Mn des feuilles sont plus élevées que celles des tiges alors que les teneurs en P sont comparables (2,65 contre 2,43g/kg MS).

Ce qui traduit donc par un rapport Ca/P meilleur dans les feuilles (5,72 contre 4,16).

<b>Tableau 5:</b> Composition chimique (en % MS) des feuilles et tiges de l'arbuste <i>Salsola vermiculata</i> .					
	<b>SALSOLA</b>				
			Effets		
Constituants	Feuilles	Tig	Morf	Per	Sais
MS (%MF)	23,9	23,9		0,0001	0,0001
MM	42,05 <sup>a</sup>	9,78 <sup>b</sup>	0,0001	0,0029	ns (0,59)
MO	57,94 <sup>b</sup>	90,28 <sup>a</sup>	0,0001	0,0029	ns (0,59)
CEND INS	2,81 <sup>a</sup>	0,84 <sup>b</sup>	0,0001	0,0021	ns (0,31)
MG	2,1 <sup>a</sup>	0,99 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	ns (0,13)
Protéines	15,33 <sup>a</sup>	10,22 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	0,003
NDF	17,85 <sup>b</sup>	66,18 <sup>a</sup>	0,0001	ns (0,11)	ns (0,998)
ADF	7,75 <sup>b</sup>	44,1 <sup>a</sup>	0,0001	*(0,05)	ns (0,999)
ADL	4,43 <sup>b</sup>	13,94 <sup>a</sup>	0,0001	*0,016	ns (0,58)
Ca g/kg	12,23 <sup>a</sup>	7,28 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	ns (0,54)
P g/kg	2,65	2,43	ns (0,42)	0,0067	*0,03
Ca/P	5,72	4,16	ns (0,09)	0,0063	ns (0,061)
Mn mg/kg	40,02 <sup>a</sup>	15,06 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	ns (0,776)
Cu	7,27 <sup>b</sup>	8,24 <sup>a</sup>	0,02	ns (0,36)	ns (0,133)

**5-A-3°-2/ - Effet de la période de prélèvement sur la composition chimique de *Salsola vermiculata*:**

Le tableau 5 montre également que seules les teneurs en fibres neutres NDF ont des valeurs comparables en fonction de la période de prélèvement ( $p < 0,11$ ), (8 mois pendant l'année) et en fonction de la saison ( $p < 0,998$ ).

L'effet de la saison ne se fait ressentir que sur la teneur en phosphore ( $p < 0,03$ ). Ainsi comme pour *Atriplex halimus*, les principaux constituants organiques ou minéraux changent d'une période de prélèvement à une autre mais restent insérés dans une matière fibreuse d'NDF qui varie peu ( $p < 0,11$ ) avec la période de prélèvement ou pas du tout d'une saison à une autre ( $p < 0,998$ ), ceci en observant que les feuilles et les tiges ont des compositions chimiques différentes sauf pour le phosphore et le rapport Ca/P.

**Taux de la matière sèche:**

Le tableau 6 montre que les feuilles de *Salsola* ont un taux élevé en MS en mois de juillet ainsi que pour les tiges avec un taux de 35,57% MF (tableau 7).

La teneur la plus basse est observée durant le mois d'avril pour les feuilles et les tiges.

## **Résultats et discussions**

---

La période de prélèvement a un effet hautement significatif sur le taux de MS, le coefficient de variation est de 8,92% avec une moyenne de 23,90 g de MS/100g de MF.

Nous constatons que les valeurs obtenues dans notre étude sont comparables à celles des feuilles des plantes méditerranéennes: 20-53,3% MF (Ammar et al., 2005).

### **Taux de matières organique et minérale:**

Le tableau 6 montre que les feuilles de *Salsola* représentent un taux élevé en MO au mois de février (76,22% MS), avec un taux plus bas en juin et juillet (42,30-42,96%). Pour les tiges et comme le montre le tableau 7 le taux le plus élevé en matière organique est observé au mois de février (92,62% MS), le plus bas est observé au mois de novembre (88,38% MS). Le taux de la MM et de la MO sont liés d'une manière inverse.

Avec une moyenne de 42,05% MS en matière minérale totale les feuilles de *Salsola* présentent un taux très élevé par rapport à celui des plantes africaines (Ghana) d'après (Apori et al., 1998) et ont des valeurs plus basses que cette moyenne (5,29-16,6% MS) et cela peut être expliqué par la nature halophyte de cette espèce ainsi que le type de sol des régions arides.

### **Taux de cendres insolubles:**

Les feuilles présentent des taux plus élevés en cendres insolubles que les tiges; c'est durant mars et novembre que le taux est le plus élevé pour les feuilles (4,10 – 4,16% MS), et au mois de mars pour les tiges. (tableau 7).

Pour les taux les plus bas c'est au mois de février pour les feuilles (0,83% MS) et au mois de janvier pour les tiges (0,23% MS) avec un coefficient de variation de 44,35% autour d'une moyenne de 0,84g /100g MS.

### **Taux de matière grasse:**

Le taux de matière grasse est significativement élevé pour les feuilles de *Salsola*, (tableau 6). Ce taux est plus élevé au mois de janvier-juin (3,03-2,58% MS), les tiges ont des taux moins élevés que les feuilles, ces taux sont au maximum aux mois de janvier-juillet (1,44-1,71% MS) comme le montre le tableau 7.

Les taux les moins élevés sont observés au mois de février (1,58% MS) pour les feuilles et c'est au mois de mars que les tiges ont un taux bas en matière grasse (0,41% MS).

### **Taux de matière azotées totales:**

## **Résultats et discussions**

---

Les feuilles de *Salsola vermiculata* présentent un taux des protéines brutes significativement plus élevé que celui des tiges. (tableaux 6-7)

Le taux des matières azotées totales est élevé durant presque tout les mois de la période de prélèvement avec des taux les plus élevés aux mois de février-décembre (18,93-18,43% MS) elle se rapproche de celle de la luzerne pérenne (19,3% MS, INRA,1988).

La valeur la plus basse est observée au mois de juillet (9,82% MS), tableau 6 pour les tiges. Pour le taux de matière azotée totale qui varie peu durant tout les mois, il est élevé aux mois d'avril-mars (11,89-11,66% MS) avec une valeur plus basse notée au mois de juillet (6,31% MS), tableau 7 pour les feuilles.

En comparaison avec les matières azotées totales des feuilles de luzerne (Blain, 1992) est qui se situe entre 22,5-31,87% MS nous notons que *Salsola vermiculata* a des feuilles avec un taux plus bas que celui de cette légumineuse durant toutes les périodes de son prélèvement.

Les tiges aussi ont des valeurs en MAT plus faible que celles de cette légumineuse dont les valeurs de ses tiges sont de 8,75-16,25% MS.

Mais en comparaison avec les feuilles des plantes des région méditerranéennes nous notons des valeurs en MAT supérieures à ces plantes (Gasmi et al., 2005).

### **Taux en fibres:**

Le tableau 5 montre que les tiges de *Salsola* ont des taux significativement plus élevés en fibres que les feuilles, avec des taux élevés en fibres neutres (NDF), en fibres acides (ADF) ainsi qu'en lignine.

La période de prélèvement a un effet significatif sur tous les types de fibres chez les tiges comme chez les feuilles. Pour les feuilles les taux les plus élevés sont notés au mois de février (23,96 pour les NDF, 11,20 pour les ADF et 5,98% MS pour la lignine), avec les taux les plus bas eu mois de juin (14,62 pour les NDF, 5,98 pour les ADF et 2,16% MS pour la lignine), le coefficient de variation est de 19,36% autour d'une moyenne de 4,43g/kg MS. Les fibres neutres des tiges ont des taux élevés durant toute la période de prélèvement avec des niveaux constant qui deviennent plus bas au mois d'avril (tableau 7). Le taux de lignine est significativement le plus élevé au mois de mai (36,44% MS) et le plus bas au mois d'avril (8,9% MS).

Si nous prenons comme référence les résultats obtenus pour certaines plantes africaines nous constatons que les fibres neutres des feuilles de *Salsola* restent inférieurs à celles de

## **Résultats et discussions**

---

ces plantes (Apori et al. 1998) ces taux sont (36,0-60,6% MS) contre (23,96% MS) pour les feuilles de *Salsola*.

### **Les constituants minéraux:**

Globalement, les feuilles et les tiges de *Salsola* ont des contenus en P et des rapports Ca/P comparables mais différents par le contenu en Ca et Mn. Pour le Ca et le Mn les feuilles sont plus riches (tableau 5), le Cu était plus abondant dans les tiges.

Aussi bien dans les feuilles que dans les tiges, les taux de tous les minéraux sont affectés par la période de prélèvement (tableaux 6 et 7).

### **5-A-3°-3 /- Etude de l'effet de la saison (tableaux 6 et 7) sur la composition chimique de *Salsola vermiculata*:**

Pour les feuilles de *Salsola vermiculata*, seuls certains constituants ne sont pas affectés par la saison et maintiennent donc des teneurs comparables d'une saison à une autre: c'est le cas pour les cendres insolubles, la MG, les fibres lignocellulosiques, la lignine, le Ca, le rapport Ca/P et le Mn. Pour les tiges, la saison affecte de façon significative les teneurs en MS, la MG, les MAT et les NDF. Tous les autres constituants représentent des teneurs comparables d'une saison à une autre. Les moyennes sont donc une bonne indication de leur composition le long de l'année.

Tableau 6- Evolution des coefficients (% MS) des feuilles de Salsola vermiculata et tige de la période de prélevement de Bafraou,.

	MS	MM	MO	MS	MG	Prot	NDFc	ADFc	ADLc	CS	P	CaP	IN	CU
<b>Facteur 1</b>														
<b>Période de prélevement</b>														
Jan	21,93 <sup>a</sup>	44,89 <sup>a</sup>	55,11 <sup>a</sup>	2,90 <sup>ab</sup>	3,03 <sup>a</sup>	17,49 <sup>ab</sup>	18,12 <sup>a</sup>	6,79 <sup>a</sup>	4,34 <sup>ab</sup>	13,80 <sup>a</sup>	3,59 <sup>a</sup>	3,93 <sup>a</sup>	51,21 <sup>a</sup>	8,59 <sup>a</sup>
Fév	25,84 <sup>a</sup>	23,77 <sup>a</sup>	76,22 <sup>a</sup>	0,83 <sup>a</sup>	1,58 <sup>a</sup>	18,99 <sup>a</sup>	23,96 <sup>a</sup>	11,20 <sup>a</sup>	5,98 <sup>a</sup>	10,17 <sup>a</sup>	2,33 <sup>ab</sup>	4,39 <sup>a</sup>	38,69 <sup>a</sup>	8,57 <sup>a</sup>
Mars	20,14 <sup>a</sup>	32,11 <sup>a</sup>	57,89 <sup>a</sup>	4,10 <sup>a</sup>	1,64 <sup>a</sup>	18,34 <sup>a</sup>	17,97 <sup>a</sup>	8,52 <sup>a</sup>	5,89 <sup>a</sup>	10,89 <sup>a</sup>	3,44 <sup>a</sup>	3,19 <sup>a</sup>	32,89 <sup>a</sup>	7,42 <sup>ab</sup>
Avr	16,82 <sup>a</sup>	38,77 <sup>a</sup>	61,22 <sup>a</sup>	2,11 <sup>ab</sup>	1,89 <sup>ab</sup>	16,99 <sup>a</sup>	16,84 <sup>ab</sup>	7,53 <sup>ab</sup>	4,59 <sup>ab</sup>	12,09 <sup>ab</sup>	0,90 <sup>a</sup>	13,60 <sup>a</sup>	51,18 <sup>a</sup>	7,19 <sup>ab</sup>
Mai	20,09 <sup>a</sup>	45,01 <sup>a</sup>	54,99 <sup>a</sup>	2,32 <sup>ab</sup>	1,71 <sup>a</sup>	12,20 <sup>a</sup>	18,71 <sup>a</sup>	7,36 <sup>ab</sup>	4,44 <sup>ab</sup>	12,19 <sup>ab</sup>	2,99 <sup>a</sup>	4,20 <sup>a</sup>	31,69 <sup>a</sup>	6,89 <sup>ab</sup>
Juin	20,18 <sup>a</sup>	57,70 <sup>a</sup>	42,20 <sup>a</sup>	2,79 <sup>ab</sup>	2,58 <sup>ab</sup>	10,09 <sup>a</sup>	14,62 <sup>a</sup>	5,99 <sup>a</sup>	2,18 <sup>a</sup>	12,01 <sup>ab</sup>	1,57 <sup>ab</sup>	7,68 <sup>a</sup>	37,98 <sup>a</sup>	6,17 <sup>a</sup>
Juil	26,57 <sup>a</sup>	57,04 <sup>a</sup>	42,96 <sup>a</sup>	3,71 <sup>ab</sup>	2,39 <sup>ab</sup>	9,82 <sup>a</sup>	15,23 <sup>a</sup>	7,07 <sup>ab</sup>	4,03 <sup>ab</sup>	12,60 <sup>ab</sup>	1,79 <sup>ab</sup>	7,26 <sup>a</sup>	28,87 <sup>a</sup>	5,23 <sup>a</sup>
Nov	22,99 <sup>a</sup>	41,60 <sup>a</sup>	58,39 <sup>a</sup>	4,16 <sup>a</sup>	1,86 <sup>ab</sup>	16,24 <sup>a</sup>	17,41 <sup>ab</sup>	7,91 <sup>a</sup>	3,60 <sup>ab</sup>	14,09 <sup>a</sup>	3,62 <sup>a</sup>	3,89 <sup>a</sup>	47,29 <sup>a</sup>	8,24 <sup>ab</sup>
Déc	22,01 <sup>a</sup>	37,59 <sup>a</sup>	62,42 <sup>a</sup>	2,37 <sup>ab</sup>	2,25 <sup>ab</sup>	18,34 <sup>a</sup>	17,78 <sup>a</sup>	7,39 <sup>ab</sup>	4,81 <sup>ab</sup>	12,14 <sup>ab</sup>	3,72 <sup>a</sup>	3,30 <sup>a</sup>	38,52 <sup>a</sup>	7,23 <sup>a</sup>
<b>Moyenne</b>														
DFc	0,0001	0,0001	0,0001	0,041	0,026	0,0001	0,0001	0,0001	0,04	0,0021	0,0005	0,0001	0,001	0,0054
CV	8,92	1,60	1,16	28,92	16,40	3,04	4,45	2,36	19,36	4,89	15,89	17,15	2,87	8,44
<b>Saison</b>														
Ete	23,89 <sup>a</sup>	57,37 <sup>a</sup>	42,63 <sup>a</sup>	3,23	2,47	9,94 <sup>ab</sup>	14,99 <sup>a</sup>	6,53	3,10	12,04	1,68 <sup>a</sup>	7,47	33,42	5,70 <sup>a</sup>
Aut	22,99 <sup>a</sup>	41,60 <sup>a</sup>	58,40 <sup>a</sup>	4,16	1,86	16,24 <sup>a</sup>	17,41 <sup>ab</sup>	7,91	3,60	14,09	3,62 <sup>a</sup>	3,89	47,29	8,24 <sup>ab</sup>
Hiver	23,29 <sup>a</sup>	36,41 <sup>a</sup>	64,99 <sup>a</sup>	2,03	2,29	18,29 <sup>a</sup>	19,99 <sup>a</sup>	8,44	5,05	12,04	3,22 <sup>ab</sup>	3,88	43,46	8,12 <sup>a</sup>
Print	19,02 <sup>a</sup>	38,63 <sup>a</sup>	61,37 <sup>a</sup>	2,84	1,75	15,70 <sup>a</sup>	17,84 <sup>ab</sup>	7,80	4,96	11,72	2,42 <sup>ab</sup>	7,00	38,57	7,14 <sup>a</sup>
<b>Moyenne</b>														
DFc	0,0001	0,0012	0,0012	0,122	0,122	0,0001	0,016	0,24	0,036	0,141	0,05	0,23	0,128	0,0006
CV	8,92	15,96	11,67	28,33	23,10	11,57	11,41	17,67	23,71	9,50	33,62	35,68	18,34	9,68

Tableau 7- Evolution des coefficients (% MS) des types de Saisies verticales et fonction de lapériode de prélevementet de Batakou .

	MS	MM	MO	MS	MG	Prot	MDS	ADFS	ADLS	CS	P	CS/P	MM	CU
<b>Prélevement</b>														
<b>Période de prélevement</b>														
JAN	21,93	9,82 <sup>a</sup>	90,18 <sup>a</sup>	0,23 <sup>a</sup>	1,44 <sup>ab</sup>	11,67 <sup>a</sup>	66,34 <sup>a</sup>	43,80 <sup>a</sup>	13,42 <sup>a</sup>	6,63	1,36	4,87	14,84	8,20 <sup>a</sup>
Fév	26,84 <sup>a</sup>	7,38 <sup>a</sup>	92,62 <sup>a</sup>	0,66 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>	9,43 <sup>ab</sup>	66,17 <sup>a</sup>	42,07 <sup>a</sup>	9,96 <sup>a</sup>	4,97	3,33	1,49	11,43	6,73 <sup>a</sup>
MAR	20,14 <sup>a</sup>	7,94 <sup>a</sup>	92,06 <sup>a</sup>	2,56 <sup>a</sup>	0,44 <sup>a</sup>	11,66 <sup>a</sup>	68,40 <sup>a</sup>	47,48 <sup>ab</sup>	10,06 <sup>a</sup>	5,48	3,58	1,53	12,28	8,37 <sup>a</sup>
AVR	16,82	11,04 <sup>a</sup>	88,96 <sup>a</sup>	0,89 <sup>a</sup>	0,83 <sup>ab</sup>	11,89 <sup>a</sup>	61,67 <sup>a</sup>	37,91 <sup>a</sup>	8,90 <sup>a</sup>	9,34	2,44	3,82	20,67	8,05 <sup>a</sup>
Mai	20,02 <sup>a</sup>	11,58 <sup>a</sup>	88,42 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>	0,92 <sup>abc</sup>	10,11 <sup>ab</sup>	67,45 <sup>a</sup>	44,83 <sup>ab</sup>	36,44 <sup>a</sup>	7,11	3,54	2,01	12,94	9,27 <sup>a</sup>
JUN	30,16 <sup>a</sup>	10,91 <sup>a</sup>	89,09 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>	0,94 <sup>abc</sup>	8,68 <sup>a</sup>	66,54 <sup>a</sup>	44,58 <sup>ab</sup>	11,50 <sup>a</sup>	7,16	2,53	2,88	16,02	7,50 <sup>a</sup>
JUL	36,67 <sup>a</sup>	8,04 <sup>a</sup>	91,96 <sup>a</sup>	0,67 <sup>a</sup>	1,71 <sup>a</sup>	6,31 <sup>a</sup>	72,16 <sup>a</sup>	49,91 <sup>a</sup>	12,29 <sup>a</sup>	8,32	0,67	13,36	13,74	9,38 <sup>a</sup>
NOV	22,56 <sup>a</sup>	11,61 <sup>a</sup>	88,38 <sup>a</sup>	1,08 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>	10,80 <sup>ab</sup>	62,62 <sup>a</sup>	44,27 <sup>ab</sup>	12,99 <sup>a</sup>	9,04	2,24	4,02	18,82	9,59 <sup>a</sup>
DEC	22,01 <sup>a</sup>	9,12 <sup>a</sup>	90,87 <sup>a</sup>	0,59 <sup>a</sup>	1,36 <sup>abc</sup>	11,46 <sup>a</sup>	66,22 <sup>a</sup>	42,05 <sup>a</sup>	9,88 <sup>a</sup>	7,49	2,15	3,48	14,74	8,06 <sup>a</sup>
<b>Moyenne</b>	23,90	9,71	90,28	0,84	0,99	10,22	66,18	44,10	13,94	7,28	2,43	4,16	15,06	8,24
<b>écart</b>	0,0001	0,0001	0,0001	0,004	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0021	0,0001	0,0115
CV	8,92	4,11	0,44	44,36	17,23	3,57	1,41	2,44	9,97	5,60	9,10	42,33	4,61	8,84
<b>Saison</b>														
<b>Ete</b>	32,88 <sup>a</sup>	9,47	90,52	0,53	1,33 <sup>a</sup>	7,50 <sup>a</sup>	69,35 <sup>a</sup>	47,26	11,89	7,74	1,60	8,11	14,88	8,44
<b>Aut</b>	22,56 <sup>a</sup>	11,61	88,38	1,08	0,56 <sup>a</sup>	10,80 <sup>a</sup>	62,62 <sup>a</sup>	44,27	12,99	9,04	2,24	4,02	18,82	9,59
<b>Hiver</b>	23,26 <sup>a</sup>	8,77	91,22	0,49	0,19 <sup>ab</sup>	10,88 <sup>a</sup>	66,58 <sup>ab</sup>	42,64	11,06	6,36	2,28	3,28	13,67	7,33
<b>Print</b>	19,02 <sup>a</sup>	10,19	89,81	1,32	0,72 <sup>ab</sup>	11,22 <sup>a</sup>	66,88 <sup>ab</sup>	43,41	18,47	7,31	3,19	2,45	15,30	8,56
<b>Moyenne</b>	23,90	9,71	90,28	0,84	0,99	10,22	66,18	44,10	13,94	7,28	2,43	4,16	15,06	8,24
<b>écart</b>	0,0001	0,17	0,16	0,18	0,03	10,67	0,05	0,19	0,47	0,121	0,06	0,097	0,21	0,1
CV	8,92	16,42	1,66	80,26	36,01	0,70	3,91	7,18	60,8	18,13	39,90	79,96	18,77	13,6

### 5-A-4° / - Analyse de la composition de *Sueada mollis* :

De même que pour *Atriplex halimus* et *Salsola vermiculata*, les feuilles de *Sueada mollis* sont plus riches en matière minérales, en MAT mais plus pauvres en fibres de tout types ( $p < 0,05$ ), comme on peut le remarquer à partir du tableau 8, il en est de même pour la teneur en P et en Mn.

Ainsi les tiges de *Sueada* sont :

2,2 fois plus pauvres en MAT (20 contre 9,1% MS);

3,4 fois plus riches en fibres NDF (69,54 contre 20,46 % MS);

5,8 fois plus riches en fibres ADF (46,33 contre 7,92% MS);

2 fois plus riches en lignine acide ADL (10,37 contre 5,14% MS), et présentent un meilleur rapport Ca/P (5,44 contre 3,65).

Toutefois, les feuilles sont  $(42,29/17,40) = 2,4$  fois plus riche en Mn et 2,16 fois plus riches en MM que les tiges.

On peut remarquer aussi que seules les cendres insolubles et la teneur en Ca sont comparables entre tiges et feuilles ( $p < 0,05$ ), tableau 8.

### 5-A-4°-1 / - Effet de la période de prélèvement :

La MM, la MO, les cendres insolubles et les fibres ADF ne sont pas affectées de manière significative par la période de prélèvement ni par la saison, contrairement à MF, MAT, NDF, ADL, Ca, P, Mn et Ca/P. tableau 8.

## Résultats et discussions

<b>Tableau 8:</b> Composition chimique (en % de MS) des feuilles et des tiges de l'arbuste <i>Sueada mollis</i> .					
	<b>SUEADA</b>		<b>Effets</b>		
Constituants	Feuilles	Tig	Morf	Per	Sais
MS (%MF)	21,28	21,28		0,0001	0,0001
MM	29,27 <sup>a</sup>	13,53 <sup>b</sup>	0,0001	ns (0,84)	ns (0,88)
MO	70,73 <sup>b</sup>	86,47 <sup>a</sup>	0,0001	ns (0,84)	ns (0,88)
CEND INS	1,65	1,27	ns (0,41)	ns (0,25)	ns (0,21)
MG	2,13	0,96	0,0001	ns (0,61)	ns (0,66)
Protéines	20 <sup>a</sup>	9,1 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	ns (0,50)
NDF	20,46 <sup>b</sup>	69,54 <sup>a</sup>	0,0001	0,0003	ns (0,97)
ADF	7,92 <sup>b</sup>	46,33 <sup>a</sup>	0,0001	ns (0,088)	ns (0,60)
ADL	5,14 <sup>b</sup>	10,37 <sup>a</sup>	0,0001	*(0,042)	ns (0,43)
Ca g/kg	6,95	7,42	ns (0,173)	0,0001	0,0001
P g/kg	2,13 <sup>a</sup>	1,39 <sup>b</sup>	0,0002	0,028	0,0034
Ca/P	3,65 <sup>b</sup>	5,44 <sup>a</sup>	0,0002	*0,0187	ns (0,163)
Mn mg/kg	42,29 <sup>a</sup>	17,4 <sup>b</sup>	0,0001	0,0001	ns (0,53)
Cu mg/kg	10,88 <sup>a</sup>	8,27 <sup>b</sup>	0,0001	0,0146	0,0005

### 5-A-4°-2/- Etude de l'effet de la période de prélèvement sur la composition chimique de *Sueada mollis*:

#### Taux de la matière sèche:

Les tableaux 9 et 10 montrent que le taux de la matière sèche est élevé au mois de juillet (30,37% MF), aussi bien pour les feuilles que pour les tiges de *Sueada*. Ainsi ils montrent un effet hautement significatif durant tout les mois et cela traduit l'effet significatif de la saison.

Les valeurs les plus basses sont observées au mois de janvier (15,30% MF) avec une moyenne saisonnière de 21,28g MS/ 100g MF et un coefficient de variation de 8,65%, cette moyenne reste inférieure à celle d'*Atriplex nummularia* prélevée d'une région semi aride de la Tunisie (27,0% MF, Bensalem et al., 2002).

#### Taux de matière organique et minérale:

Comme *Atriplex halimus* et *Salsola vermiculata* les taux de MO et MM sont inversement liés (tableaux 9-10).

Le tableau 9 montre que le taux le plus élevé en MO est observé au mois de mai (90,61% MS) pour les feuilles de *Sueada*, par contre la teneur la plus basse est celles du mois de

## **Résultats et discussions**

---

juin (61,96% MS), elles se rapprochent des valeurs des plantes de zone sub-saharienne (90,3% MS) trouvé par Elhassan et al (2000).

La MM a un taux élevé au mois de juin (38,04% MS), quant au plus bas c'est celui du mois de mai (9,39% MS).

Le tableau 10 présente les taux de la MO et la MM des tiges de *Sueada* qui sont élevés au mois de juillet (93,19% MS) pour la MO avec un taux plus bas au mois de mai (57,42% MS).

Les tiges de *Sueada* ont des teneurs plus élevées en MM au mois de mai (42,57% MS) et les moins élevées au mois de juillet (6,81% MS).

La période de prélèvement a un effet hautement significatif sur les taux de la MM et la MO des feuilles et des tiges de *Sueada*.

La saison n'a pas d'effet sur la teneur en MM et MO des feuilles ainsi que des tiges, le coefficient de variation est de 32,26% pour la MM des feuilles avec une moyenne de 29,27g/100g MS, cette teneur est plus élevée en été (33,07% MS), par contre les tiges durant l'été ont le % MM le plus faible (7,77% MS).

### **Taux des cendres insolubles:**

Les tableaux 9 et 10 montrent que le taux des cendres insolubles des feuilles chez *Sueada mollis* est élevés au mois de mars (4,70% MS) et faible au mois de mai (0,39% MS). Les tiges ont des teneurs élevées au mois de juin (4,45% MS) et plus faible au mois de février (0,09% MS).

La période de prélèvement a un effet significatif sur la teneur en cendres insolubles pour les deux parties: feuilles et tiges avec un coefficient de variation de 18,11% et une moyenne autour de 1,27g/100g de MS pour les tiges.

La saison n'a aucun effet significatif sur les cendres insolubles des feuilles et des tiges, nous observons au printemps la valeur la plus élevée (2,68% MS) pour les feuilles et la plus basse pour les tiges (0,39% MS).

### **Taux de matière grasse:**

Les taux de la matière grasse est élevé d'une manière significative pour les feuilles de *Sueada* (tableau 9) il est plus élevé au mois de février (3,14% MS), et moins élevé au mois de mars (1,60% MS). La matière grasse des feuilles de cette plante est plus élevée que celle de Seigle (1,7%, cité par Fontaine, 1995).

## **Résultats et discussions**

---

Les tiges ont le taux le plus élevé au mois de novembre (2,03% MS) et le plus bas au mois de décembre (0,70% MS) (tableau 10).

Selon le tableau 10 la période de prélèvement a un effet significatif sur la matière grasse des tiges de *Sueada*, ainsi que la saison avec un taux élevé en automne (2,03% MS) et faible en hiver-printemps (0,72% MS).

### **Taux de matières azotées totales:**

Les feuilles de *Sueada* ont des valeurs de protéines brutes significativement plus élevées que pour les tiges (tableau 8).

La teneur en MAT des feuilles est élevée aux mois de novembre-décembre (23,64-23,23% MS), la teneur la plus faible est observée au mois de janvier (17,11% MS).

La période de prélèvement a un effet significatif sur la teneur en MAT des feuilles, ainsi que la saison où nous notons une valeur maximale en automne (23,23% MS).

La période de prélèvement et la saison ont un effet significatif pour le taux des MAT des tiges de *Sueada mollis*, le taux élevé est celui d'automne (11,83% MS) et le plus bas c'est celui d'été (7,72% MS).

*Sueada*, plante entière, a une valeur en MAT de (14,55% MS) cette valeur peut être comparée à celle des graminées qui se situe entre (10,62-19,37% MS) (Jean Blain, 1991-1992). Mais les tiges de cette espèce ont des taux plus élevés que celle des tiges des graminées avec une valeur maximale de (11,83% MS).

La valeur minimale des MAT des feuilles chez *Sueada* est supérieure à celle des limbes des légumineuses cependant leurs valeurs maximales restent toujours inférieures à celles de ces limbes (23,64% contre 25% MS), et supérieures à celle de la vesce-avoine qui est 7,1% MS (Kayouli et al., 1993).

### **Taux de fibres:**

Comme pour les deux arbustes analysés précédemment, les tiges de *Sueada* sont plus fibreuses que les feuilles, avec des taux significativement élevés (tableau 10).

Nous constatons que les fibres des tiges ont des taux élevés presque durant toute l'année.

La valeur la plus élevée est observée au mois de juillet (76,10% MS pour les NDF), au mois de juin (53,34% MS pour les ADF) et au mois de mars pour la lignine (12,41% MS).

En prenant les résultats de Haddi et al (2003) comme référence nous constatons que *Sueada mollis* présente un taux d'ADF de (31,8% MS) au mois de juin c'est-à-dire que le

## **Résultats et discussions**

---

taux trouvé dans notre étude est très élevée par rapport à cette valeur, l'ADL aussi est plus élevée que celles décrite par Haddi et al (2003). Au mois de mars la même plante de la même région présentait (8,5% MS).

L'effet de la période de prélèvement et de la saison est significatif sur l'ensemble des constituants fibreux des tiges, le taux le plus élevé est constaté en été pour tous ces constituants (76,01% MS pour les NDF, 51,87% MS pour les ADF et 11,25% MS pour la lignine).

Les valeurs des NDF sont supérieures à celle des arbustes (plantes entières) de Nigeria qui ont des teneurs allant de 27,0 à 22,1% MF (Fievez et al, 2005).

Quant aux valeurs faibles en lignine, les tiges présentent une valeur de 7,78% MS au mois de décembre.

Le taux de fibres est moins élevé pour les feuilles (tableau 9): pour les NDF le taux le plus élevé correspond au mois de décembre (29,31% MS), le mois d'avril représente la période où la lignine est élevée (7,96% MS). La valeur la plus faible est observée pour les ADF au mois de février (5,56% MS) avec un taux élevé au mois d'avril (13,55% MS).

La période de prélèvement a un effet hautement significatif sur l'ensemble des fibres des feuilles de *Sueada*, le coefficient de la variation pour les ADL (lignine) est de 15,87% autour d'une moyenne de 5,14g/100g MS qui est nettement supérieure de celle de l'orge, le seigle et du blé qui sont respectivement: 3,5-2,1 et 1,9% MS selon Bach Knudsen (2001).

### **Taux de constituants minéraux:**

Le tableau 9 montre que les feuilles de *Sueada* ont un taux élevé en Mn au mois de décembre (70,70 g/kg de MS) taux est plus élevé que celui des tiges (24,47g/kg).

Pour les feuilles le taux de P est élevé au mois de février (4,15g/kg), il est le moins élevé au mois de juin (1,03g/kg), ces valeurs sont optimales pour l'entretien d'une vache laitière (600kg PV) mais restent faibles pour la production laitière (Paragon, 1984).

Les tiges ont des teneurs plus faibles en P que celles des feuilles avec des valeurs élevées au mois de mars (1,91g/kg) et une valeur plus basse au mois de juin (0,97g/kg).

Le rapport Ca/P est plus élevé chez les tiges avec des teneurs en Ca qui ne représentent pas une grande différence avec celle des feuilles.

Le Ca est élevé dans les feuilles au mois de mars (11,93g/kg) et faible au mois de décembre (4,12g/kg), en référence avec celles du *Ray-grass* (8,7g/kg) nous constatons que les feuilles de *Sueada* sont plus riches en calcium (Paragon, 1984).

## **Résultats et discussions**

---

Alors que chez les tiges la valeur la plus élevée est au mois de janvier (10,85g/kg), la plus faible est celle de juillet (3,99g/kg), en comparaison avec les tiges du même *Ray-grass* nous constatons que cette valeur est la plus élevée.

La période de prélèvement a un effet significatif pour tous les minéraux chez les feuilles et les tiges de *Sueada*, sauf pour le Ca/P des feuilles. Nous constatons aussi que le P des feuilles représente une moyenne de 2.13g/100g MS avec un coefficient de variation de 20.50%.

La saison n'a d'effet significatif que pour le Cu des feuilles et des tiges ainsi que pour les taux de P des feuilles comme le montre le tableau 9.

Tableau 9- Evolution des coefficients de MSQ des feuilles de *Syzygium molle* et teneur de la période de prélevement de basakou,

	MS	MM	MO	MS	MG	Prot	NDFa	ADFa	ADUG	CS	P	CaP	MO	CU
<b>Facteur1</b>														
<b>Période de prélevement</b>														
JAN	15.30 <sup>a</sup>	34.62 <sup>a</sup>	65.37 <sup>a</sup>	2.17 <sup>a</sup>	2.38	17.11 <sup>a</sup>	16.54 <sup>a</sup>	657 <sup>aaa</sup>	321 <sup>a</sup>	951 <sup>b</sup>	259 <sup>a</sup>	354	35.49 <sup>a</sup>	13.16 <sup>a</sup>
Fev	19.26 <sup>a</sup>	33.61 <sup>a</sup>	65.38 <sup>a</sup>	0.78 <sup>aa</sup>	3.14	21.29 <sup>a</sup>	17.29 <sup>a</sup>	556 <sup>a</sup>	335 <sup>a</sup>	961 <sup>b</sup>	419 <sup>a</sup>	238	43.71 <sup>b</sup>	11.69 <sup>ab</sup>
MAR	16.76 <sup>a</sup>	36.17 <sup>a</sup>	64.17 <sup>a</sup>	4.17 <sup>a</sup>	1.60	18.82 <sup>a</sup>	22.83 <sup>a</sup>	743 <sup>a</sup>	498 <sup>ab</sup>	11.99 <sup>a</sup>	240 <sup>a</sup>	506	32.41 <sup>a</sup>	8.59 <sup>a</sup>
AVR	18.52 <sup>a</sup>	34.88 <sup>a</sup>	65.14 <sup>a</sup>	2.94 <sup>a</sup>	2.02	19.07 <sup>a</sup>	19.24 <sup>a</sup>	13.51 <sup>a</sup>	799 <sup>a</sup>	7.61 <sup>a</sup>	1.69 <sup>a</sup>	466	32.37 <sup>a</sup>	10.89 <sup>a</sup>
Mai	20.76 <sup>a</sup>	9.39 <sup>a</sup>	90.61 <sup>a</sup>	0.39 <sup>a</sup>	2.30	17.74 <sup>a</sup>	13.21 <sup>a</sup>	706 <sup>aaa</sup>	314 <sup>a</sup>	596 <sup>a</sup>	144 <sup>a</sup>	412	21.78 <sup>a</sup>	11.87 <sup>ab</sup>
JUN	27.36 <sup>a</sup>	36.04 <sup>a</sup>	61.99 <sup>a</sup>	0.95 <sup>aa</sup>	1.70	18.89 <sup>a</sup>	26.68 <sup>a</sup>	999 <sup>a</sup>	7.89 <sup>a</sup>	490 <sup>a</sup>	103 <sup>a</sup>	494	44.49 <sup>b</sup>	7.50 <sup>b</sup>
JUL	30.37 <sup>a</sup>	28.11 <sup>a</sup>	71.89 <sup>a</sup>	1.09 <sup>a</sup>	1.94	20.50 <sup>a</sup>	17.29 <sup>a</sup>	580 <sup>aa</sup>	382 <sup>a</sup>	457 <sup>a</sup>	140 <sup>a</sup>	399	45.39 <sup>b</sup>	7.37 <sup>b</sup>
NOV	23.67 <sup>a</sup>	28.14 <sup>a</sup>	71.89 <sup>a</sup>	0.71 <sup>aa</sup>	1.68	23.29 <sup>a</sup>	21.76 <sup>a</sup>	747 <sup>aa</sup>	543 <sup>ab</sup>	437 <sup>a</sup>	173 <sup>a</sup>	268	43.43 <sup>b</sup>	13.99 <sup>a</sup>
Dec	19.52 <sup>a</sup>	20.65 <sup>a</sup>	79.34 <sup>a</sup>	0.56 <sup>aa</sup>	2.39	23.64 <sup>a</sup>	29.31 <sup>a</sup>	7.84 <sup>a</sup>	647 <sup>ab</sup>	412 <sup>a</sup>	258 <sup>a</sup>	155	70.70 <sup>b</sup>	13.52 <sup>a</sup>
<b>MOYENNE</b>														
erreur	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.07	0.0001	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001	0.0013	0.075	0.0001	0.0001
<b>Cv</b>														
	1.48	0.61	0.61	12.02	19.15	27.2	4.54	6.60	15.87	3.14	20.5	28.77	4.3	6.43
<b>Bal non</b>														
ER	28.86 <sup>a</sup>	33.07	66.92	1.02	1.82	19.54 <sup>ab</sup>	21.98	7.90	5.84	4.74	1.21 <sup>a</sup>	4.48	44.89	7.43 <sup>a</sup>
AVT	23.67 <sup>a</sup>	28.14	71.85	0.71	1.68	23.29 <sup>a</sup>	21.76	6.66	5.43	4.37	1.73 <sup>a</sup>	2.68	43.43	13.99 <sup>a</sup>
HWAT	18.03 <sup>a</sup>	29.63	70.37	1.35	2.64	20.69 <sup>ab</sup>	21.05	9.34	4.35	7.75	3.17 <sup>a</sup>	2.47	50.31	12.78 <sup>a</sup>
Print	18.69 <sup>a</sup>	26.75	73.25	2.68	1.97	18.54 <sup>a</sup>	18.43	7.92	5.36	8.5	1.83 <sup>a</sup>	4.62	32.16	10.37 <sup>a</sup>
<b>MOYENNE</b>														
erreur	0.0001	0.77	0.77	0.172	0.026	0.050	0.71	29.77	0.69	0.063	0.0016	0.0105	0.082	0.0001
<b>Cv</b>														
	8.65	32.26	13.36	80.58	21.01	9.63	25.97	29.77	40.12	33.94	30.1	29.1	26.44	10.9

Tableau 10- Evolution des constantes (% MS) des types de Sarcosid mollis et torçion de la période de prélevement de la saison,

	MS	MM	MO	MS	MG	Prot	MDFA	ADFA	ADUG	CA	P	CA/P	MO	CU
<b>Facteur 1</b>														
<b>Période de prélevement</b>														
JAN	15.30 <sup>a</sup>	13.35 <sup>a</sup>	36.64 <sup>a</sup>	0.29 <sup>a</sup>	0.17 <sup>a</sup>	9.780	64.85 <sup>a</sup>	36.55 <sup>a</sup>	8.43 <sup>a</sup>	10.85 <sup>a</sup>	1.55 <sup>a</sup>	7.10 <sup>a</sup>	14.15 <sup>a</sup>	10.17 <sup>a</sup>
Fev	19.26 <sup>a</sup>	12.28 <sup>a</sup>	57.72 <sup>a</sup>	0.09 <sup>a</sup>	0.29 <sup>a</sup>	10.260	63.87 <sup>a</sup>	36.09 <sup>a</sup>	10.82 <sup>a</sup>	10.04 <sup>a</sup>	1.67 <sup>a</sup>	6.05 <sup>a</sup>	12.87 <sup>a</sup>	8.19 <sup>a</sup>
MAR	16.75 <sup>a</sup>	10.13 <sup>a</sup>	39.89 <sup>a</sup>	0.53 <sup>a</sup>	0.67 <sup>a</sup>	8.09 <sup>a</sup>	71.25 <sup>a</sup>	47.47 <sup>a</sup>	12.44 <sup>a</sup>	8.96 <sup>a</sup>	1.94 <sup>a</sup>	4.65 <sup>a</sup>	14.82 <sup>a</sup>	6.96 <sup>a</sup>
AVR	18.52 <sup>a</sup>	10.06	50.0 <sup>a</sup>	0.34 <sup>a</sup>	1.12 <sup>a</sup>	8.65 <sup>a</sup>	69.07 <sup>a</sup>	48.17 <sup>a</sup>	10.46 <sup>a</sup>	8.32 <sup>a</sup>	1.02 <sup>a</sup>	8.17 <sup>a</sup>	22.5 <sup>a</sup>	9.22 <sup>a</sup>
Mai	20.78 <sup>a</sup>	42.57 <sup>a</sup>	57.42 <sup>a</sup>	2.64 <sup>a</sup>	0.84 <sup>a</sup>	6.59 <sup>a</sup>	69.45 <sup>a</sup>	50.40 <sup>a</sup>	10.52 <sup>a</sup>	5.84 <sup>a</sup>	1.10 <sup>a</sup>	5.29 <sup>a</sup>	12.56 <sup>a</sup>	8.07 <sup>a</sup>
JUN	27.36 <sup>a</sup>	8.37 <sup>a</sup>	91.27 <sup>a</sup>	4.45 <sup>a</sup>	0.68 <sup>a</sup>	7.45 <sup>a</sup>	75.94 <sup>a</sup>	53.34 <sup>a</sup>	10.22 <sup>a</sup>	5.35 <sup>a</sup>	0.97 <sup>a</sup>	5.54 <sup>a</sup>	19.57 <sup>a</sup>	6.28 <sup>a</sup>
JUL	30.37 <sup>a</sup>	6.81 <sup>a</sup>	59.19 <sup>a</sup>	0.96 <sup>a</sup>	1.14 <sup>a</sup>	7.99 <sup>a</sup>	76.10 <sup>a</sup>	50.44 <sup>a</sup>	12.27 <sup>a</sup>	3.99 <sup>a</sup>	1.19 <sup>a</sup>	3.34 <sup>a</sup>	17.54 <sup>a</sup>	7.13 <sup>a</sup>
Nov	23.67 <sup>a</sup>	9.93 <sup>a</sup>	50.06 <sup>a</sup>	1.33 <sup>a</sup>	2.03 <sup>a</sup>	11.83 <sup>a</sup>	66.62 <sup>a</sup>	47.20 <sup>a</sup>	7.78 <sup>a</sup>	5.76 <sup>a</sup>	1.52 <sup>a</sup>	3.84 <sup>a</sup>	18.14 <sup>a</sup>	7.55 <sup>a</sup>
Dec	19.52 <sup>a</sup>	7.97 <sup>a</sup>	52.03 <sup>a</sup>	0.80 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>	11.24 <sup>a</sup>	69.65 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>	49 <sup>a</sup>	5.65 <sup>a</sup>	1.54 <sup>a</sup>	5.07 <sup>a</sup>	24.47 <sup>a</sup>	10.82 <sup>a</sup>
<b>MOELLE</b>														
MOELLE	21.28	13.53	36.47	1.27	0.96	9.10	69.54	46.33	10.37	7.42	1.39	5.44	17.40	8.27
erreur	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0018	0.0001	0.0045	0.0013	0.001	0.0023
CV	4.14	4.14	0.65	18.11	16.10	3.66	1.53	1.67	6.84	4.45	12.68	12.67	3.38	11.01
<b>Saison</b>														
Fev	26.85 <sup>a</sup>	7.77	32.23	2.71	0.94 <sup>a</sup>	7.726	76.04 <sup>a</sup>	51.87 <sup>a</sup>	11.25 <sup>a</sup>	4.67 <sup>a</sup>	1.08	4.43	18.56	6.74 <sup>a</sup>
AVR	23.67 <sup>a</sup>	9.93	50.06	1.33	2.03 <sup>a</sup>	11.83 <sup>a</sup>	66.62 <sup>a</sup>	47.20 <sup>a</sup>	7.78 <sup>a</sup>	5.76 <sup>a</sup>	1.52	3.81	18.11	7.55 <sup>a</sup>
Mai	18.03 <sup>a</sup>	11.20	38.80	1.17	0.72 <sup>a</sup>	10.43 <sup>a</sup>	66.14 <sup>a</sup>	36.82 <sup>a</sup>	9.63 <sup>a</sup>	9.54 <sup>a</sup>	1.59	6.06	17.16	9.73 <sup>a</sup>
Print	18.68 <sup>a</sup>	20.90	79.10	0.39	0.87 <sup>a</sup>	7.796	64.94 <sup>a</sup>	48.68 <sup>a</sup>	11.13 <sup>a</sup>	7.74 <sup>a</sup>	1.34	6.05	16.63	8.08 <sup>a</sup>
<b>MOELLE</b>														
MOELLE	21.28	13.53	36.47	1.27	0.96	9.10	69.54	46.33	10.37	7.42	1.39	5.44	17.40	8.27
erreur	0.0001	0.22	0.22	0.06	0.0009	0.0001	0.0001	0.0001	0.022	0.0004	0.118	0.116	0.91	0.0116
CV	8.66	76.15	11.76	92.81	31.36	83.40	2.86	3.67	12.11	17.91	22.18	25.66	25.80	14.72

### Conclusion de l'analyse de la composition chimique:

Les trois arbustes analysés ici présentent des teneurs dans leurs constituants nutritifs qui les différencient entre eux et les différencient par rapport à *Sulla* (une légumineuse bien connue du Nord d'Algérie).

Pour ce qui est du contenu protéique nos plantes sont moins riches que la légumineuse *Sulla*, *Sueada* présente le taux le plus élevé entre elles. Bien que les MAT des feuilles de ces plantes peuvent atteindre des teneurs plus élevées que celles de *Sulla* durant certaines périodes de prélèvement avec des moyennes de 15,33% à 20% MS, nous notons pour *Sueada* une valeur maximale en MAT de 23,64% au mois de décembre, et une valeur minimum au mois de janvier pour ces feuilles (17,11%)

Pour ce qui est du contenu en fibres alimentaires extraites aux détergents neutres et acides représentent chez les plantes des régions arides 45% MS comme valeur maximale observés chez *Sueada* en (NDF) et en (ADF) chez *Atriplex* avec une teneur estimée à 28,73% MS.

Les teneurs les plus élevées ont été notés chez *Salsola* au mois d'avril pour les NDF des tiges avec 82,84% MS, cette teneur offre à la plante une valeur énergétique importante surtout qu'elle coïncide avec une faible teneur la plus faible en ADL (4,35% MS), ce qui rend les fibres plus digestibles par la flore ruminal et en présence un taux azoté optimal, cette plante offre à l'animal une bonne source alimentaire.

Les ruminants tirent une partie d'énergie presque négligeable de la matière grasse contenue dans leur alimentation. Les teneurs en matière grasse pour l'ensemble de nos plantes fourragères analysées sont les plus élevées chez les feuilles d'*Atriplex* (4,66% au mois de mars) ce qui s'explique par une activité synthétique maximale au niveau des feuilles durant ce mois.

Alors que les valeurs les plus basses sont trouvées chez les tiges d'*Atriplex* avec un taux de 0,03% MS.

Les tiges de *Sueada* restent les plus riches en MG (2,03%) en comparaison avec le taux noté chez *Atriplex* et *Salsola*.

A l'essor de nos analyses nous pouvons noter des valeurs en Ca plus élevées chez les plantes de zones arides que celles de la légumineuse *Sulla*, et avec un taux de P plus faible que

## **Résultats et discussions**

---

cette plante et de là le Ca/P est élevé chez les plantes halophytes (4,19-4,94) et faible chez *Sulla* (0,13).

Mais le manganèse reste un élément dont le taux est élevé chez *Sulla* et ces valeurs sont différentes chez les trois plantes étudiées.

La teneur en matière organique des plantes étudiées présente une moyenne maximale chez les tiges de *Salsola vermiculata* (90,28% MS), les tiges restent un organe plus riche que les feuilles en matière organique le long de l'année, les teneurs sont élevées pour l'ensemble des plantes avec une moyenne minimale notée chez les feuilles de *Salsola* (55,94% MS).

Les cendres insolubles peuvent être un facteur qui limite l'ingestion et digestibilité de nos plantes, ils s'agit de facteurs limitants ou des contaminants.

Les éleveurs disent que la pluie lave les plantes, mais généralement la région de notre étude connaît des inondations qui contaminent ces plantes et surtout leurs feuilles par la terre ou du sable.

Les vents de sable aussi peuvent jouer le rôle dans ce phénomène par les quantités de sables qui peuvent apporter.

Nous constatons que les valeurs en cendres insolubles dans l'acide sont de (1,02%) dans ces feuilles ce qui lui donne une valeur nutritive plus importante que les deux autres arbustes.

Les feuilles des plantes analysées apparaissent très riches en matière minérale totale, ce sont des organes de concentrations des sels par rapport aux tiges, la valeur la plus élevée est celle observée pour les feuilles de *Salsola* (moyenne de 42,05% MS) et *Sueada* représente l'espèce végétale dont les feuilles sont moins chargées.

Cette charge minérale va automatiquement augmenter l'appel en eau des animaux brouteurs dans ces régions pour éliminer l'excès en sels de leurs organismes, car ces plantes sont riches encore en matière sèche, (taux d'humidité faible).

## 5-B- Analyse des résultats de l'étude in vitro

### Introduction

La production de gaz obtenue en fonction du temps à cause de l'attaque microbienne sur les constituants chimiques de la plante constitue une cinétique complexe qui peut être réduite à des équations plus simples. Ces équations, élaborées par différents auteurs fournissent des indications sur l'importance de la dégradation de la plante grâce au volume total de gaz obtenu (ou potentiel) et sur la vitesse à laquelle cette dégradation s'effectue. Selon l'équation utilisée on peut avoir des vitesses de dégradation fixes (ou constante pour toute la durée de la fermentation) ou variables. Certaines équations permettent de calculer le temps qui s'écoule avant l'apparition d'un volume mesurable de gaz, ou temps de latence (Pitt et al., 1999).

Nous avons utilisé l'équation exponentielle de Orskov & McDonald (1979)

$$b = b_0 (1 - \exp^{-c(t-lag)})$$

Pour calculer:

- Le volume de gaz en ml (noté b), produit par 200 mg de MS en fonction du temps t.
- Le temps de latence en h (noté lag).
- La vitesse constante de dégradation des plantes en % de b (notée c).
- $b_0$  est le volume potentiel qui peut être obtenu pour temps infini.

<b>Tableau 11:</b> Caractéristiques de la dégradation in vitro des plantes fourragères des zones arides comparées à celle de la légumineuse <i>Sulla</i> ( <i>Hedysarum coronarium</i> )				
Espèces végétales	(n)	b (ml)	c (% b/h)	lag (h)
<i>Atriplex halimus</i>	(55)	36.27 <sup>b</sup> (±0.98)	0.0487 <sup>b</sup> (± 0.002)	4.81 <sup>a</sup> (± 0.31)
<i>Salsola vermiculata</i>	(58)	34.45 <sup>bc</sup> (± 0.87)	0.0379 <sup>c</sup> (± 0.003)	3.20 <sup>b</sup> (± 0.36)
<i>Sueada mollis</i>	(66)	30.18 <sup>c</sup> (± 0.96)	0.0358 <sup>c</sup> (± 0.002)	1.41 <sup>c</sup> (± 0.18)
<i>Hedysarum coronarium</i> ( <i>Sulla</i> )	(9)	54.78 <sup>a</sup> (± 2.09)	0.0763 <sup>a</sup> (± 0.007)	0.23 <sup>c</sup> (± 0.08)
moyenne		34.46	0.0421	2.9
C.V %		20.97	43.50	74.07
effet espèce		**** 0.0001	**** 0.0001	**** 0.0001

**5-B-1°/ Analyse des caractéristiques de la dégradation des plantes étudiées:**

Le tableau 11 montre que la légumineuse *Sulla* produit une quantité de gaz significativement plus élevée que les trois halophytes étudiées durant la période d'incubation (120h).

*Sulla* du nord représente une production potentielle de gaz significativement plus élevée (54,96ml/200mg de MS) que celles des trois plantes des zones arides.

*Atriplex* correspond à l'espèce qui a le potentiel le plus élevé (36,35ml/200mg de MS° par rapport à *Salsola* et *Sueada* avec une valeur significativement différente de *Sueada* (30,46ml/200mg de MS) mais comparable à celles de *Salsola* (34,58ml/200mg de MS).

Nous constatons que l'espèce végétale a un effet significative ( $p < 0,0001$ ) sur l'ensemble des caractéristiques de la production de gaz. (Tableau 11 et figure 1-B).

- b présente un cv de 20.97%.

La moyenne de la production de gaz 34,46ml/200 mg MS, est proche de celle de *Salsola vermiculata* (34,45ml), mais très éloignée de celle de *Sulla* (54,78ml). *Atriplex* produit plus que la moyenne des quatre plantes, alors que *Sueada* en produit moins (30,18).

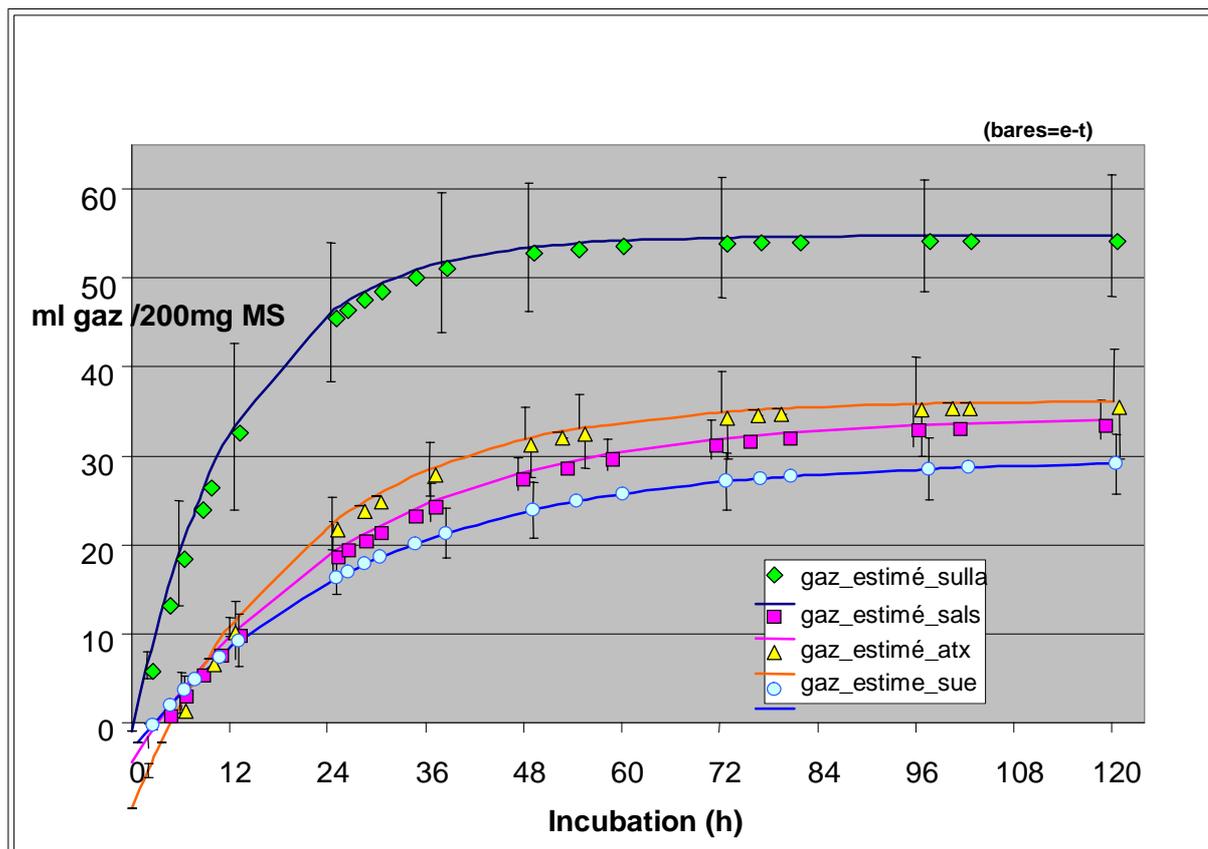
-*Sulla* est également dégradée à une vitesse plus élevée (0,076 h<sup>-1</sup>) suivie de *Atriplex* (0,0487), de *Salsola* (0,0379h<sup>-1</sup>) et de *Sueada* (0,0358h<sup>-1</sup>), *Atriplex* a un c significativement ( $P < 0,05$ ) plus élevé que celui de *Sueada* mais comparable à celui de *Salsola*.

La durée de la phase de latence est significativement différente d'une plante à une autre. Elle est la plus élevée chez *Atriplex* et la plus basse chez *Sulla* ( $P < 0,05$ ) tableau 11.

## **Résultats et discussions**

---

Les valeurs de "b" et du "lag" sont plus élevées que celles rapportées par Haddi et al (2003), pour les mêmes plantes prélevées en mars, mai et juin. Mais les valeurs de "c" sont nettement plus faibles pour tous les arbustes que nous avons étudiés.



**Fig.1-B-** Cinétique de production de gaz des arbustes comparée à celle de la légumineuse *Sulla*

### **5-B-2\*/ Analyse des caractéristiques de la dégradation d'*Atriplex halimus*:**

Le tableau 12 montre que pour *Atriplex halimus*, la morphologie, la période de prélèvement et la saison n'affectent pas de manière significative la durée de la phase de latence qui a un cv variant de 47,65 à 49,70%.

\* La production potentielle "b" de gaz est affectée de manière significative par:

- la morphologie: les feuilles produisent plus que les tiges: 38,69ml contre 33,56ml.
- la période de prélèvement: février est le mois où "b" est la plus élevée (45,21ml), mais reste comparable à celles des autres mois.

- La saison: ne semble pas affecter la production de gaz ce qui reflète une certaine similarité dans la constitution d'*Atriplex* durant les différentes saisons.

\* "c" est le paramètre biologique le plus affecté par la morphologie, ( $p < 0,025$ ), la période de prélèvement ( $p < 0,0001$ ) et la saison ( $p < 0,0044$ ) (tableau 12 figure 1-B).

Les feuilles sont dégradées plus rapidement que les tiges ( $0,0535h^{-1}$  contre  $0,0432h^{-1}$ ). De janvier à juillet *Atriplex* se dégrade avec des vitesses c comparables au mois de novembre. Seuls, les mois d'octobre et de décembre présentent des "c" significativement inférieurs. C'est au printemps que "c" a la valeur la plus élevée ( $0,0606h^{-1}$ ) mais qui n'est pas statistiquement différentes de celle de l'hiver et de l'été ( $p < 0,05$ ) (tableau 12, figure 2-B et 3-B)).

## Résultats et discussions

<b>Tableau 12:</b> Caractéristiques de la dégradation in vitro de <i>Atriplex halimus</i> .					
<b>facteurs</b>		<b>n</b>	<b>b(ml)</b>	<b>C (<math>\frac{\%b}{h}</math>)</b>	<b>Lag (h)</b>
<b>morpho</b>	<b>feuilles</b>	(29)	38,69 <sup>a</sup>	0,0535 <sup>a</sup>	4,81
	<b>tiges</b>	(26)	33,56 <sup>b</sup>	0,0432 <sup>b</sup>	4,81
		Moyenne	36,27	0,0487	4,81
		CV (%)	18,89	33,96	47,65
		effet	0,008	0,025	n.s
<b>Période de prélèvement</b>					
	<b>Jan</b>		36.10 <sup>ab</sup>	0.0651 <sup>a</sup>	5.05
	<b>Fev</b>		45.21 <sup>q</sup>	0.0620 <sup>a</sup>	5.43
	<b>Mar</b>		42.17 <sup>ab</sup>	0.0642 <sup>a</sup>	3.45
	<b>Avr</b>		39.85 <sup>ab</sup>	0.0590 <sup>a</sup>	5.62
	<b>Mai</b>		36.14 <sup>ab</sup>	0.0600 <sup>a</sup>	4.95
	<b>Jun</b>		33.85 <sup>ab</sup>	0.0492 <sup>a</sup>	4.85
	<b>Jul</b>		33.18 <sup>ab</sup>	0.0530 <sup>a</sup>	2.73
	<b>Oct</b>		29.76 <sup>b</sup>	0.0230 <sup>b</sup>	7.10
	<b>Nov</b>		36.19 <sup>ab</sup>	0.0516 <sup>a</sup>	5.28
	<b>Dec</b>		32.72 <sup>b</sup>	0.0288 <sup>b</sup>	7.08
		Moyenne	35.84	0.0505	5.20
		CV	17.60	22.5	49.01
		effet	0.024	0.0001	n.s
<b>saison</b>					
	<b>Hiver</b>		36.57	0.0500 <sup>ab</sup>	5.94
	<b>Print</b>		39.04	0.0606 <sup>a</sup>	4.83
	<b>Ete</b>		33.51	0.0511 <sup>ab</sup>	3.79
	<b>Aut</b>		32.98	0.0373 <sup>b</sup>	6.20
		Moyenne		0.505	5.20
		CV	18.81	31.46	49.7
		effet	n.s	0.0044	n.s

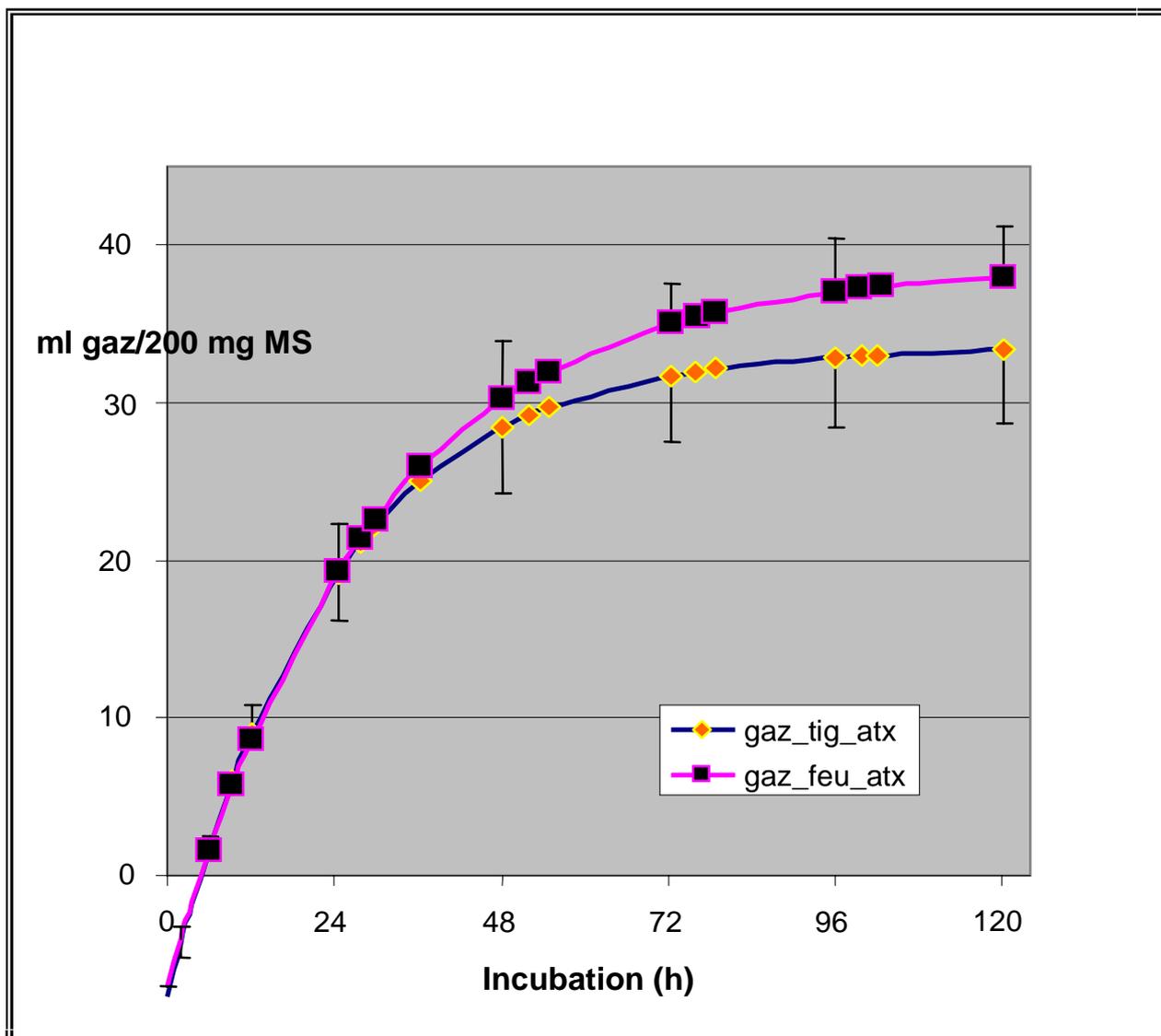


Fig. 2-B- Cinétique de production de gaz comparée des feuilles et tiges d'*Atriplex halimus*

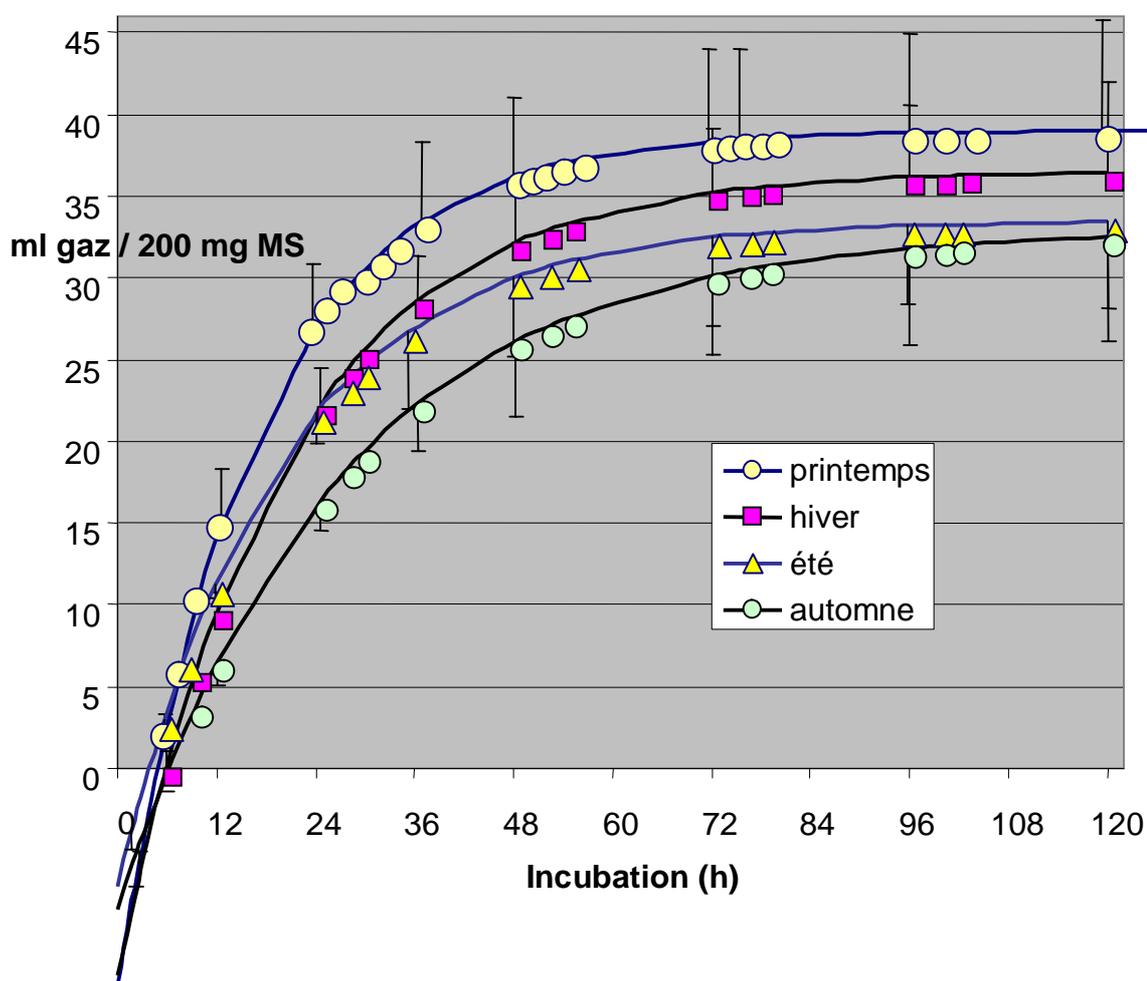


Fig. 3-B- Cinétique de production de gaz d'*Atriplex halimus* en fonction de la saison

### ***5-B-3\*/ Analyse des caractéristiques de la dégradation de Salsola vermiculata:***

Le tableau 13 montre que contrairement à *Atriplex halimus*, le temps de latence de *Salsola vermiculata* est significativement affecté par:

- la morphologie: la production de gaz démarre plutôt ( $p < 0,005$ ) chez les tiges et plu tard chez les feuilles (2,21 et 4,19h) respectivement.

- la période de prélèvement ( $p < 0,0012$ ): janvier et avril sont les mois où le "lag" est le plus élevé (7,27 et 6,93h respectivement). Mais ils ne sont significativement différents que des mois de juin (0,96h), novembre (1,56h) et décembre (1,55h), ces valeurs restent supérieur à celles notées par Gasmi et al (2005) pour des plantes indigènes des montagnes tunisienne comme: *Quercus suber* (lag: 1,212h avec une production potentielle de 145,9ml/g MS).

L'hiver et le printemps ont des latences les plus élevées (4,01 et 4,97h) alors que l'été et l'automne ont les valeurs du lag les plus basses (1,65 et 1,54h respectivement).

Les feuilles et les tiges de *Salsola vermiculata* ne se différencient ni par la vitesse de dégradation in vitro ou "c", ni par le volume de gaz total produit "b" (tableau 13).

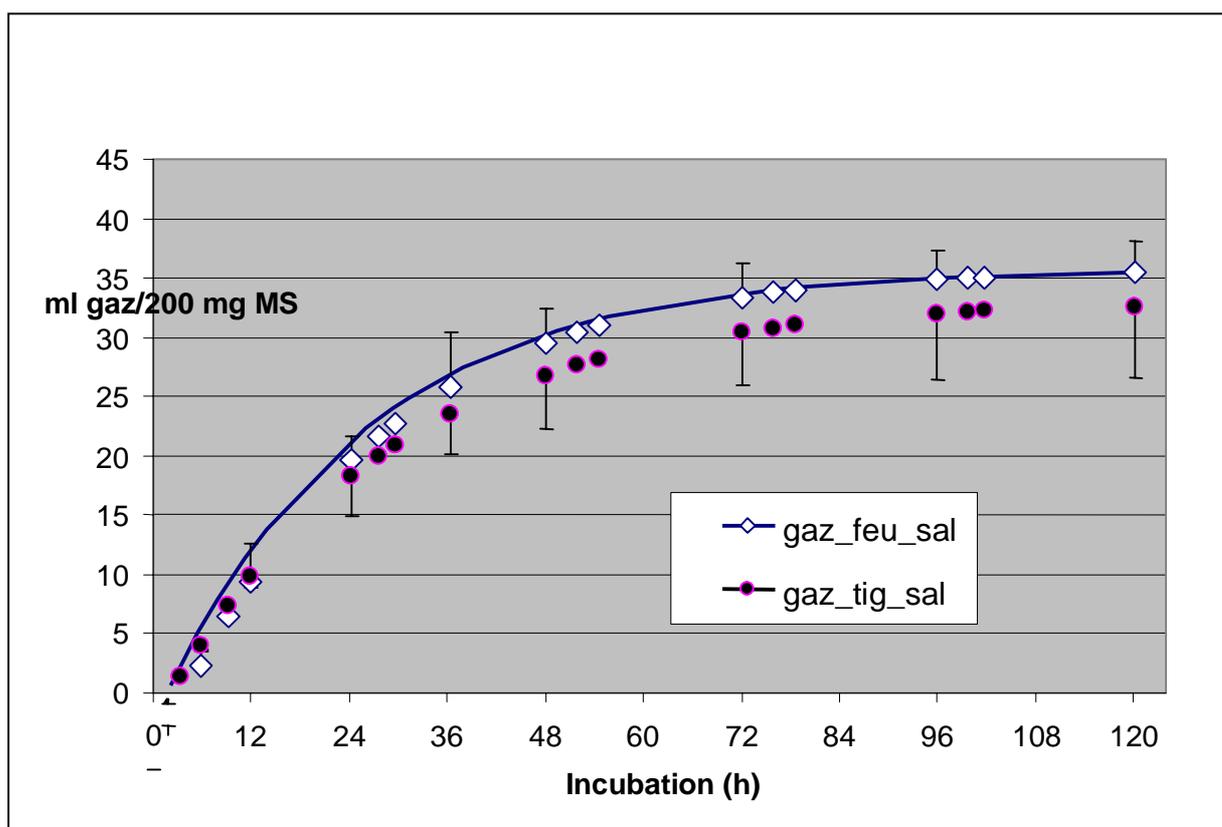
Mais ces paramètres sont quand même affectés par la période de prélèvement ( $p < 0,0001$ , pour "b" et pour "c") et par la saison ( $p < 0,0001$ , pour "c" et  $p < 0,0012$  pour "c"). Pour "c" seul, le mois de juillet présente une valeur significativement plus élevée (0,0752% b/h) alors que tous les autres mois ont une "c" comparable faisant ainsi de l'été la saison où "c" est la plus élevée et l'hiver celle où elle est la plus basse (0,0347% b/h, tableau 13, figure 5-B).

La production potentielle de gaz "b" de *Salsola* est meilleure en février (43,68ml/200mg MS), valeur comparable à celle des mois de décembre (40,5) et d'avril (39,38). Les mois de moyenne production de gaz sont janvier (31,85) et mai (32,08), alors que les mois de la production la plus basse sont les mois de novembre (31,59) et juillet (25,63ml).

L'hiver est la saison de la production de gaz la plus élevée (38,88ml) qui est comparable à celle du printemps (35,66) mais significativement différentes de celle de l'automne (31,58) et de celle de l'été (27,01).

**Tableau 13:** Caractéristiques de la dégradation in vitro de *Salsola vermiculata*.

facteurs		n	b(ml)	C ( $\frac{\%b}{h}$ )	Lag (h)
morpho	feuilles	(29)	35.83 <sup>a</sup>	0.0395 <sup>a</sup>	4.19 <sup>a</sup>
	tiges	(29)	33.08 <sup>a</sup>	0.0362 <sup>a</sup>	2.21 <sup>b</sup>
		Moyenne	34.45	0.0379	3.2
		CV (%)	18,89	60.11	80.5
		effet	n.s	n.s	0.005 **
<b>Période de prélèvement</b>					
	Jan		31.85 <sup>c</sup>	0.0253	7.27 <sup>a</sup>
	Fev		43.68 <sup>a</sup>	0.0378	5.44 <sup>abc</sup>
	Mar		35.32 <sup>bc</sup>	0.0251	6.11 <sup>ab</sup>
	Avr		39.38 <sup>ab</sup>	0.0269	6.93 <sup>a</sup>
	Mai		32.08 <sup>c</sup>	0.0216	3.69 <sup>abc</sup>
	Jun		28.37 <sup>cd</sup>	0.0453	0.96 <sup>c</sup>
	Jul		25.63 <sup>d</sup>	0.0752 <sup>a</sup>	2.33 <sup>abc</sup>
	Nov		31.59 <sup>cd</sup>	0.0471	1.56 <sup>bc</sup>
	Dec		40.50 <sup>ab</sup>	0.0444	1.55 <sup>bc</sup>
		Moyenne	34.08	0.0393	3.81
		CV	10.69	46.34	83.85
		effet	0.0001	0.0001	0.0012
<b>saison</b>					
	Hiver		38.88 <sup>a</sup>	0.0347 <sup>bc</sup>	4.01 <sup>a</sup>
	Print		35.66 <sup>ab</sup>	0.0236 <sup>c</sup>	4.97 <sup>a</sup>
	Ete		27.01 <sup>c</sup>	0.0597 <sup>a</sup>	1.65 <sup>b</sup>
	Aut		31.58 <sup>b</sup>	0.0471 <sup>ab</sup>	1.54 <sup>b</sup>
		Moyenne	34.17	0.0386	3.95
		CV	13.82	47.83	76.22
		effet	****	****	0.0012



**Fig.4-B-** Cinétique de production de gaz comparée des tiges et feuilles de *Salsola vermiculata*

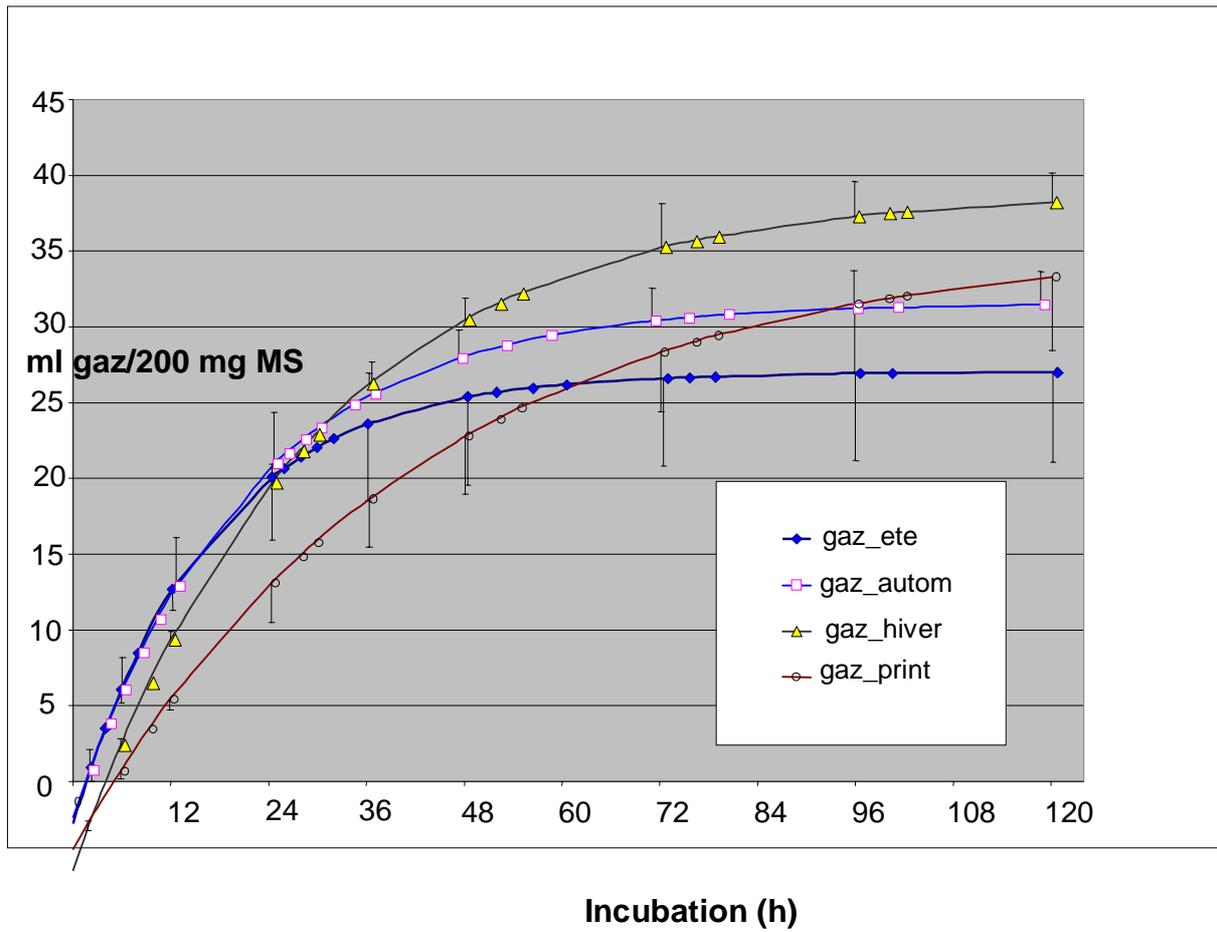


Fig. 5-B Cinétique de la production de gaz chez *Salsola vermiculata* en fonction des quatre saisons

### **5-B-4\*/- Analyse des caractéristiques de la dégradation de *Sueada mollis*:**

Le tableau 14 montre que les feuilles et les tiges de *Sueada* produisent des quantités comparables de gaz (30,3 et 30,1ml respectivement), mais à des vitesses très différentes ( $p < 0,0001$ ) et après un retard significativement plus long pour les feuilles ( $p < 0,006$ ).

Si elle affecte de manière significative ( $p < 0,0001$ ) le "b" et le "lag", la période de prélèvement n'affecte pas la vitesse "c".

Ainsi *Sueada* est dégradée à des vitesses comparables durant toute l'année avec des valeurs allant de  $0,0293\text{h}^{-1}$  (juin) à  $0,0472\text{h}^{-1}$  (février).

De cette manière la saison n'affecte en lieu le "c" qui conserve une valeur proche de la moyenne ( $0,0358\text{h}^{-1}$ ).

Le "b" et le "lag" sont fortement affectés par la période de prélèvement et par la saison. Février est le mois où "b" est la plus élevée (43,05ml) et mai où "b" est la plus basse (22,30). Mai correspond au mois où le lag est le plus bas (0,001h) et décembre au mois où le lag est plus élevé (3,09h), ce que montre le tableau 14, figure.6-B.

L'hiver semble être la saison où le "b" est plus élevé (40,02) suivi de l'automne (33,04ml). L'été et le printemps ont des "b" comparables, respectivement de 27,02 et 33,04ml.

La production de gaz chez *Sueada* démarre rapidement au printemps avec un lag court (0,71h) comparable à celui de l'automne (0,88) mais nettement différent de celui de l'hiver qui est significativement plus long (2,45h) (tableau 14, figure.7-B).

La production de gaz chez cette plante est plus basse que celle des plantes pérennes broutées par les animaux en région semi-aride du Nord de la Grèce (avec des précipitations annuelles de 374 mm), car ces dernières produisent (in vitro) des quantités de gaz allant de 41 à 51,2ml/200mg MS (Parissi et al., 2005).

## Résultats et discussions

<b>Tableau 14: Caractéristiques de la dégradation in vitro de <i>Sueada mollis</i>.</b>					
<b>facteurs</b>		<b>n</b>	<b>b(ml)</b>	<b>C (<math>\frac{\%b}{h}</math>)</b>	<b>Lag (h)</b>
<b>morpho</b>	<b>feuilles</b>	(39)	30.3	0.0278 <sup>b</sup>	1.82 <sup>a</sup>
	<b>tiges</b>	(27)	30.1	0.0473 <sup>a</sup>	0.82 <sup>b</sup>
		Moyenne	30.18	0.0358	1.41
		CV (%)	26.05	28.2	99.4
		effet	n.s	0.0001	0.006
<b>Periode de prélèvement</b>					
	<b>Jan</b>		37.46 <sup>ab</sup>	0.0415	2.55 <sup>abc</sup>
	<b>Fev</b>		43.05 <sup>a</sup>	0.0472	2.03 <sup>abcd</sup>
	<b>Mar</b>		28.78 <sup>bc</sup>	0.0461	1.99 <sup>abcde</sup>
	<b>Avr</b>		28.99 <sup>bc</sup>	0.0383	0.78 <sup>de</sup>
	<b>Mai</b>		22.30 <sup>d</sup>	0.0294	0.001 <sup>e</sup>
	<b>Jun</b>		28.70 <sup>cd</sup>	0.0294	2.70 <sup>ab</sup>
	<b>Jul</b>		24.50 <sup>cd</sup>	0.0336	0.91 <sup>bcde</sup>
	<b>Nov</b>		33.04 <sup>bc</sup>	0.0293	0.88 <sup>cde</sup>
	<b>Dec</b>		39.1 <sup>ab</sup>	0.0331	3.09 <sup>a</sup>
		Moyenne	30.18	0.0358	1.41
		CV	16.26	36.56	81.1
		effet	0.0001	n.s	0.0001
<b>saison</b>					
	<b>Hiver</b>		40.02 <sup>a</sup>	0.0421	2.45 <sup>a</sup>
	<b>Print</b>		26.27 <sup>c</sup>	0.0363	0.71 <sup>c</sup>
	<b>Ete</b>		27.02 <sup>c</sup>	0.0312	1.98 <sup>ab</sup>
	<b>Aut</b>		33.04 <sup>b</sup>	0.0293	0.88 <sup>bc</sup>
		Moyenne	30.18	0.0358	1.41
		CV	18.09	37.91	92.02
		effet	0.0001	n.s	0.0003

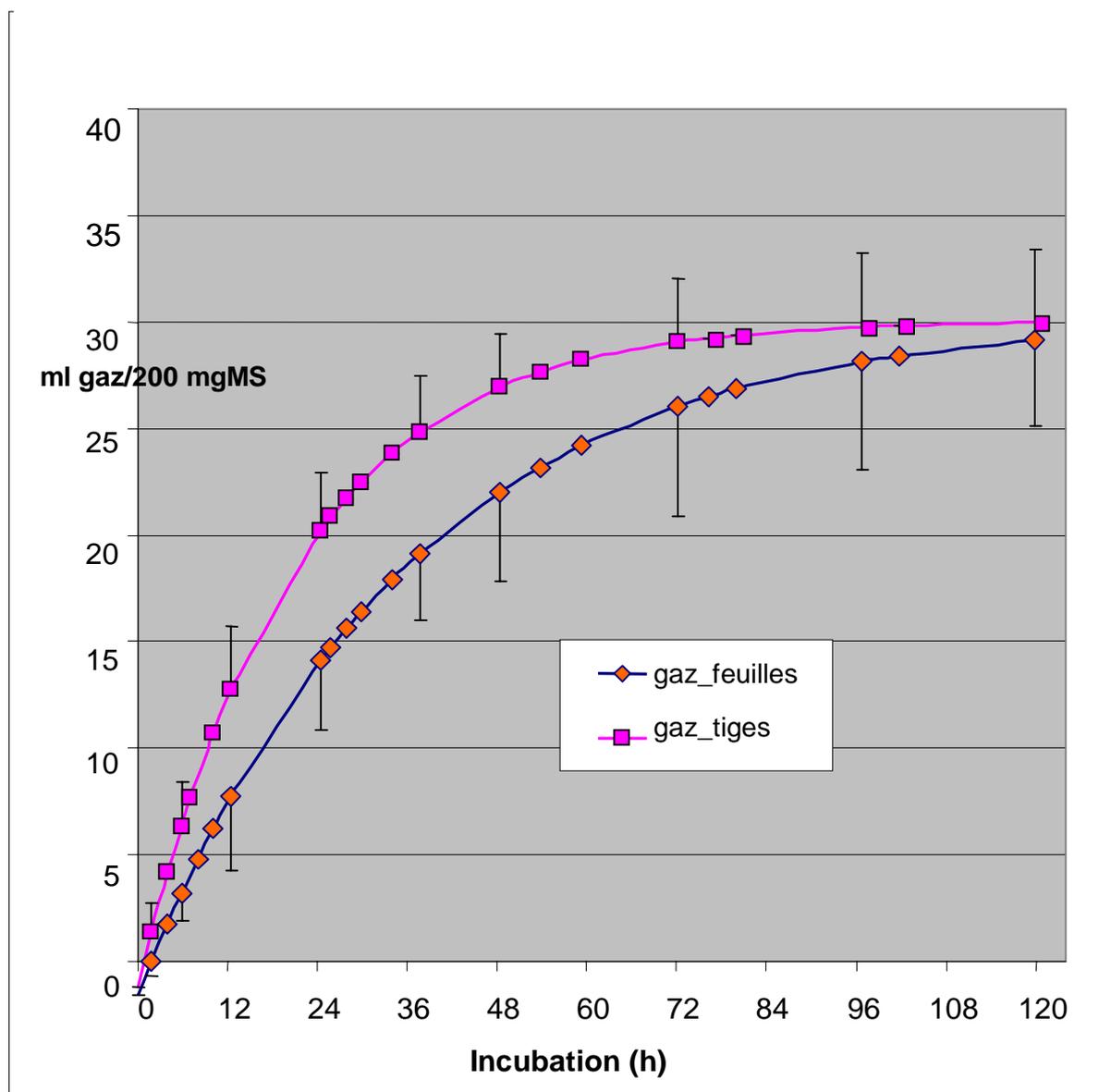


Fig.6-B- Cinétique de production de gaz des feuilles et tiges de *Sueada mollis*

### 5-C- La corrélation entre les paramètres de la production de gaz in vitro des arbustes et leurs constituants chimiques:

Les paramètres de la production de gaz in vitro sont corrélés aux différents constituants chimiques des arbustes étudiés, comme le montre le tableau 15.

"c": la vitesse de production de gaz c (% b/h) est le paramètre le plus corrélé aux constituants chimiques de la plante, en particulier chez *Atriplex halimus* et *Sueada*.

La matière riche calculée par rapport à la matière fraîche d'*Atriplex halimus* est corrélée négativement à "c", et il en est de même pour la matière organique. Ceci peut s'interpréter par le fait que plus de matière sèche ramène plus de substances en mesure de freiner la vitesse de production de gaz chez *Atriplex* comme c'est le cas pour l'ADLc et le NDFc et pour les MAT qui sont corrélées négativement à "c".

- Chez *Salsola*, "c" est au contraire corrélée positivement à la matière sèche et uniquement à ce constituant.

- Chez *Sueada*, "c" est aussi corrélée positivement à la matière organique et à toutes les fibres (ADF, NDF, ADL), de manière hautement significative. Seules la matière grasse et la MAT sont corrélées négativement à c.

"b": la production potentielle de gaz est le paramètre le moins corrélé avec les constituants chimiques analysés, sauf quelques uns. Ainsi on observe une corrélation négative entre ADLc et b chez *Atriplex halimus*, chez *Salsola* la "b" est corrélée négativement à la matière sèche originale et positivement à la MAT. Aucune corrélation significative n'existe pour "b" chez *Sueada*.

"lag": le paramètre lag est corrélé négativement à MG et à MAT chez *Atriplex halimus* et positivement pour les mêmes constituants chez *Sueada*.

D'autre part chez *Atriplex* le lag est corrélé positivement à l'ADLc, ce qui veut dire que plus il y a d'ADL (lignine acide) plus la production de gaz met du temps (lag) pour démarrer.

Chez *Salsola*, Les fibres NDF et ADF sont corrélés négativement au lag; ce qui veut dire que la structure fibreuse des trois arbustes ne pose pas le même type de contraintes à la dégradation microbienne.

Chez *Salsola*, les MAT sont corrélées positivement au lag ce qui peut s'interpréter comme la contribution des MAT à une structure fibreuse plus difficile à attaquer chez cet arbuste et chez *Sueada* également.

## **Résultats et discussions**

---

Chez *Sueada mollis*, on observe aussi des corrélations de même type entre le lag, les MAT et les ADFc. La MG est également corrélée au lag chez cet arbuste de manière opposée à celle d'*Atriplex*. L'étude de la nature des matières grasses constituant l'extrait éthéré chez *Atriplex* et *Sueada* pourrait nous fournir l'explication.

En conclusion pour cette partie nous pouvons dire que par rapport à *Sulla* (légumineuse du nord), nos arbustes du sud aride, produisent moins de gaz, donc sont moins dégradés par la flore ruminale; que cette dégradation se fait à une vitesse "c" plus faible et après un retard dans le démarrage de la production de gaz plus long.

**Tableau 15:** Corrélations entre les paramètres de la production de gaz in vitro des arbustes et leurs constituants chimiques.

	<i>Atriplex</i>		<i>Salsola</i>		<i>Sueada</i>	
			<b>C</b>			
<b>Constituants</b>	<b>r</b>	<b>(seuil)</b>	<b>r</b>	<b>(seuil)</b>	<b>r</b>	<b>(seuil)</b>
MF	-0,46	(0,004)	0,63	(0,0001)		ns
MO	-0,49	(0,002)		ns	0,52	(0,002)
INS	0,46	(0,003)		ns		ns
MG	0,36	(0,03)		ns	-0,34	(0,04)
MAT	-0,49	(0,001)		ns	-0,62	(0,0001)
NDFc	-0,41	(0,01)		ns	0,66	(0,0001)
ADFc		ns		ns	0,63	(0,0001)
ADLc	-0,45	(0,005)		ns	0,54	(0,0009)
				<b>b</b>		
MF		ns	-0,49	(0,002)		ns
MO		ns		ns		ns
INS		ns		ns		ns
MG		ns		ns		ns
MAT		ns	0,58	(0,0002)		ns
NDFc		ns		ns		ns
ADFc		ns		ns		ns
ADLc	-0,47	(0,003)		ns		ns
				<b>lag</b>		
MF		ns		ns		ns
MO		ns		ns		ns
INS		ns		ns		ns
MG	-0,34	(0,04)		ns	0,35	(0,04)
MAT	-0,345	(0,03)	0,47	(0,004)	0,43	(0,01)
NDFc		ns	-0,41	(0,01)		ns
ADFc		ns	-0,42	(0,01)	-0,37	(0,03)
ADLc	0,49	(0,002)		ns		ns

### 5-D- Estimation de l'énergie métabolisable et de la dégradation de la matière organique:

La détermination des teneurs en constituants chimiques de la plante fourragère et de ses paramètres de production de gaz permet d'estimer son énergie métabolisable qui est la plus intéressante pour l'animal aussi que la dégradabilité de la matière organique. Nous avons estimés ces caractéristiques de nos arbustes selon les relations de Menke et al (1979):

$$\text{DOM} = 24,91 + 0,7222\text{GP} + 0,0815\text{MAT} \text{ (en g/kg de MS)}$$

$$\text{EM} = 2,20 + 0,136\text{GP} + 0,005\text{MAT} + 0,00029\text{MAT}^2 \text{ (en MJ/ kg de MS)}$$

Le tableau montre que les trois arbustes de la zone aride ont de DMO comprises entre 112,65 pour les feuilles de *Sueada* et 136,18g/kg MS pour les feuilles de *Atriplex* et sont nettement inférieures à celles de la légumineuse *Sulla* (184,02g/kg de MS). Il en est de même pour l'énergie métabolisable. Nos arbustes ont des valeurs proches (2,12 à 2,56 MJ/kg MS) mais nettement inférieures a celle de *Sulla* (3,47 MJ/kg MS).

Il faut noté que les feuilles de nos arbustes on des ME et de DMO plus élevées que celles des tiges, probablement à cause de leur contenu protéique et de leur faible production de gaz.

Nogueira et al (2000) rapporte des valeurs élevées de ME et de DMO (estimés de manière similaire) de certaines plantes tropicales: 405 g/kg et 5,76 MJ/kg MS pour *Cynodon dactylon*, une graminée présente sur nos parcours, ceci montre que les plantes de zones arides présentent un apport énergétique et organique plus réduit que celui des plantes de zone tropicale où les précipitations peuvent atteindre 2000mm (Nogueira, 2000) soit dix fois plus que nos zones concernées.

**Tableau 16:** Dégradation de la matière organique (DMO g/kg MS), énergie métabolisable (EM, MJ/kg MS) des plantes étudiées

	<b>DMO (g/kg MS)</b>	<b>écart-type</b>	<b>ME (MJ/kg MS)</b>
<b>Feuilles d'<i>Atriplex</i></b>	662,3(4,2)	17,3	4,08
<b>Tiges d'<i>Atriplex</i></b>	564,4(8,1)	9,65	2,31
<b>Feuilles de <i>Salsola</i></b>	631,1(5,4)	14,97	3,58
<b>Tiges de <i>Salsola</i></b>	569,2(6,2)	10,31	2,47
<b>Feuilles de <i>Sueada</i></b>	655,5(11,3)	19,15	4,58
<b>Tiges de <i>Sueada</i></b>	544,4(6,3)	9,09	2,7
<b><i>Sulla</i> entière</b>	745,5(5,8)	17,95	4,3

## Conclusion générale

L'analyse des constituants chimiques des arbustes des zones pré-sahariennes (ou arides) a montré leur intérêt nutritif pour les ruminants domestiques et ce pour leur contenu énergétique et azoté.

Leur contenu minéral doit être étudié de plus près pour en déterminer la nature, bien que l'on note une teneur élevée en calcium mais une teneur plus faible en P que chez la légumineuse *Sulla*. Leur matière minérale ou cendre reste très élevée et atteint presque deux fois celle de *Sulla*. Ceci a des conséquences en matière de consommation notable d'eau, surtout si on observe que leur MS par rapport à leur MF est presque deux fois plus élevée que celle de *Sulla*.

Bien que inférieur aux teneurs rencontrées chez *Sulla*, les valeurs de MAT des trois arbustes sont proches entre elles et appréciables pour des plantes des zones arides. Toutefois l'azote de Kjeldahl n'est pas automatiquement de l'azote totalement disponible pour l'animal, aussi il serait intéressant d'évaluer les diverses formes dans lesquelles se trouve cet azote pour en évaluer l'intérêt nutritif.

Bien que fibreuses (NDF et ADF élevées) ces plantes fourragères des zones arides, ou du moins leur parties aériennes comestibles ne sont pas plus lignifiées que *Sulla*, bien au contraire elles peuvent présenter des teneurs inférieures à celles de cette légumineuse.

C'est surtout donc leur contenu élevé en cendres, leur contenu élevé en fibres, leur contenu limité en MAT qui en font des aliments de moindre qualité que *Sulla*.

L'étude des paramètres de la dégradation *in vitro* nous a permis d'évaluer le processus de dégradation des trois arbustes comparées à *Sulla* en estimant la quantité totale de gaz produite (b), la vitesse à laquelle cette production se fait "c" et le temps mis par le gaz pour commencer à se former "lag".

Cette dégradation microbienne *in vitro* a montré que nos arbustes produisent moins de gaz que *Sulla*, avec une vitesse plus faible et avec un retard dans le démarrage de la fermentation plus long. Toutefois chez *Atriplex* et *Salsola* les feuilles présentent des productions de gaz plus importantes que les tiges.

L'analyse statistique montre aussi que la période de prélèvement et la saison exercent des effets différents sur les paramètres de la dégradation *in vitro*.

Cette analyse a montré aussi que les constituants chimiques étudiés et les paramètres biologiques de la dégradation sont corrélés soit négativement soit positivement selon la plante, le paramètre et le constituant considéré.

Ainsi, la vitesse "c" de dégradation est le paramètre le plus corrélé aux constituants chimiques; la production de gaz est corrélée surtout avec l'ADL chez *Atriplex* a la MS/ MF et au MAT chez *Salsola*. En fin le "lag" à plusieurs constituants chimiques de la plante.

En définitive l'évaluation des paramètres biologiques permet de classer ces plantes dans le même ordre que l'analyse chimique par rapport à Sulla que reste un aliment nettement supérieur. L'estimation de la DMO et de l'EM par des équations de Menke et al (1979) confirme ce classement.

***REFERENCES***  
***BIBLIOGRAPHIQUES***

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- \* **Abdelguerfi. A., 1987.** Quelques réflexions sur la situation des fourrages en Algérie. Ceréaculture. ITCG. 16.1-5pp.
- \* **Adem. R et Ferrah. A., 2002 .**Les ressources fourragères en Algérie: déficit structure l et disparité régionale. Analyse du bilan fourrager pour l'année 2001.  
<http://gerdaal.ifrance.com/grdaal/Oflive/ressourcesfourragers/bilanfourrager2001.htm>
- \* **Ammar. H., Lopez. S., Gonzalez. J. S., 2005.** Assesment of the digestibility of some Mediterranean shrubs by in vitro techniques. Animal feed science and technology. 119. 323-331pp.
- \* **Apori. S. O., Castro. F. B., Shand. W. J., Ørskov. E. R., 1998.** Chemical composition, in sacco degradation and in vitro gaz production of some Ghanaian browse plants. Animal feed and technology. 76. 129-137pp.
- \***Arab.H., 2006.**Evaluation de la valeur nutritive des principaux fourrages des zones arides et smi-arides.Memoire de Magister.université de Batna,122pp
- \* **Arrigo. Y., 2001.** Valeur nutritive des plantes de prairies. Actualisation R.A.P. 31 octobre. 1. cours S.R.V.A n° 906. Station fédérale de recherche en production animale.
- \* **Bach. Kundsén. K. E., 2001.** The nutritional significance of "dietary fibre" analysis. Animal feed science and technology. 90. 3-20pp.
- \* **Benchaabane, A. 1997.** Biotechnologie et sécurité alimentaire. Cas de l'Atriplex halimus dans production de viandes de camelins et caprins dans la vallée du drâa (Maroc). Dans : Actualité Scientifique: Biotechnologies, Amélioration des Plantes et Sécurité Alimentaire. Collection Universités Francophones. Ed ESTEM, Paris, 169pp
- \* **Ben Salem. H., Nefzaoui A., Ben Salem L., 2002.** Supplementation of *Acacia cyanophylla* Lindl.foliage-based diets with barley or shrubs from arid areas (*Opuntia ficus-indica* F. *inermis* and *Atriplex nummularia* L.) on growth and digestibility in lambs. Animal Feed Science and Technology, 96, 15-30pp.
- \* **Ben Salem. H., Abdouli. H., Nefzaoui. A., El-Mastouri. A., Ben Salem. L., 2005.** Nutritive value, behaviour, and growth of Barbarine lambs fed on old man salbush (*Atriplex nummularia* L.) and supplemented or not with barely grains of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) pads. Small ruminant research. 59. 229-237pp.
- \* **Bonneau. M. et Laaveld. B., 1999.** Biotechnology in animal nutrition, physiology and health. Livestock production science. 59. 223-241pp.

- \* **Bräunlich K. et Zintzen H., 1980.** La vitamine B<sub>6</sub>. F. Hoffmann la Roche et Cie. 56 pp.
- \* **Bräunlich K. et Zintzen H., 1981.** La vitamine B<sub>1</sub>. F. Hoffmann la Roche et Cie. 40 pp.
- \* **Brett. C et Waldron. 1996.** Physiology and biochemistry of plant cell walls. 2<sup>ème</sup> édition Ed: Chapman et Hall. Pages: 46 à 59pp.
- \* **Broudiscou. L. P, 1999.** Optimal minéral composition of artificial saliva for fermentation and methanogenesis in continuous culture of rumen microorganisms. Animal feed science and technology (79). 43-55pp.
- \* **Chouinard. Y., 2002.** Production et émission du méthane et du gaz carbonique par les ruminants. 65<sup>ème</sup> congrès de l'ordre des agronomes du Québec.
- \* **Coïc Y. et Coppenet M., 1989.** Les oligo-éléments en agriculture et élevage. INRA. Paris. 114 pp.
- \* **Demarquilly C. et Jarrige R., 1981.** Panorama des méthodes de prévision de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages. In : Demarquilly C. (ed), Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants. 41-59pp. Editions INRA. Paris.
- \* **Demarquilly C., Faverdin P., Geay Y., Verité R., Vermorel M., 1996.** Bases rationnelles de l'alimentation des ruminants. INRA Prod. Anim. Hors série. 71-80pp.
- \* **Durand D. et Kawashima R., 1980.** Influence of minerals in rumen microbial digestion. In: Ruckebush Y., Thivend P. (eds), Digestive physiology and metabolism in ruminant. 375-427pp. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on ruminant physiology. Clermont-Ferrand. MTP Press Limited, UK.
- \* **Elhassen. S. M., Lahlou kassi. A., Newbold. C. J., Wallace. R. J., 2000.** Chemical composition and degradation characteristics of foliage of some African multipurpose trees. Animal feed and technology. 86. 27-37pp.
- \* **Elmer P., 1994.** Analytical methods for atomic absorption spectrometry. The perkin elmer corporation, USA. 300pp.
- \* **Faverdin. P, D Mhamed, M. Ricogomez, R. Verité, 2003.** La nutrition azotée influence l'ingestion chez la vache laitière, INRA Prod. Anim. 16, 27-37pp.
- \* **Fievez. V., Babayeni. O. J., Demeyer. D., 2005.** Estimation of direct and indirect gas production in syringes: A tool to estimate short chain fatty acid production that requires minimal laboratory facilities. Animal feed science and technology. 1-14pp.

- \* **Fonseca C.E.F., Hansen J.L., Thomas E.M., Pell A.N., Viands D.R., 1999.** Near infrared reflectance spectroscopy prediction and heritability of neutral detergent soluble fibre in Alfalfa. *Crop Science*. 39, 1265-1270pp.
- \* **Fontaine M., Cadoré J.L., Mollereau H., Porcher C., Nicolas E., Brian A., 1995.** *Vade-Mecum vétérinaire*. Sixième Edition Vigot, Paris, 1672 pp.
- \* **Fonty G. et Forano E., 1999.** Ecologie de la dégradation et de la fermentation des polyholosides constitutifs des parois végétales dans le rumen. *Cahier Agricultures*, Volume 8, Numéro 1, 21-35pp.
- \* **Fournier. F, 2003.** Nouvel outil pour évaluer avec plus de précision la valeur énergétique des fourrages. Conseil Québécois des plantes fourrages, Info-fourrages, Numéro 1.
- \* **Friesecke. H., 1979.** L'acide pantothénique en nutrition animale. Edité par F. Hoffmann. La roche et cie. 39 pp.
- \* **Friesecke. H., 1984.** L'acide nicotinique en nutrition animale. Edité par F. Hoffmann. La roche et cie. 34 pp.
- \* **Gadoud R. et al, 1992,** Nutrition et alimentation des animaux d'élevage, volume 1. les éditions Foucher , Paris. 120 pp.
- \* **Gasmi- Boubaker. A., Kayouli. C., Buldgen. A., 2005.** In vitro gaz production and its relationship to in situ disappearance and chemical composition of some Mediterranean browse species. *Animal feed science and technology*. xxx (2005) xxx-xxx.
- \* **Grenet E., 1997.** Aspects microscopiques de la dégradation microbienne des tissus végétaux dans le rumen. *INRA Prod. Anim.*, 10, 241-249pp.
- \* **Gurtler H.A.K., Kolb. E., Schroder. L., Seidel. H. 1975.** *Physiologie des animaux domestiques*. Ed. Vigot frères. Pages. 272 – 276pp.
- \* **Haddi. M. L, S. Filacorda, K. Meniai, F. Rollin, P. Susmel, 2003.** in vitro fermentation Kinetic of some halophyte shrubs sampled at three stages of maturity. *Animal feed science and technology* (104), 215-225pp.
- \* **Hnatyszyn M. et Guais A., 1988.** *Les fourrages et l'éleveur*. Technique et Documentation (Lavoisier). Paris. 440 pp.
- \* **Holt. J.G., N R., Smeath. P H.A., Stathey. J.T., Stanly T.W. 1994.** *Bergaay's manual of determinative bacteriology*. 9eme edition. Ed: Copright Williams et Wilkins.p 292 - 501.

- \* **Houmani, M. 1997.** Evolution des terres de parcours et bilan fourrager dans les zones arides algériennes. Dans: Actualité Scientifique: Biotechnologie, Amélioration des Plantes et Sécurité Alimentaires. Collection Universités Francophones. Ed ESTEM, Paris, pp. 175-176.
- \* **INRA.,ITEB.,INAP-G.,ITCF.,EDE., 1984.** Pratique de l'alimentation des bovins, 2<sup>ème</sup> édition. Paris, 160 pp.
- \* **INRAT., 1997.** Stage d'initiation aux méthodes chimiques et biologiques de détermination de la valeur alimentaire des aliments pour animaux. INRAT, Laboratoire de Nutrition Animale. Tunis, Juin 1997, 80 pp.
- \* **Jarrige. R, 1980,** Principe de la nutrition et de l'alimentation des ruminants Besoins alimentaire des animaux Valeur nutritive des aliments. INRA. 621p.
- \* **Jarrige. R, E.Grenet, C. Démarquilly, J. M. Besle, 1995.** Les constituants de l'appareil végétatif des plantes fourragères in R.Jarrige, Y.Ruckebush, C.Démarquilly, M.H.Farce, M.Journet, Nutrition des ruminants domestiques ingestion et digestion, 25-81pp. INRA, Paris.
- \* **Jean-Blain C., 1982.** Les plantes vasculaires: éléments de systématique. Ecole Vétérinaire de Lyon. Chaire de Nutrition et d'Alimentation, 74 pp.
- \* **Jean-Blain C., Grancher D., Egron G., Alves L., 1991-1992.** Cours de bromatologie. Fascicule 2, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,Chaire de Nutrition et Alimentation,95pp.
- \* **Jean-Blain C., Grancher D., Egron G., Alves L., 1992-1993.** Guide de travaux pratiques de bromatologie. Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 17 pp.
- \* **Jean-Blain. C, 2002.** Introduction à la nutrition des animaux domestiques. Edition Tec et Doc., Paris, 424pp.
- \* **Jouany J.P., 1981.** Microbiologie du rumen. Section III. Bull. Techn. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.(45), 51-55.
- \* **Jouany. J. P, 1991.** Les moyens de manipuler le fonctionnement du rumen. INRA, Champanelle, France.
- \* **Jouany. J.P, 2000.** La digestion chez les camélidés, comparaison avec les ruminants. INRA. Prod. Anim, 13, 165-176pp.
- \* **Kayouli. C., Jouany. J. P., Demeyer. D. I., Ali. A., Taoueb. Hatdardillat. C., 1993.** Comparative studies on the degradation and mean retention time of solid and liquid phases in the forestomachs of dromadaries and sheep fed on low- quality roughages from Tunisia. Animal feed science and technology. 40, 343-355pp.

- \* **Kolb. E, 1975.** Physiologie des animaux domestiques. Vigots Frères éditeur, Paris. 961 pp.
- \* **Le Coq R., 1965.** Manuel d'analyses alimentaire et d'expertises usuelles. Edition Doind. Deren et Cie. Tome II. Paris, 241-251pp.
- \* **Le Houérou, H.N. 1992.** The role of saltbushes (*Atriplex spp*). In arid land rehabilitation in the Mediterranean basin: A review. Agroforestry System, 18: 107-148pp.
- \* **Lemnour-Haddadi N. F. Z., 2001.** Etude comparative de deux pâturages (jachère et Médicago), effets sur le gain de poids et le métabolisme chez les ovins. Thèse de Magister. Université de Constantine, 156 pp.
- \* **Longuo H.F., Chelma A., Ouled Belkher A., 1989.** Quelques aspects botaniques et nutritionnels des pâturages du dromadaire en Algérie. Option Méditerranéennes Série Séminaires n° 2, 47-53pp.
- \* **Lowman. R. S., Teodorou. M. K., Hyslop. J. J., Dhanoa. M. S., Cuddeford. D., 1999.** Evaluation of in vitro batch culture technique for estimating the in vivo digestibility and digestible energy content of equine feeds using equine faeces as the source of microbial inoculum. Animal feed science and technology. 80, 11-27pp.
- \* **Martinko. Modigamm Parlier. 1997.** Biology of microorganisms. 9<sup>ème</sup> édition. Ed: Prentice-Hall, INC. Pages/ 161 -569pp.
- \* **Menke K.H., Raab. L., Salewski. A., Steingass H., Fritz.D., Schneider.W., 1979.** The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. J. Agric. Sci. Camb. 93, 217-222.
- \* **Menke K.H. et Steingass H., 1988.** Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. In: Animal Research and Development, 7-55pp. Volume 28. Institute for Scientific Co-operation, Tübingen.
- \* **Messaili B., 1995.** Systématiques des spermaphytes. Office des Publications Universitaires, 91 pp.
- \* **Morihervé. B, 1999-2000.** Etude de la dégradabilité de la matière sèche dans le rumen sur des coupes successives de *Panicum maximum* et des blanchages de *Leucaena leucocephala* ainsi que sur divers fourrages tropicaux, par la technique des sachets nylon, Mémoire présenté en vue de l'obtention du DES en gestion animale en milieu tropical, Faculté de médecine vétérinaire, Université de Liège.

- \* **Nagadi. S., Herrero. M., Jessop. N. S., 2000.** The influence of diet of the donor animal on the initial bacterial concentration of ruminal fluid an in vitro gas production degradability parameters. *Animal feed science and technology*. 87, 231-239pp.
- \* **Nedjraoui D., 2001.**Algérie Country pasture / Forage Resource Profiles. URBT, Alger.
- \* **Paragon B. M., 1984.** Alimentation minérale de la vache laitière. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort- Chaire de Nutrition- Alimentation, 67 pp.
- \* **Parissi. Z. M, T.G. Parachristou, A.S. Nastis, 2005.** Effect of dry method on estimated nutritive value of brows species using an in vitro gas production technique, *Animal feed science and technology*. Elsevier 2005.
- \* **Pitt. R. E., Cross. T. L., Pell. A. N., Schofield. P., Doane. P. H., 1999.** Use of in vitro gas production models in animal Kinetics. *Mathematical biosciences* 159, 145-163pp.
- \* **Rivière R., 1978.** Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. 2<sup>ème</sup> Edition, 527 pp.
- \* **Ruckebusch. Y. et P. Thivend, 1979.** Digestive physiology metabolism ruminants. In proceeding of the 5<sup>th</sup> international symposium on ruminants physiology, held at Clermont- Ferrand, on 3<sup>rd</sup> -7<sup>th</sup> September.
- \* **Rymer. C., Huntington. J. A., Givens. D. I., 1999.** Effects of inoculum's preparation method and concentration, method of inoculation and pre-soaking the substrate on the gas production profile of high temperature dried grass. *Animal feed science and technology*. 78, 199-213pp.
- \* **Russell. J. B, Robert. B. Hespell, 1981.** Microbial rumen fermentation. *Journal of diary science* vol. 64, n° 6.
- \* **Sauvant D., 1988.** La composition et l'analyse des aliments. In : Jarrige R. (ed), *Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins*, INRA, Paris. 305-314pp.
- \* **Sauvant D. et Van Milgen J., 1995.** Les conséquences de la dynamique de la digestion des aliments sur le métabolisme ruminal et les performances animales. *INRA Prod. Anim.*, 8 (5), 353-36pp.
- \* **Soltner., 1979.** Alimentation des animaux domestiques, le rationnement des bovins, des ovins et des porcs. *Collection et Techniques Agricoles*, 13ème édition. 79pp.
- \* **Soltner. D, 1999.** Alimentation des animaux domestiques. *Sciences et techniques agricoles Tome I*, 21 édition, 176 pp.

- \* **Stewart. C. S, G. Fonty, Ph. Gouet, 1988.** The establishment of rumen microbial communities. *Animal feed science and technology.* (21), 69-97, Elsevier science publishers B.V.
- \* **Thivend. P, 1982.** Physiologie digestive comparée. *Bull. Tech. C.R.Z..V. Theix. I.N.R.A,* (47), 73-79pp.
- \* **Thivend P., Fonty G., Jouany J.-P., Durand M., Gouet P., 1985.** Le fermenteur rumen. *Reprod. Nutr. Dévelop.,* 25 (4B), 729-753pp.
- \* **Thomas. P. C., Clapperton. L., The Hannah research institue. 1972.** Signification to the host of changes in fermentation activity. *Proc. Nutr. Soc,* 31, 165pp.
- \* **Timet. D., Emanovic. D., Herak. M., Klarjevic. P., Mitin. V., 1981,** Rôle des ions sodium dans l'absorption gastrique du calcium chez les ruminants. *Anm. Rech. vet,* 12 (1), 47-56pp..
- \* **Tremblay. G.F., Petit H.V., Lafrenière C., 2002.** Notions de qualité des fourrages. *Agriculture et Agroalimentaire Canada./Documents/Tremblay-et.al.,pdf.*
- \* **Valentin. S. F., Williams. P. E. V., Forbes. J. M., Sauvant. D., 1999.** Comparison of the in vitro gas production technique and the nylon bag degradability technique to measure short -and long- term processes of degradation of maize silage in dairy cows. *Animal feed science and technology.,* 78, 81-99.
- \* **Van Soest. P.J., Robretson. J.B., Lewiss. B.A., 1991.** Methods for dietary fiber, neutral detergent, and nonstrach polysaccharides in relation to animal nutrition. *J.Dairy Sci,* 74,3583-3597pp.
- \* **Vérité. R. et Peyraud J.L., 1988.** Nutrition azotée. In: Jarrige.R. (ed), *Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins,* 75-93pp.INRA, Paris.
- \* **Vérite. R., Durand. M., Jouany.J. P., 1986.** Influences des facteurs alimentaires sur la protéosynthèse microbienne dans le rumen. *Prod. Nutr. Dével,* 26 (1B), 181-201.
- \* **Wallace. R. J., 1992.** Rumen microbiology, biotechnology and ruminant nutrition: the application of research finding to a complex microbial ecosystem. *Federation of European microbiological societies.,* 100, 529-534pp.
- \* **Wallace. R.J, 1996.** The proteolytic systems of ruminal microorganisms. *INRA. Elsevier.,* 45, suppl, 301-308pp.
- \* **Wollin M.J. et Miller T.L., 1988.** Microbes interactions. In : Hobson P.N. (eds), *The rumen microbial ecosystem.* Eds, 343-359pp. Elsevier Science Publisher.
- \* **Wilson. P. N., 1987.** Caractéristiques of feedstuffs: Energy, nutrition Abstracts and reviews (série B), Vol, 57, N° 9.

## ABSTRACT

The study of the food value of the three plants halophytes grazed by the animals taken of the arid area located at Algerian South-east (Biskra), was carried out by chemical and biological methods.

The chemical analysis of the three shrubs of the arid regions showed that these plants are richer in calcium (10, 48%DM) than the leguminous plant of North (*Sulla*). But their high content in fibers (NDF and ADF), classify them like fibrous plants and not ligneous plants. The rates of the NDF can reach 45%DM at the *Salsola* kind. The study of the various nutritive components of our plants of arid regions took into account several parameters which are: the morphology of the plant (foliage and stems), the period of taking away and the season. The foliage show a high content in matter nitrogenized (20%DM at the *Sueada mollis*) and fat content, on the other hand the stems are richest in fibers and organic matter.

The various components are affected or not by the period of taking away, the season or the morphology and by the kind of these plants. In addition to chemical methods, biological methods allowed us the study of the nutritional quality of our plants, by in vitro technique using the liquid ruminal of dromedary.

The fermentation kinetics parameters of different parts of the shrubs concerned made it possible to study in-depth the characteristics of their “in vitro” degradation. The production of gas is less low than those noted for *Sulla*, the shrubs of the South are less degraded.

The energy value of the studied plants can reach 2,56MJ/kg DM for the weakened foliage of *Sueada*, and remain energy than *Sulla* (whole plant). Degradability of the organic matter has a maximum value at the kind *Atriplex* (662,3g/kg DM). The biological parameters (production of gas, speed of production) are correlated either positively or negatively with the chemical components. The data obtained by the analytical study and in vitro technique classify the shrubs regarded as fodder plants of the arid region (Biskra) less nutritive than leguminous plant of North (*Sulla*), and bring elements which enrich our knowledge known on the nutritional aspect by some fodder plants of our arid regions.

**Key words:** shrubs - arid region - chemical composition - *Salsola vermiculata* - *Sueada mollis* - season - nitrogenized matters - *Atriplex halimus* - energy value - fodder plants – degradation – dry matter (DM).

## الملخص

لقد تمت دراسة القيمة الغذائية لثلاث نباتات علفية محبة للملوحة (هالوفيت) تم جمعها من منطقة جافة في الجنوب الشرقي الجزائري (بسكرة)، اعتمدنا في هاته الدراسة على الطرق الكيميائية والبيولوجية.

في دراستنا لمختلف المكونات الغذائية لنباتات هاته المنطقة الجافة أخذنا بعين الاعتبار عدة عوامل هي: الفترات والفصول التي جمعت فيها، الجزء التكويني لهاته النباتات (أوراق، أغصان).

إن تأثير فترات الجمع وفصولها يختلف من نبتة إلى أخرى ومن مكون إلى آخر. من الناحية التكوينية تبين لنا أن الأوراق غنية بالمواد الأزوتية (تصل إلى 20% من المادة الجافة لنبتة سويدا) والمادة الدسمة. في حين أننا نجد الأغصان غنية بالألياف وبالمادة العضوية. كما يبين التحليل الكيميائي للشجيرات الثلاث أنها غنية بعنصر الكالسيوم (10.48% من مكونات المادة الجافة) وهي نسبة أكبر مما تحويه بقوليات الشمال (السلة).

ونجد أيضا أن نسبة الألياف فيها مرتفعة [الألياف المستخلصة بالمنظف الحمضي (ADF) والألياف المستخلصة بالمنظف المعتدل (NDF) التي تصل إلى 45% من محتوى المادة الجافة لدى نبتة الجل (*Salsola vermiculata*)]، مما يجعلنا نصنفها ضمن النباتات الغنية بالألياف وليس ضمن النباتات ذات النسبة العالية من الخشبين (ADL).

بالإضافة إلى التحليل الكيميائي تم استخدام طريقة بيولوجية لمعرفة النوعية الغذائية للنباتات المدروسة وهي طريقة "in vitro" استخدمنا فيها الفرث (محتوى الكرش) المأخوذ من جمل مذبوح.

إن دراسة آلية التخمر لمختلف الأجزاء النباتية للشجيرات سمحت بالتعرف أكثر على خصائصها التحليلية.

حيث نجد أن كمية الغاز المنتجة من طرف هاته النباتات هي أقل منها عند نبتة (السولا) مما يعني أن نباتات المناطق الجافة أقل تحللا من هاته البقوليات.

كما سمحت لنا نتائج الدراسة بتقدير القيمة الطاقوية للنباتات حيث تصل إلى 19.15 جول/كغ من المادة الجافة لدى أوراق السويدا (*Sueada mollis*)، وتبقى هاته القيمة أقل منها لدى نبتة السولا (*Sulla*). وقد يصل تحلل المادة العضوية لدى نبتة القطف (*Atriplex halimus*)

إلى قيمة قصوى تقدر بـ: 662.3 غ/كغ مادة جافة. كما نلاحظ أن الخصائص البيولوجية (كمية الغاز المنتجة، سرعة إنتاج الغاز) تتناسب بالإيجاب أو بالسلب مع مختلف المكونات الكيميائية.

هاته الدراسة التحليلية والبيولوجية تثبت أن شجيرات المنطقة الجافة (بسكرة) والتي تعتبر نباتات علفية، تصنف ضمن النباتات الأقل قيمة غذائية من بقوليات المناطق الشمالية (السلة) لكنها تغني معرفتنا بالجانب الغذائي لبعض النباتات العلفية في المناطق الجافة.

### الكلمات المفتاحية:

شجيرات – المنطقة الجافة – المكونات الكيميائية – الجل – المواد الأزوتية – الألياف – درجة التحلل – القطف – النباتات العلفية – السلة.

## Résumé

L'étude de la valeur nutritive de trois plantes halophytes broutées par les animaux ont été prélevé de la région aride située au Sud-est algérien (Biskra), a été réalisé par des méthodes chimiques et biologiques.

L'analyse chimique des trois arbustes des zones arides a montré que ces plantes sont plus riches en calcium (10,48% MS) que la légumineuse du Nord (*Sulla*).

Ainsi que leurs teneurs en fibres sont élevées (NDF et ADF), ce qui les classe comme des plantes fibreuses et non pas ligneuses.

Les taux des NDF (fibre neutre) peuvent atteindre 45% MS chez le genre *Salsola*. L'étude des différents constituants nutritifs de nos plantes de zones arides a pris en considération plusieurs paramètres qui sont: la morphologie de la plante (feuilles et tiges), la période de prélèvement et la saison.

Du point de vue morphologique les feuilles montrent une richesse en matière azotées (20% chez le genre *Sueada*) et en matière grasse, par contre les tiges sont les plus riches en fibres et en matière organique.

Les différents constituants sont soit affectés ou non par la période de prélèvement, la saison ou la morphologie de la plante et cela d'un genre à un autre de ces plantes halophytes.

En plus des méthodes chimiques, des méthodes biologiques nous ont permis l'étude de la qualité nutritionnelle de nos plantes, par la technique *in vitro* et en utilisant le liquide ruminal du dromadaire.

Les cinétiques fermentaires des différentes parties des arbustes concernées ont permis d'étudier en profondeur les caractéristiques de leurs dégradation "*in vitro*".

La production de gaz est moins élevée que celles notée pour *Sulla*, les arbustes du Sud sont moins dégradés.

La valeur énergétique des plantes étudiées peut atteindre 19.15MJ/kg MS pour les feuilles de *Sueada mollis*, et restent moins énergétiques que *Sulla* (plante entière). La dégradabilité de la matière organique chez ces plantes a une valeur maximale chez le genre *Atriplex* (662.3/kg MS).

Les paramètres biologiques (production de gaz, vitesse de production, temps de latence) sont corrélés soit positivement ou négativement aux constituants chimiques.

Les données obtenues par l'étude analytique et la technique *in vitro* classent les arbustes considérés comme des plantes fourragères en zones arides (Biskra) moins nutritifs que la légumineuse du Nord (*Sulla*), et apportent des éléments qui enrichissent nos connaissances sur l'aspect nutritionnel de quelques plantes fourragères de nos zones arides.

**Mots clés:** arbustes – zone aride – composition chimique – *Salsola vermiculata* — *Sueada mollis* – saison – matières azotées – *Atriplex halimus* – plantes fourragères – dégradation - valeur énergétique