



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

**Département : Microbiologie**

**قسم : ميكروبيولوجيا**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Sciences Biologiques**

**Spécialité : *Biologie Moléculaire des Microorganismes***

Intitulé :

---

**Apport bibliographique sur les sources alternatives d'énergie  
(Hydrates de carbone) et d'azote non protéique pour la flore  
Ruminale (chez la race bovine)**

---

**Présenté et soutenu par :** BOUSSEBOUA Rania

**Date de soutenance :** 02/07/2018

FELTANE Rym

**Jury d'évaluation :**

**Président du jury :** M. KADEM Djaou Eldjabine (Professeur - UFM Constantine 1).

**Rapporteur :** M. HADDI Mohamed-Laid (Professeur - UFM Constantine 1).

**Examinatrice :** Mme BENCHIHEUB Meriem (Maitre de conférence B - UFM Constantine 1)

**Année universitaire  
2017 - 2018**

# Remerciements

*Nous exprimons d'abord nos profonds remerciements à Dieu qui nous a donné le courage et la volonté pour achever ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos hautes considérations et nos vives reconnaissances à notre directeur de mémoire Monsieur **Haddi Mohamed-Laid**, Professeur à l'université Mentouri de Constantine, pour sa rigueur scientifique, sa grande disponibilité, sa patience, ses précieux conseils, son suivi et l'orientation dont nous avons pu bénéficier.*

*Nous exprimons nos profonds remerciements à Monsieur **Kadem Dhaou el Djabine** Professeur à l'université de Mentouri de Constantine pour nous avoir accepté d'assurer la présidence du jury et pour son support durant notre recherche.*

*Nous remercions vivement et chaleureusement le membre de jury Mme **Benchiheb Meriem** Maître de conférence classe B à l'université Mentouri de Constantine pour avoir accepté de lire et juger ce mémoire.*

*Nos sentiments de reconnaissance et nos remerciements vont également à tous nos collègues de la classe.*

*Je remercie vivement tous ceux qui m'ont aidée.*

# *Dédicaces*

*Je dédie cette thèse....*

*A mon père décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. J'espère que, du monde qui est sein maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, le Tout Puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !*

*A ma famille*

*Ma chère maman , Mes frères ; Aymen , Akram et Chouaib*

*Ma sœur Rania*

*A mes amis*

*Amira, Lamia, Malek, Nesrine, Manel*

***Rym***

# *Dédicaces*

*Je dédie cette thèse....*

*A ma très chère mère, aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que tu as consentis pour me permettre de suivre mes études dans les meilleures conditions possibles sans avoir cessé de m'encourager tout au long de mes années d'études. Que Dieu t'accorde une bonne santé et longue vie.*

*A mon très cher père, tu es le meilleur. Tu as été et tu seras toujours un exemple pour moi par tes qualités humaines et tes valeurs nobles. En ce jour, j'espère réaliser l'un de tes rêves. Aucune dédicace ne saurait exprimer mes respects, ma reconnaissance et mon profond amour. Puisse Dieu vous préserver et vous procurer santé et bonheur.*

*A mes frère Islam, walid et mes sœurs Iman, khawla et Rym , qui m'ont soutenue moralement et m'ont encouragée durant mon cycle universitaire.*

*A ma famille, qui m'a aidée d'une façon ou d'une autre dans l'achèvement de ce travail.*

*A mes amis et proches qui ont contribué on toute circonstance dans la réalisation de ce mémoire de près ou de loin par leur soutien moral et leurs encouragements*

*A ma princesse Tasnim.*

***Rania***

# Table des matières

Introduction.....	1
-------------------	---

## Chapitre I : Le rumen

1. Définition du rumen .....	3
2. Conditions variables du rumen .....	3
3. Conditions stables du rumen .....	3
4. Microorganismes hôtes du rumen.....	4
4.1. Protozoaires.....	4
4.2. Champignons .....	5
4.3. Bactéries.....	6

## Chapitre II : Les grandes familles des bactéries dans le rumen

1. Bactéries fibrolytiques .....	10
1.1. Bactéries cellulolytiques .....	10
• Digestion de la cellulose par les bactéries cellulolytiques.....	10
1.2. Bactéries hémicellulolytiques .....	10
1.3. Bactéries pectinolytiques .....	10
2. Bactéries amylolytiques .....	11
• Mécanisme de dégradation de l'amidon par la flore bactérienne ruminale.....	11
3. Bactéries protéolytiques .....	11
4. Bactéries utilisatrices de glucides simples .....	11
5. Bactéries utilisatrices des lipides .....	11

## Chapitre III : La localisation des microorganismes dans le rumen

1. Protozoaires .....	14
2. Champignons .....	14
3. Bactéries .....	14

#### **Chapitre IV : Le métabolisme azoté dans le rumen**

1. Rôle des bactéries du rumen dans le métabolisme azoté.....	16
2. Sources d'azote pour les microorganismes du rumen .....	17
3. Effets de l'azote sur la synthèse des protéines microbiennes .....	18
4. Besoins en azote du ruminants .....	19
5. Déchets d'azote et pollution .....	22

#### **Chapitre V: Le métabolisme énergétique dans le rumen**

1. Rôle des bactéries du rumen dans le métabolisme énergétique .....	24
2. Sources d'énergie pour les microorganismes du rumen .....	25
3. Besoins en énergie du ruminant .....	29

#### **Chapitre VI : Sources alternatives d'énergie pour le ruminant**

1. Valorisation des sous produits agroalimentaires.....	32
a. Sous produits de pommes de terre .....	32
b. Sous produits de tomate .....	34
c. Sous produits de datte .....	35
d. Sous produits d'olive .....	38
e. Sous produits d'agrumes .....	39
2. Céréales immatures .....	40

## Chapitre VII : Les sources alternatives d'azote pour le ruminant

1. Bicarbonate d'ammonium .....	43
2. Nitrate de potassium .....	43
3. Glutamate de sodium .....	44
4. Extrait de levure .....	45
5. Urée .....	46
6. Ammoniaque .....	46
Conclusion.....	49
Références bibliographiques.....	.
Résumé.....	.....
Summary.....	.....
ملخص.....	.....

## Liste des tableaux

<b>Tableau - 1</b>	Principaux protozoaires du rumen .....	5
<b>Tableau - 2</b>	Principaux champignons du rumen ... ..	6
<b>Tableau - 3</b>	Caractéristiques de quelques bactéries du rumen ... ..	8
<b>Tableau - 4</b>	Récapitulatif des besoins protéiques selon les principaux stades physiologiques du ruminants.....	20
<b>Tableau - 5</b>	Valeurs azotées des principaux types d'aliments .....	21
<b>Tableau - 6</b>	Les valeurs nutritives des sous produits de la pomme de terre pour les ruminants .....	33
<b>Tableau - 7</b>	Les valeurs nutritionnelles pour 100 g de pomme de terre .....	34
<b>Tableau - 8</b>	La composition chimique globale des résidus de tomates .....	35
<b>Tableau - 9</b>	La composition chimique des rebuts et des noyaux de dattes .....	35
<b>Tableau - 10</b>	La composition chimique des déchets des dattes ... ..	36
<b>Tableau - 11</b>	La composition chimique de différents types de grignons d'olive .....	38
<b>Tableau - 12</b>	La composition chimique de la pulpe d'agrumes ... ..	39
<b>Tableau - 13</b>	La valeur alimentaire de la pulpe d'agrumes .....	40
<b>Tableau - 14</b>	La valeur alimentaire de quelques céréales immatures .....	40
<b>Tableau - 15</b>	Comparaison des prix de revient de l'ensilage de maïs et de céréales immatures.....	41
<b>Tableau - 16</b>	La composition chimique de l'extrait de levure ... ..	45
<b>Tableau - 17</b>	Toxicité et prix des sources alternatives d'azotes ... ..	45
<b>Tableau - 18</b>	La valeur nutritive des grignons traités à l'ammoniac ... ..	47

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> - Transformation des lipides via la lipolyse et la biohydrogénation .....	12
<b>Figure 2</b> - Schéma général du métabolisme azoté au niveau du rumen.....	17
<b>Figure 3</b> - Le métabolisme azoté et la synthèse des protéines microbiennes chez les ruminants....	18
<b>Figure 4</b> - Schéma de la digestion des glucides dans le rumen.....	25
<b>Figure 5</b> - Structure de la cellulose .....	26
<b>Figure 6</b> - Les différents niveaux d'arrangement de cellulose.....	26
<b>Figure 7</b> - Structure de l'hémicellulose. ....	27
<b>Figure 8</b> - Structure de la pectine.....	27
<b>Figure 9</b> - Structure de l'amidon .....	28
<b>Figure 10</b> - Métabolisme de nitrate et nitrite ... ..	29
<b>Figure 11</b> - Utilisation de l'énergie des aliments chez les ruminants ... ..	30
<b>Figure 12</b> - Métabolisme des nitrates et nitrites .....	44

## Liste des abréviations

**ADF:** Acid Detergent Fiber

**ADL:** Acid Detergent Lignin

**AGV :** Acides Gras Volatils

**ANP :** Azote Non Protéique

**BP :** Protéine Brute Alimentaire

**CB :** Cellulose Brute

**CPPT :** Concentré Protéique de Pomme de Terre

**CUD<sub>a</sub> :** Coefficients de l'Utilisation Digestible

**EB :** Energie Brute

**ED :** Energie Digestible

**EM :** Energie Métabolisable

**EN :** Energie Nette

**MAT :** Matière Azoté Total

**MG :** Matière Grasse

**MM :** Matière Minéral

**MO :** Matière Organique

**MP :** Protéine Métabolisable

**MS :** Matière Sèche

**NDF :** Neutral Detergent Fiber

**OEB :** Onbestendige Eiwit Balans

**PDI :** Protéine Digestible dans l'Intestin

**PDIE :** Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle permises par l'Energie (E) apportée par l'aliment

**PDIN :** Protéines Digestibles dans l'intestin grêle permises par l'azote (N) apportée par l'aliment

**pH** : Potentiel d'Hydrogène

**PIA** : Protéine Intestinale d'origine Alimentaire

**QDP** : Quickly Degradable Protein

**RDP** : Ruminally Degradable Protein

**RGA** : Ray Grass Anglais

**SDP** : Slowly Degradable Protein

**TB** : Taux Butyreux

**UDP** : Undegradable Protein

**VEM** : Valeur Energétique

**VEMI** : Valeur Energétique

# *Introduction générale*

Les ruminants sont des agents incontournables dans la transformation des aliments qui sont de faible valeur nutritive et impropres à la consommation humaine en aliments de haute qualité grâce à leur capacité à synthétiser des protéines digestibles provenant de sources d'azote non protéique (NPN) telles que l'urée et l'ammoniac et leur capacité à utiliser l'énergie des matériaux cellulosiques. Ces deux caractéristiques sont assurées par l'activité enzymatique des micro-organismes du rumen.

Cette catégorie d'animaux qui est très présente en Afrique et spécialement en Algérie contribue à la satisfaction des besoins des populations en viande rouge, en lait et ces dérivés, en cuir, en plus de la puissance de traction et de carburant. Cependant cette demande croît, sans cesse, du fait de la forte démographie, alors que le taux de croissance annuel des effectifs des ruminants demeure faible vu les difficultés rencontrées par les éleveurs notamment la faible productivité, due essentiellement à des problèmes d'alimentation.

La ration alimentaire idéale des ruminants est essentiellement constituée de fourrages soit verts directement pâturés par les animaux pendant la belle saison soit récoltés et conservés pour une consommation ultérieure durant l'hiver. Mais en réalité la disponibilité de fourrages verts est limitée à des périodes très courtes de l'année, ce qui oblige les éleveurs à recourir à l'achat d'un complément d'alimentation de bétail afin d'assurer la couverture des besoins nutritionnels de ces animaux, ce qui va alourdir les charges et induire ainsi un coût de production élevé.

Dans le cadre de ce mémoire nous avons essayé d'apporter des solutions à ce problème dans un but économique, on a cherché à évaluer des sources alternatives d'énergie et d'azote pour les ruminants qui sont moins chères mais sans affecter la valeur nutritive des aliments achetés et par conséquent abaisser le coût de production.

Ce travail de fin d'étude traite la recherche de sources alternatives d'énergie et d'azote pour la flore ruminale. Et pour cela, nous avons centré notre travail sur la partie théorique qui comporte les grandes connaissances sur les ruminants, le métabolisme ruminal, les sources d'énergie et d'azote conventionnelles et alternatives.

Mais nous n'avons pas réalisé la partie pratique vu la non disponibilité du matériel de l'anaérobiose qui est la base essentielle dans notre travail.

# *Chapitre I*

## *Le rumen*

### 1. Définition du rumen

Le rumen est un écosystème complexe dans lequel les aliments consommés par les ruminants sont digérés par une microflore active et diversifiée (Weimer, 1996). Les enzymes présents dans le rumen sont produites par ces micro-organismes. Ainsi, le rumen est considéré comme une cuve de fermentation (Aschenbach *et al.*, 2011).

### 2. Conditions variables du rumen

Le rumen est dynamique car la population microbienne change considérablement avec le changement du régime alimentaire afin d'adapter aux nouveaux ingrédients alimentaires. Cela se produit parce que les microbes du rumen sont adaptés pour survivre dans un ensemble de contraintes qui prévalent dans le rumen, et tout contaminant qui ne peut pas survivre à ces contraintes est éliminé (Kamra, 2005). La vitesse à laquelle les aliments pénètrent dans le rumen sera très différente pendant le pâturage ou l'alimentation à l'étable. Le débit salivaire n'est pas stable et l'activité de rumination qui n'est pas persistante dépendra du type de régime. Les acides gras volatils (AGV) peuvent quitter le rumen par le passage dans le tractus inférieur ou ils peuvent être absorbés et partiellement métabolisés dans l'épithélium (Bach *et al.*, 2005).

### 3. Conditions stables du rumen

L'écosystème microbien du rumen est stable car il est bien établi et remplit la fonction de bioconversion des aliments en acides gras volatils pour la biomasse microbienne. Chez un ruminant en bonne santé, la contamination de l'écosystème ne se produit pas malgré le fait que des millions de microbes envahissent le rumen chaque jour à travers l'alimentation, l'eau potable et l'air (Kamra, 2005).

les paramètres physico-chimiques qu'on pourrait trouver dans le rumen :

- La température est généralement maintenue dans la plage de 38-41 °C, la température 39 °C est utilisée comme Température moyenne.
- Le pH du rumen peut aller d'environ 7 sur les régimes alimentaires riches en fibres jusqu'à 4,6 sur les régimes riches en céréales.

- Le potentiel redox moyen est de -350mv reflétant le fort environnement réducteur.
- L'absence d'oxygène donc c'est une condition d'anaérobiose.
- Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et le méthane sont les principaux gaz présent dans le rumen.
- Vitesse de transit vers les intestins, due à la motricité musculaire du rumen.

#### 4. Microorganismes hôtes du rumen

Les ruminants (par exemple les bovins, les moutons, les chèvres, les cervidés, etc.) ne synthétisent pas les enzymes digérant les fibres, mais ils forment une relation symbiotique avec les micro-organismes du rumen qui le peuvent. Le ruminant fournit aux microorganismes un habitat pour leur croissance, le rumen et les microorganismes fournissent à l'animal des acides de fermentations, des protéines microbiennes et des vitamines (**Hungate, 1966**).

La population microbienne du rumen est complexe et comprend des membres appartenant aux trois groupes suivants: bactéries, protozoaires et champignons.

##### 4.1 Protozoaires

Les protozoaires sont des organismes eucaryotes. On distingue deux types dans le rumen : les flagellés et les ciliés. Ils constituent 40 à 80% de la biomasse microbienne, les plus abondants (**tableau 1**) étant les ordres des Entodiniomorphida et des Holotricha (**Briki et Debab, 2009**). Les holotrichs peuvent assimiler les sucres solubles et en conserver une partie dans les réserves de polysaccharides; ainsi, ces protozoaires peuvent diminuer le risque d'acidose après une ingestion d'aliments contenant de fortes concentrations de sucres facilement fermentescibles (**Van Zwieten et al., 2008**). Les protozoaires ciliés du rumen sont 20 à 100 fois plus grands en taille que les bactéries mais ils sont mille fois moins nombreux. Leur biomasse dans le rumen est distribuée entre les particules solides et la phase liquide (**Jouany, 1994**).

**Tableau 1** : Principaux protozoaires du rumen (**Castillo-González et al., 2014**)

Protozoaires	Produits de fermentation	Référence
<b>Protozoaires cellulolytiques :</b> <i>Enoploplastron trilorlicatum</i> <i>Eudiplodinium maggii</i> <i>Diploplastron affine</i> <i>Epidinium ecaudatum</i> <i>Diplodinium monacanthum</i> <i>Diplodinium pentacanthum</i>	Sucres réducteurs	<b>(Coleman et al., 1976)</b>
<b>Protozoaires protéolytiques :</b> <i>Entodinium caudatum</i> <i>Eudiplodinium medium</i>	Ammonium, AGV Ammonium, AGV	<b>(Ivan et al., 2000)</b> <b>(Forsberg et al., 1984)</b>

## 4.2 Champignons

Les champignons (**tableau 2**) représentent une petite proportion, environ 8%, de la biomasse microbienne dans l'écosystème ruminal (**Jenkins et al., 2008**). Les champignons du rumen sont anaérobies stricts, ce qui est tout à fait exceptionnel dans le groupe des champignons. Ils ne possèdent pas de mitochondries, ni de cytochromes et assurent uniquement la fermentation de tissus celluloliques.

Ils colonisent les tissus lignifiés qui restent dans le rumen, diminuent la taille des particules, cassent les structures, et dégradent des tissus mêmes très lignifiés. Les enzymes nécessaires sont extra-cellulaires. Les champignons ne sont pas indispensables, parfois absents, et prennent toute leur importance avec les fourrages de mauvaise qualité (**Tiret, 2001**).

**Tableau 2** : Principaux champignons du rumen (**Castillo-González et al., 2014**)

Champignons	Produits de fermentation	Références
<i>Neocallimastix frontalis</i>	Lactate, formate, acétate, succinate, ethanol.	<b>(Moniello et al., 1996)</b>
<i>Piromyces communis</i>	Cellobiose	<b>(Dashtban et al., 2009)</b>
<i>Orpinomyces joyonii</i>	Glucose	<b>(Hodrova et al., 1995)</b>

### 4.3 Bactéries

Les bactéries constituent environ la moitié des microorganismes vivants à l'intérieur du rumen. Cependant, ils font plus de la moitié du travail dans le rumen (**Hungate, 1966**). Ils sont principalement anaérobies strictes bien que quelques anaérobies facultatifs existent, jouant un rôle clé dans l'élimination rapide de l'oxygène de l'environnement du rumen. La population bactérienne est variée allant de ceux qui digèrent les glucides (cellulose, hémicelluloses, pectine, amidon, sucres simple) à ceux qui utilisent les acides ou l'hydrogène comme source d'énergie. Le nombre de bactéries et les populations relatives des espèces individuelles varient avec le régime alimentaire de l'animal; par exemple, les régimes riches en aliments concentrés favorisent la prolifération des lactobacilles (**Russell, 2002**).

## *Chapitre II*

# *Les grandes familles de bactéries dans le rumen*

### Introduction

Plusieurs études ont décrit l'isolement et l'identification d'un nombre important de souches bactériennes provenant de ruminants qui diffèrent par l'âge, le régime alimentaire, la répartition géographique, le statut sanitaire, etc. Elles sont généralement composées de bactéries anaérobies strictes non sporulées et elles sont regroupées selon le type de substrat fermenté dans le rumen (Guillaume, 2007).

**Tableau 3:** Caractéristiques de quelques bactéries du rumen (Stewart et al., 1997)

<i>Espèce</i>	<i>Gram</i>	<i>Morpho</i>	<i>%G+C</i>	<i>Produits: majeurs et mineurs</i>	<i>Type</i>
<i>Prevotella ruminicata</i>	-	<i>Bâton</i>	49-50	Acétate, succinate (Formate, propionate, isobutyrate, butyrate, isovolérate, lactate)	Hémicellulose, protéines
<i>Ruminobacter amylophilus</i>	-	<i>Bâton</i>	40-42	Formate, acétate, succinate (lactate)	Amidon
<i>Fibrobacter succinogenes</i>	-	<i>Bâton</i>	47-49	Acétate, succinate (formate, propionate, isovolérate)	Cellulose
<i>Setenomonas ruminantium</i>	-	<i>Croissant</i>	54	Lactate, propionate, acétate, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	Protéines Sucres
<i>Butyrivibrio Fibrisolvens</i>	-	<i>Bâton courbé</i>	36-41	Formate, butyrate, acétate, H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> (Lactate, succinate)	Répondue cellulolytique
<i>Anaerovibrio lipolytica</i>	-	<i>Bâton</i>		Propionate, succinate, acétate  H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> (lactate)	Lipides
<i>Vibrio (wolinella) succinogenes</i>	-	<i>Vibrion</i>	47	Succinate H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	Baisse H <sub>2</sub>
<i>Succinivibrio dextinosolvens</i>	-	<i>Vibrion</i>		Acétate, succinate (Formate, lactate)	Dextrines

<i>Treponema bryantii</i>	-	<i>Hélice</i>	35-37	<i>Formate, acétate, succinate</i>	<i>Sucres</i>
<i>Veillanella parvula</i>	-	<i>Coque</i>	38-41	<i>Acétate, propionate, H<sub>2</sub> (Lactate)</i>	<i>Lactate</i>
<i>Sucinomonas amylolytica</i>	-	<i>Coque ou bâton</i>		<i>Succinate (acétate, propionate)</i>	<i>Amidon</i>
<i>Ruminococcus albus</i>	+	<i>Coque</i>	42-46	<i>Acétate, éthanol, CO<sub>2</sub> (formate, lactate)</i>	<i>Cellulose</i>
<i>Ruminococcus flavifaciens</i>	+	<i>Coque</i>	39-44	<i>Acétate, succinate, H<sub>2</sub> (formate, lactate)</i>	<i>Cellulose</i>
<i>Streptococcus bovis</i>	+	<i>Coque</i>	37-39	<i>Lactate, CO<sub>2</sub> (formate, acétate, éthanol)</i>	<i>Amidon</i>
<i>Lachnospira multiparus</i>	+	<i>Bâton</i>		<i>Formate, acétate, lactate, H<sub>2</sub> (succinate, éthanol)</i>	<i>Pectine</i>
<i>Eubacterium ruminantium</i>	+	<i>Bâton</i>		<i>Formate, butyrate, lactate, CO<sub>2</sub> (succinate, éthanol)</i>	<i>Xylanes, sucres</i>
<i>Lactobacillus ruminis</i>	+	<i>Bâton</i>	44-47	<i>Lactate</i>	<i>Sucres</i>
<i>Methanomicrobium sp</i>			49	<i>Méthane CH<sub>4</sub></i>	<i>Formate</i>
<i>Methanobacter ruminantium</i>			31	<i>Méthane (CH<sub>4</sub>)</i>	<i>Formate</i>
<i>Methanobacterium formteium</i>			41	<i>Méthane (CH<sub>4</sub>)</i>	<i>Formate</i>

### 1. Bactéries fibrolytiques

La fibre est une composante essentielle des tissus végétaux. On trouve deux type de celle-ci : l'hémicellulose et la cellulose. Les ruminants ont la capacité d'extraire l'énergie contenue dans l'hémicellulose et la cellulose mais pas dans la lignine (François, 2007).

### 1.1. Bactéries cellulolytiques

La population de cette famille occupe 4 à 9% et peut aller jusqu'à 17% de la population bactérienne du rumen (**Michalet-Doreau et al., 2001**). Elle présente deux types : les coques (*Ruminococcus flavefaciens* et *Ruminococcus albus*) et les bacilles (*Fibrobacter succinogenes* et *Butyrivibrio fibrisolvens*) (**Hungate, 1966**).

- **Digestion de la cellulose par les bactéries cellulolytiques**

La première étape de la cellulolyse est l'adhérence des bactéries à la cellulose et aux fibres végétales (**Hungate, 1950**). Les cellulases sont les enzymes responsables de cette hydrolyse, elles sont de trois familles qui fonctionnent en synergie et qui sont :

- Les endoglucanases 1,4-  $\beta$ -D-glucan glucanohydrolases et carboxyméthylcellulase scindent de manière aléatoire les chaînes de cellulose en glucose et en cello-oligosaccharides.
- Les exoglucanases et 1,4- $\beta$ -D-glucan cellobiohydrolases hydrolysent l'unité de cellobiose à partir de l'extrémité non réductrice de la chaîne.
- Les  $\beta$  glucosidases et cellobiases réalisent l'hydrolyse de la cellulose en glucose (**Krause, 2003**).

### 1.1. Bactéries hémicellulolytiques

La digestion de l'hémicellulose est assurée par un certain nombre de bactéries, parmi lesquelles *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Prevotella ruminicola*, ainsi que les *Ruminococci* (**Tiret, 2001**). Les hémicelluloses sont hydrolysées par 3 enzymes : les endoxygénases, les exoxygénases et les bêta-xylosidases qui vont permettre la formation de xylose et autres pentoses (**Rey, 2012**). Les xylanases présentent une répartition plus large que les cellulases parmi les bactéries ruminales. Les microorganismes produisent généralement plus d'une xylanase (**Krause, 2003**).

### 1.2. Bactéries pectinolytiques

Les principales bactéries pectinolytiques sont : *Lachnospira multiparus*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Prevotella ruminicola*. Les enzymes responsables sont classifiées en deux groupes : les pectines estérases, qui catalysent la dégradation du méthanol, et les enzymes de dépolymérisation, qui sont soit des hydrolases, soit des lyases (**Stewart, 1988**).

## 2. Bactéries amylolytiques

Les amylolytiques sont celles qui attaquent l'amidon. Ils y a deux types de bactéries certaines qui sont cellulolytiques et aussi amylolytiques comme des souches de *F. succinogenes*, et *B. fibrisolvens* et d'autres non cellulolytiques comme *Streptococcus bovis*, *Prevotella ruminicola* (Guillaume, 2007).

- **Mécanisme de dégradation de l'amidon par la flore ruminale**

Les bactéries amylolytiques hydrolysent l'amidon par la production des amylases à la surface ou utilisent d'autres mécanismes à la surface de la cellule pour transformer l'amidon en malto-oligomères qui sont assimilables pour la cellule. Cette hydrolyse conduit également à l' $\alpha$ -maltose qui peut être lui-même transformé en glucose (Guillaume, 2007).

## 3. Bactéries protéolytiques

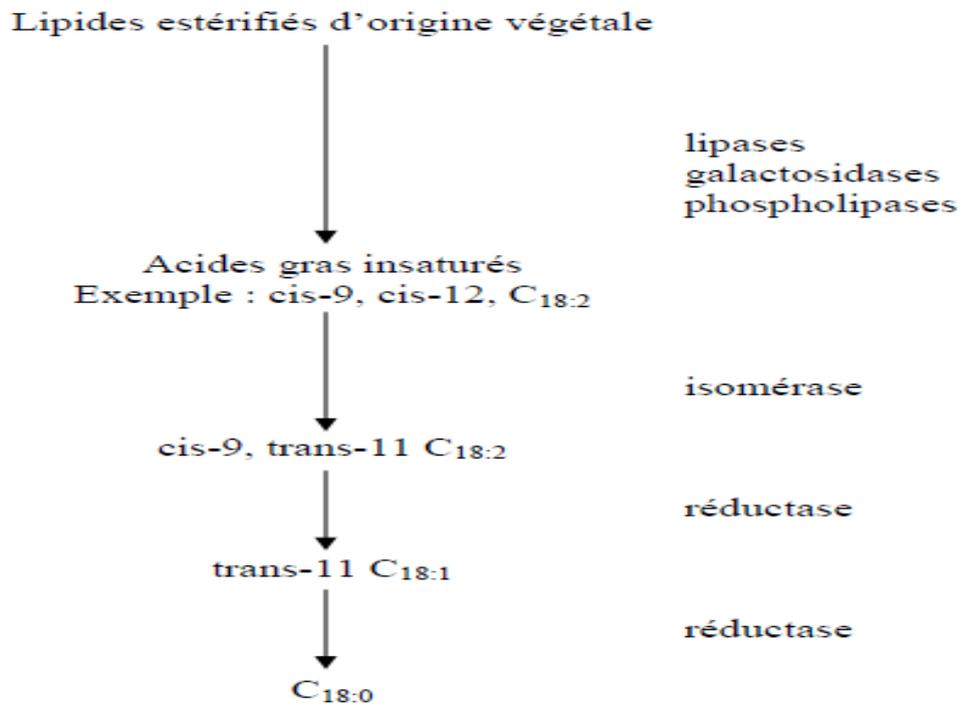
La protéolyse du rumen est réalisée par la production enzymatique de micro-organismes ruminants par des processus d'hydrolyse des protéines, la dégradation des peptides et la désamination des acides aminés. Les principales espèces bactériennes ayant une activité protéolytique sont *Bacteroides amylophilus*, *Bacteroides ruminicola* et *Butyrivibrio fibrisolvens* (Cotta et Hespell, 1986).

## 4. Bactéries utilisatrices des lipides

Le métabolisme des lipides se résume en deux étapes ; la lipolyse et la biohydrogénation. Pendant la lipolyse les acides gras libres insaturés sont rapidement hydrogénés pour donner des produits terminaux partiellement saturés, cette action est assurée par une enzyme isomérase puis une réductase microbienne (figure 1) (Jenkins, 1993).

## 5. Bactéries utilisatrices des glucides simples

Dans la population bactérienne ruminale existe une partie importante d'espèces bactériennes capables d'hydrolyser les glucides simples, les plus connues sont ; *S. ruminantium*, *S. bovis*, *B. fibrisolvens* (Goad *et al.*, 1998). Et aussi deux principaux lactobacilles qui sont *Lactobacillus ruminis*, et *Lactobacillus vitulinus* (Stewart et Bryant, 1988).



**Figure 1 :** Transformation des lipides via la lipolyse et la biohydrogénation (Jenkins, 1993)

## *Chapitre III*

# *La localisation des microorganismes dans le rumen*

### 1. Protozoaires

Les protozoaires ciliés sont généralement libres dans le liquide ruminal mais certains se fixent également aux particules végétales, cette attachement peut expliquer leur rétention dans le rumen, ainsi que leur survie dans cet organe (**Bauchop et Clarke, 1976**).

### 2. Champignons

Les champignons sont également étroitement associés aux particules alimentaires. Les zoospores, grâce à un chimiotactisme prononcé pour de nombreux glucides végétaux, s'attachent puis s'enkystent et germent sur les tissus végétaux endommagés (**Orpin, 1984**).

### 3. Bactéries

Dans le rumen, les bactéries occupent trois biotopes distincts. Elles peuvent être libres dans le liquide de rumen, ou attachées soit à la paroi interne du rumen, soit aux particules alimentaires. Enfin, certaines espèces bactériennes vivent également liées à la surface des protozoaires (**Imai et Ogimoto, 1978**).

## *Chapitre IV*

# *Le métabolisme azoté dans le rumen*

## Introduction

Le métabolisme des protéines dans le rumen est le résultat de l'activité métabolique des microorganismes du rumen. La structure de la protéine est un facteur clé pour déterminer sa susceptibilité aux protéases microbiennes et par conséquent sa dégradabilité. La dégradation des protéines dans le rumen est influencée par le pH et l'espèce prédominante de la population microbienne (**Bach et al., 2005**). L'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'azote ( $N_2$ ) chez les ruminants est un paramètre important dans la réduction des coûts d'alimentation et l'atténuation de l'impact environnemental négatif. La compréhension de l'utilisation métabolique de l'azote microbien et de l'animal entier peut faciliter la formulation des rations pour une efficacité optimale (**Genzebu et Tesfay, 2015**).

### 1. Rôle des bactéries du rumen dans le métabolisme azoté

Les protéines fournissent les acides aminés nécessaires pour le maintien des fonctions vitales, grâce aux microorganismes protéolytiques présents dans le rumen. Les protéines alimentaires séparées en deux catégories: protéines non dégradables et protéines dégradables, ces dernières dégradées dans la cellule bactérienne comme suit: la cellule microbienne attachée à la surface des particules alimentaires, suivi par l'activité des protéases microbiennes qui donne des acides aminés et des peptides. Les acides aminés sont transportés dans la cellule et utilisés pour fabriquer les protéines microbiennes.

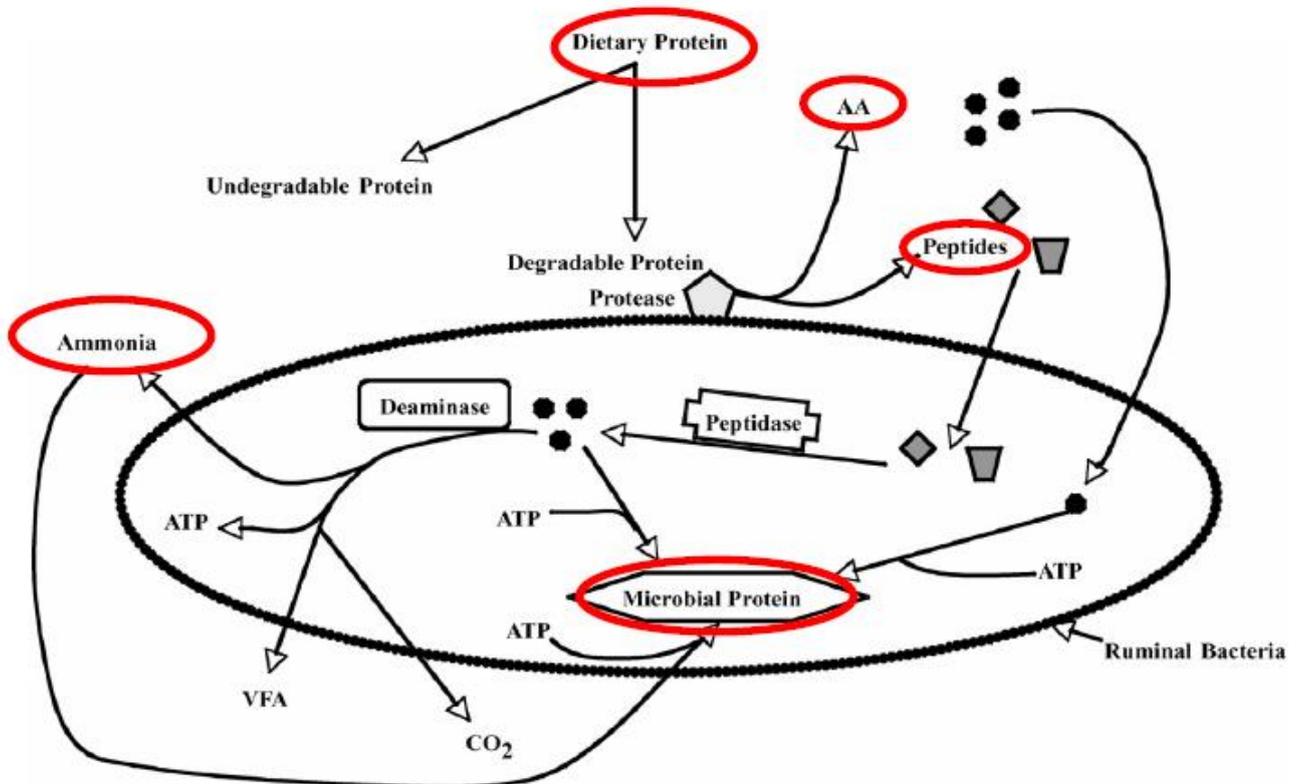
Les peptides aussi sont transportés à l'intérieur de la cellule microbienne, ils sont attaqués par des peptidases qui donnent encore des acides aminés, ces acides aminés soit utilisés dans la synthèse des protéines microbiennes (si l'énergie des glucides est disponible). Soit désaminés pour donner les AGV, l'ATP,  $CO_2$  et l'ammoniac ce dernier peut être utilisé par la cellule bactérienne pour fabriquer les protéines microbiennes (figure 2) (**Bach et al., 2005**).

Lorsque la quantité d'ammoniac est insuffisante pour les besoins des microorganismes, la digestibilité des aliments tend à diminuer. Par contre, trop d'ammoniac dans le rumen entraîne un gaspillage d'azote et la possibilité d'intoxication et la mort dans le cas extrême.

La quantité d'ammoniac transformée en protéines bactériennes dépend surtout de la quantité d'énergie générée par la fermentation des hydrates de carbone (**Wattiaux, 1994**).

Pendant l'utilisation des composés azotés, les bactéries se montrent nettement incapables de transformer la totalité des composés ingérés en protéines consommables par l'homme. L'efficacité azotée mesure cette aptitude et se calcule par le rapport entre les composés azotés retenus et les composés azotés ingérés. L'azote est principalement rejeté par les animaux dans l'environnement par les voies fécales et urinaires. La première voie correspondant à la partie indigestible de l'azote alors

que la deuxième correspondant aux déchets métabolique (Beckers, 2013).

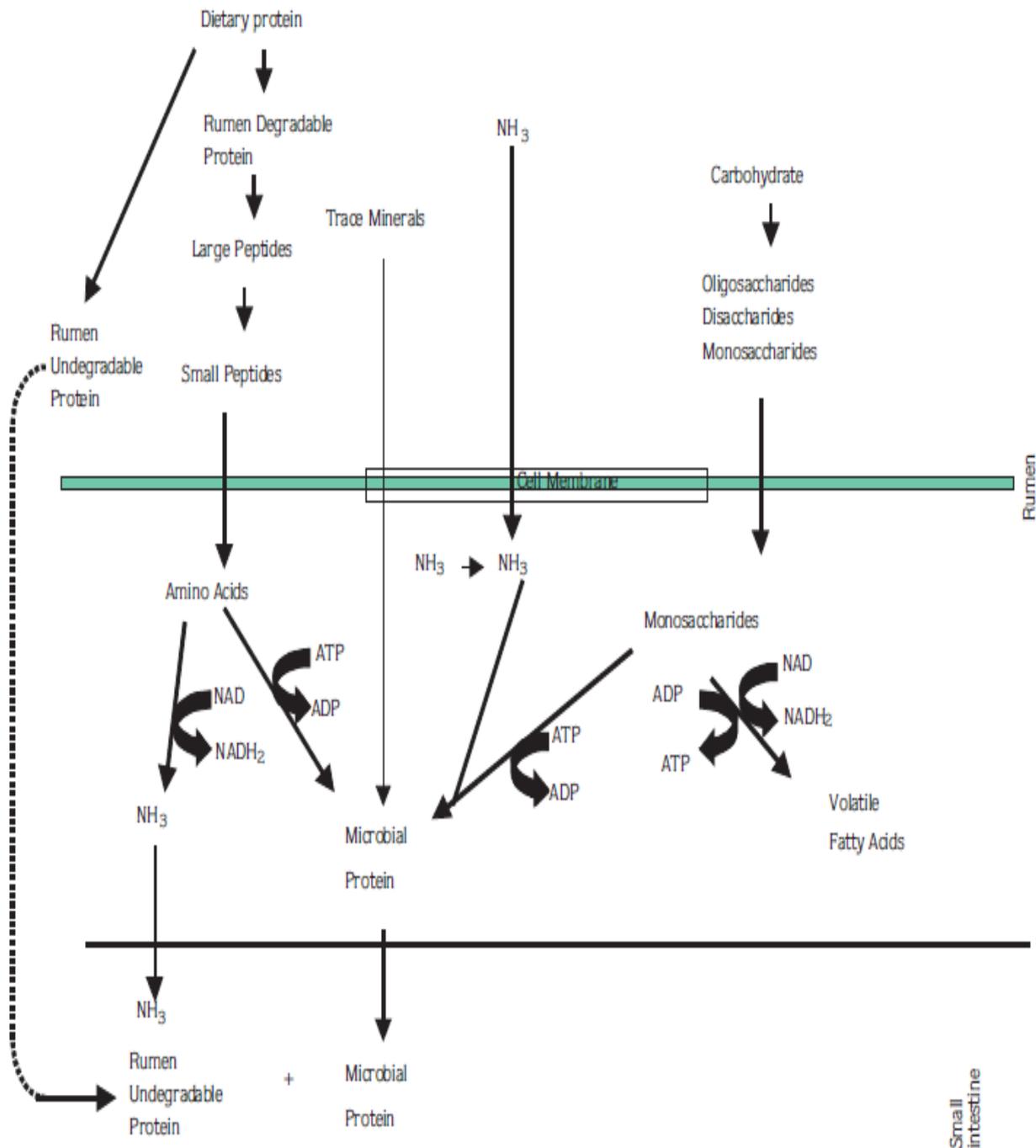


**Figure 2** : Schéma général du métabolisme azoté au niveau du rumen (Bach, 2005)

## 2. Sources d'azote pour les microorganismes du rumen

L'ammoniac, les acides aminés, les peptides, l'urée, les acides nucléiques et d'autres composés azotés, y compris le nitrate et la choline, sont les sources d'azote pour la synthèse microbienne des protéines dans le rumen (figure 3).

Les composés qui ne sont pas de vraies protéines mais qui contiennent de l'azote sont de l'azote non protéique (NPN) et comprennent des acides nucléiques, des nitrates et l'urée. Les bactéries du rumen sont capables de convertir les NPN en protéines de haute qualité destinées aux vaches laitières, mais elles dégradent également les protéines alimentaires de haute qualité en ammoniac qui est la principale source d'azote pour la synthèse des protéines microbiennes (Genzebu et Tesfay, 2015).



**Figure 3 :** Le métabolisme azoté et la synthèse des protéines microbiennes chez les ruminants (Nocek *et al.*, 1988)

### 3. Effets d'azote sur la synthèse des protéines microbiennes

- **Concentration de l'azote :**

La synthèse protéique microbienne du rumen nécessite un apport suffisant d'azote pour atteindre une

efficacité maximale. Lorsque la concentration d'azote est insuffisante pour une croissance optimale, une fermentation non couplée avec l'azote peut se produire, entraînant une fermentation sans utilisation efficace d'ATP. Afin d'obtenir une croissance microbienne maximale, la disponibilité en énergie et en azote doit être équilibrée.

Une perfusion d'urée à 22 g/j dans le rumen des moutons nourris avec un foin de ray-grass et un régime de maïs roulé contenant 7,3% de protéine brute alimentaire (PB) améliorerait la synthèse des protéines microbiennes. Des études ont indiqué que l'augmentation des concentrations de protéines brutes qui varie de 11 à 13% dans les régimes était adéquate pour obtenir une synthèse protéique microbienne optimale (**Karsli et Russell, 2002**).

- **Source de l'azote :**

Le système des protéines métabolisables (MP : Metabolizable Protein) décrit le degré de dégradation des protéines alimentaires (RDP : Ruminally Degradable Protein) et la quantité de protéines non dégradables dans le rumen (UDP : Undegradable Protein). La fraction RDP peut contenir des protéines rapidement dégradables (QDP : Quickly Degradable Protein) ou protéines lentement dégradables (SDP : Slowly Degradable Protein). La quantité et le taux de dégradation du RDP sont critiques pour la croissance microbienne dans le rumen car cette fraction fournit l'azote nécessaire à la croissance microbienne et cette dernière peut être limitée par la quantité de l'azote disponible dans le rumen, même si 11 à 13% de protéines brutes sont fournis dans l'alimentation si les fractions RDP de ces régimes sont faibles.

La synthèse des protéines microbiennes réagit mieux avec certaines sources d'azote que d'autres par exemple elle réagit avec la farine de soja mieux qu'avec la farine de gluten de maïs. Parce que la farine de soja de maïs contient des protéines rapidement dégradées dans le rumen (**Karsli et Russell, 2002**).

#### **4. Besoins en azote des ruminants**

Les besoins protéiques varient selon les stades physiologiques de l'animal (**tableau 4**). Par exemple, une vache en lactation produisant 40 kg de lait par jour, a des besoins PDI (protéine digestible dans l'intestin) six fois plus importants qu'une vache à l'entretien.

La teneur en azote des principaux aliments varie fortement (**tableau 5**). Les ensilages d'herbe apportent des quantités en azote supérieures aux ensilages de maïs. Les fourrages verts donnent un rendement de synthèse en protéines microbiennes supérieur aux fourrages secs. La teneur en azote est

supérieure pour l'herbe jeune par rapport aux repousses et est maximale au stade épiaison (épi à 10 cm du sol) (Ferraton, 2010).

La valeur OEB (Onbestendige Eiwit balans ou Bilan des Protéines Dégradables) de chaque aliment permet de statuer sur deux actions : extraire de l'énergie des hydrates de carbone et la synthétise des protéines de composés azotés non protéiques. Par définition, la valeur OEB d'un aliment s'estime par la différence entre les quantités de protéines microbiennes synthétisées dans le rumen en fonction des apports en azote et des apports en énergie pour les micro-organismes. Un aliment caractérisé par une valeur OEB positive implique que les micro-organismes disposent d'un excès d'azote fermentescible par rapport à l'énergie fermentescible, alors qu'un aliment caractérisé par une valeur négative traduit l'inverse. Une valeur OEB nulle signifie que les micro-organismes disposent de 24 g d'azote fermentescible par kg de matière organique fermentescible (Beckers, 2013).

**Tableau 4 :** Récapitulatif des besoins protéiques selon les principaux stades physiologiques du ruminant  
(D'après les tables de l'INRA, 2002)

Stade physiologique			Besoin PDI (g / jour)	
Vaches laitières adultes de 600 kg	En lactation	15 kg de lait /jour 40 g de TB /Kg de lait	1115	
		30 kg de lait / jour 40 g de TB / Kg de lait	1835	
	Tarie	7ème mois de gestation	470	
		9 ème mois de gestation	600	
	Vaches allaitantes adultes de 650kg	Vêlage d'hivers	Fin de gestation	505
			Début d'allaitement	840
Vêlage de printemps		Fin de gestation	460	
		Début d'allaitement	715	
Taurillons a l'engrais	De 250kg	Gain de 1 kg par jour	465	
	De 300kg		505	
	De 400kg		575	
Bœuf pie noir	De 700kg	Gain de 800 g par j	900	

**Légende :** PDI : Protéine Digestible dans l'Intestin

**Tableau 5** : Valeurs azotées des principaux types d'aliments (*D'après les tables de l'INRA, 2002*)

			Valeurs azotées (g/kg MS)		
			PIA	PDIN	PDIE
Fourrages Verts	Prairies permanentes	Auvergne	33	94	89
	Graminées	RGA (ray-grass anglais)	32	89	91
	Céréales	Maïs	18	52	77
	Légumineuses	Luzerne	51	141	101
	Autres légumineuses	trèfle blanc	56	156	115
Fourrages ensilés	Prairies permanentes	Auvergne (Sans conservateur)	21	85	65
	Graminées	RGA	21	82	66
	Céréales	Maïs	18	52	66
	Légumineuses	Luzerne	38	111	79
Fourrages secs	Prairies permanentes	Auvergne	38	88	90
	Graminées	RGA	30	72	85
	Légumineuses	Luzerne	49	112	94
	Déshydratés et agglomérés	Luzerne	50	101	87

	Pailles	Blé seul	11	22	44
Céréales Grains		Blé	34	86	110
		Mais	61	82	120
		Soja	38	244	86
		Tourteau de soja 48	198	371	254

**Légende :** **PIA** : Protéines Intestinales d'origine Alimentaire. **PDIN** : Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle permises par l'azote (N<sub>2</sub>) apportée par l'aliment. **PDIE** : Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle permises par l'énergie (E) apportée par l'aliment.

### 5. Déchets d'azote

La production des ruminants est souvent associée à une augmentation de l'excrétion des déchets qui peuvent être nocifs pour l'environnement. Le méthane est produit comme une conséquence naturelle de la fermentation anaérobie; C'est un puissant gaz à effet de serre. En outre, la principale préoccupation environnementale associée à l'industrie animale est la volatilisation de l'ammoniac, qui augmente les dépôts d'acide atmosphérique en raison de l'impact des excréments riches en azote sur l'environnement et la pollution azotée entraîne l'eutrophisation des sources naturelles d'eau, la pollution des eaux souterraines par les nitrates et la pollution atmosphérique (**Genzebu et Tesfay, 2015**).

*Chapitre V*

*Le métabolisme énergétique*

*dans le rumen*

## Introduction

L'énergie nécessaire pour les ruminants est fournie par l'oxydation de différents substrats sous l'action de plusieurs voies tel que la glycolyse, le cycle de Krebs et la néoglucogenèse, qui se déroulent en même temps ou parfois uniquement dans certaines conditions.

Il existe deux catégories de glucides ; les glucides pariétaux et les glucides cytoplasmiques.

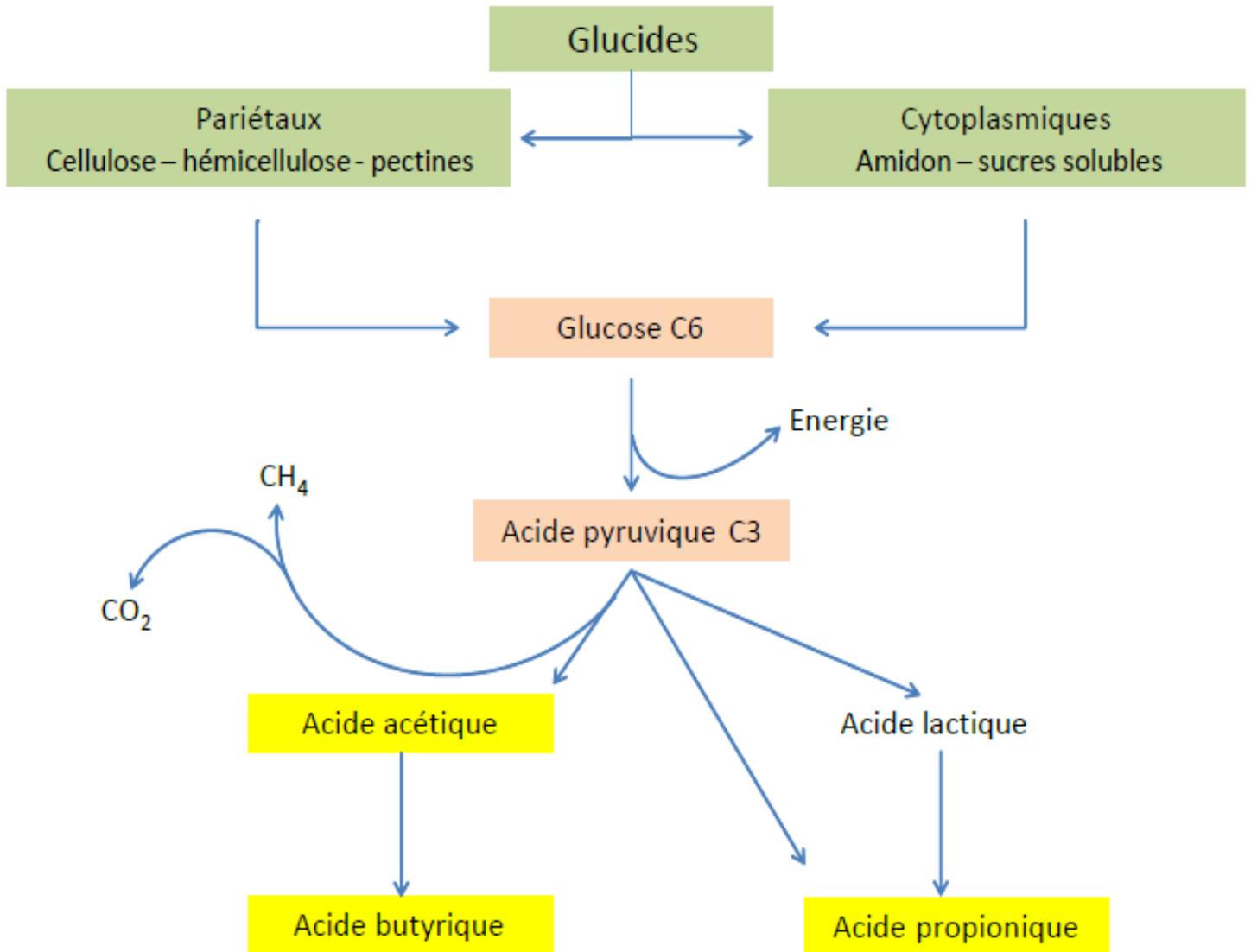
- Les glucides pariétaux : ce sont Les glucides constituant la paroi des cellules végétales et qui comprennent la cellulose, l'hémicellulose et la pectine.
- Les glucides cytoplasmiques : ce sont Les glucides contenus à l'intérieur des cellules végétales et qui comprennent l'amidon et les sucres solubles (glucose, lactose,...) (Cuvilier *et al.*, 2014).

La dégradation des glucides pariétaux est lente, les substances pectiques sont dégradées plus rapidement que la cellulose et l'hémicellulose. Au contraire, la dégradation des glucides de réserves (amidon) est généralement rapide. Les sucres solubles sont dégradés presque instantanément (Tamminga, 1979).

### 1. Rôle des bactéries du rumen dans le métabolisme énergétique

Les bactéries dégradent les glucides sous l'action des enzymes hydrolytiques microbiennes pour satisfaire leur besoins de croissance et d'entretien. Le glucose va être converti par le jeu des fermentations microbiennes en un métabolite intermédiaire, l'acide pyruvique. Ce dernier subit une dégradation, qui va aboutir à la formation d'un mélange d'acides gras volatils qui sont : l'acide acétique, l'acide propionique et l'acide butyrique (**figure 4**) (Cuvilier *et al.*, 2014).

- L'acide acétique est un important fournisseur d'énergie par le cycle de Krebs via l'acétyl CoA. Il n'est pas glucoformateur. Il permet la synthèse des lipides corporels et des matières grasses du lait.
- L'acide propionique est l'acide gras volatil glucoformateur par la néoglucogenèse. Il donne aussi du glycérol et des acides gras longs.
- L'acide butyrique est produit en faible quantité par rapport aux autres AGV. Il sert essentiellement à la synthèse des acides gras courts et moyens de la matière grasse (Drogoul, *et al.*, 2004).



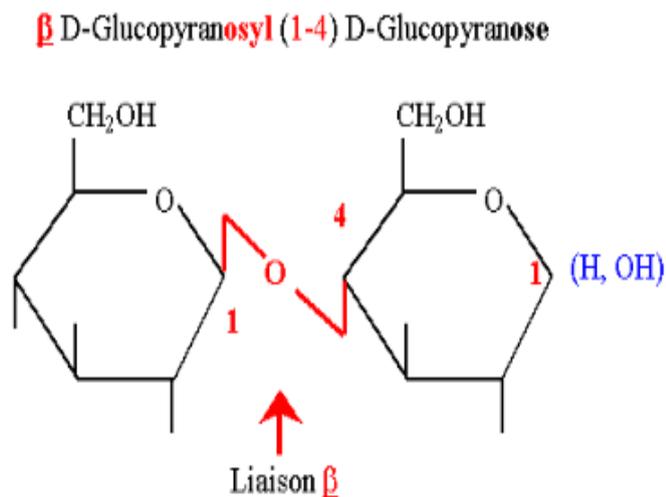
**Figure 4** : Schéma de la digestion des glucides dans le rumen (Cuvilier *et al.*, 2014)

## 2. Sources d'énergie pour les microorganismes du rumen

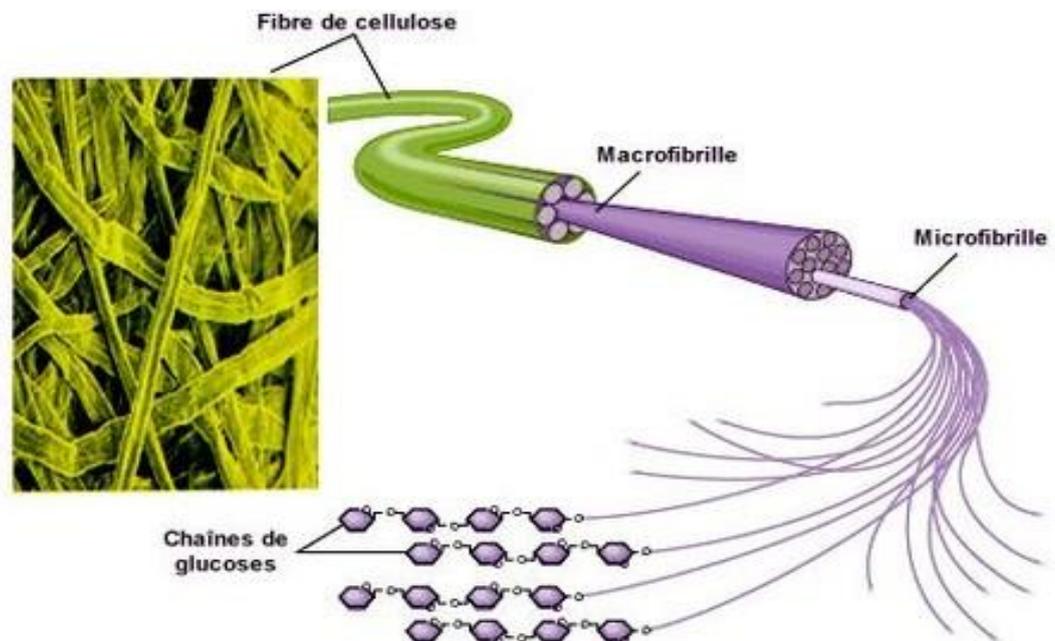
Les ruminants ont également besoin d'énergie nécessaire à la production de lait, de viande, pour le développement du fœtus, etc. Ces besoins énergétiques se trouvent dans plusieurs composants glucidiques qui existent dans la nature: la cellulose, l'hémicellulose, la pectine, l'amidon.

- Cellulose

La cellulose est un homopolysaccharide composé de longues chaînes de  $\beta$  (1-4)-D (figure 5) glucose, basé sur la répétition d'unités de cellobiose. Les différentes chaînes linéaires de cellulose sont associées entre elles par des liaisons hydrogènes et forment des microfibrilles (figure 6) de cellulose très résistantes à la dégradation microbienne (Res *et al.*, 2006).



**Figure 5 :** Structure de la cellulose (Anonyme, 2018)

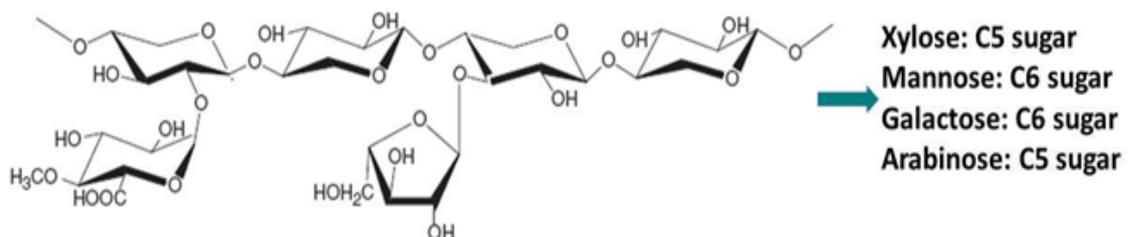


**Figure 6 :** Les différents niveaux d'arrangement de la cellulose (Anonyme, 2018)

- **Hémicellulose**

L' hémicellulose est un composant principal de la biomasse lignocellulosique, représentant ~20-40 % de la biomasse en poids. Il porte des chaînes latérales courtes et flexibles formées de sucres simples ou de petites séquences de sucres. Ces derniers sont liés entre eux par différents types de liaisons :  $\beta$  (1-4) ;  $\beta$  (1-3) ;  $\alpha$  (1-4) ;  $\alpha$  (1-3). Les hémicelluloses sont un groupe hétérogène de polymères branchés matriciels de relativement bas poids moléculaire qui sont associés à la cellulose et à d'autres polymères de la paroi végétale.

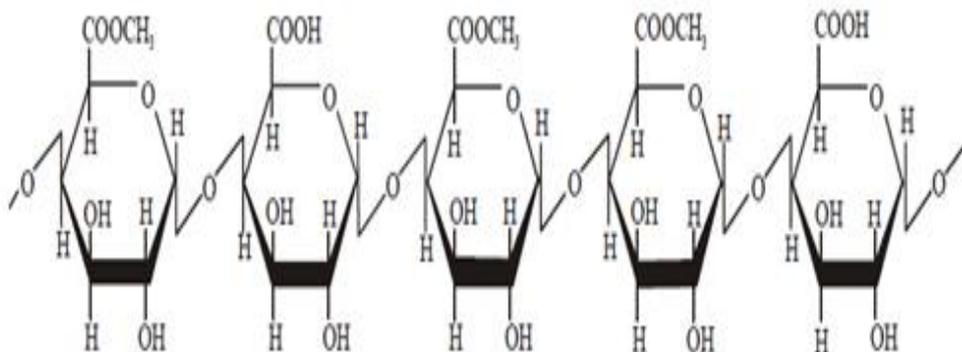
Contrairement à la cellulose, les hémicelluloses contiennent plusieurs sucres à 5 atomes de carbone tels que le xylose et l'arabinose, des sucres C6 tels que le glucose, le mannose, le galactose, l'acide galacturonique et l'acide glucuronique et le sucre C7 l'acide 4-O-méthyl glucuronique (Wertz, 2011).



**Figure 7** : Structure de l'hémicellulose (Anonyme, 2018)

- **Pectine**

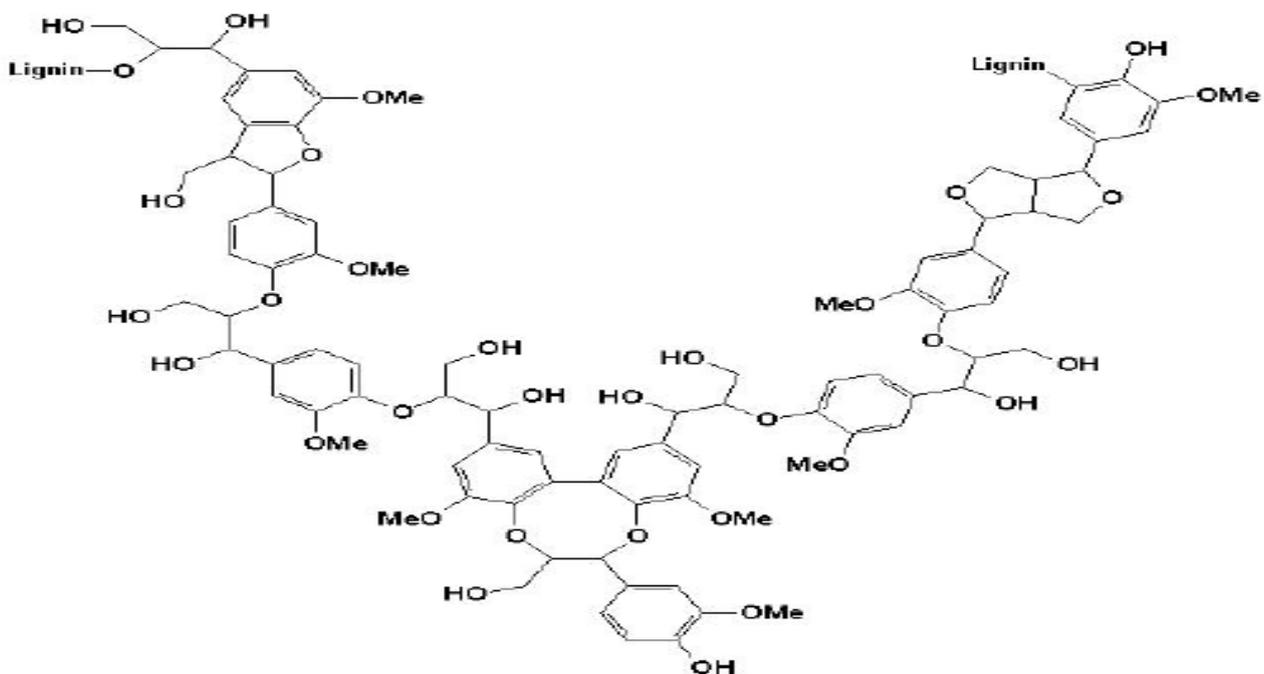
Les pectines sont constituées par une chaîne principale d'unités d'acides D-galacturoniques liées en  $\beta$  (1-4). Des oses neutres sont toujours trouvés en association. La chaîne linéaire peut être également interrompue de place en place par des unités L-rhamnoses (pentose neutre méthylé) liées aux acides galacturoniques (Figure 8) (Fonty et Forano, 1999 ; Res *et al.*, 2006).



**Figure 8** : Structure de la pectine (Anonyme, 2018)

- **Lignine**

La lignine est le terme générique d'un vaste groupe de polymères aromatiques. Elle constitue le seul groupe de polymères biosynthétisés à squelette aromatique. Ces polymères sont déposés principalement dans les parois secondaires des cellules végétales, les rendant rigides et imperméables. Ce sont des polymères hautement condensés, formés par la déshydrogénation et la polymérisation de trois alcools à noyaux phénylpropane C6-C3 : les alcools trans-p-coumarylique, trans-coniférylique et trans-sinapylique (Wertz, 2010).

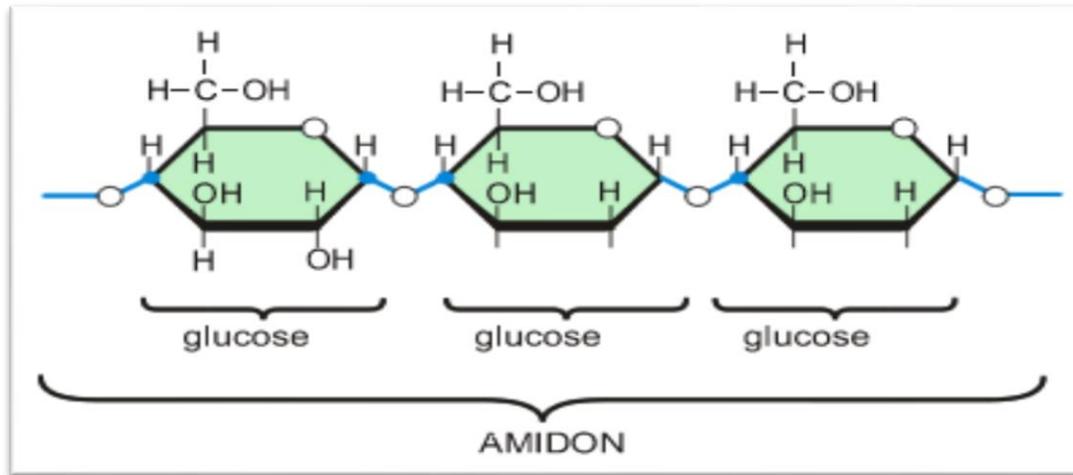


**Figure 9** : Structure de la lignine (Anonyme, 2018)

- **Amidon**

L'amidon est considéré comme une source énergétique essentielle aux ruminants : il est stocké comme réserve glucidique dans les cellules végétales dans des organes de réserve (les grains, les racines).

L'amidon est un polyholoside constitué de fractions variables d'amylose et d'amylopectine. L'amylose résulte de la polymérisation de molécules de glucose (entre 500 et 20 000) liées par des liaisons de type  $\alpha$  (1-4). L'amylopectine est un polymère ramifié en grappe dont la structure est proche de celle du glycogène, c'est-à-dire un polymère de glucose formé par des liaisons de type  $\alpha$  (1-4) et  $\alpha$  (1-6) (Jouany *et al.*, 1995).

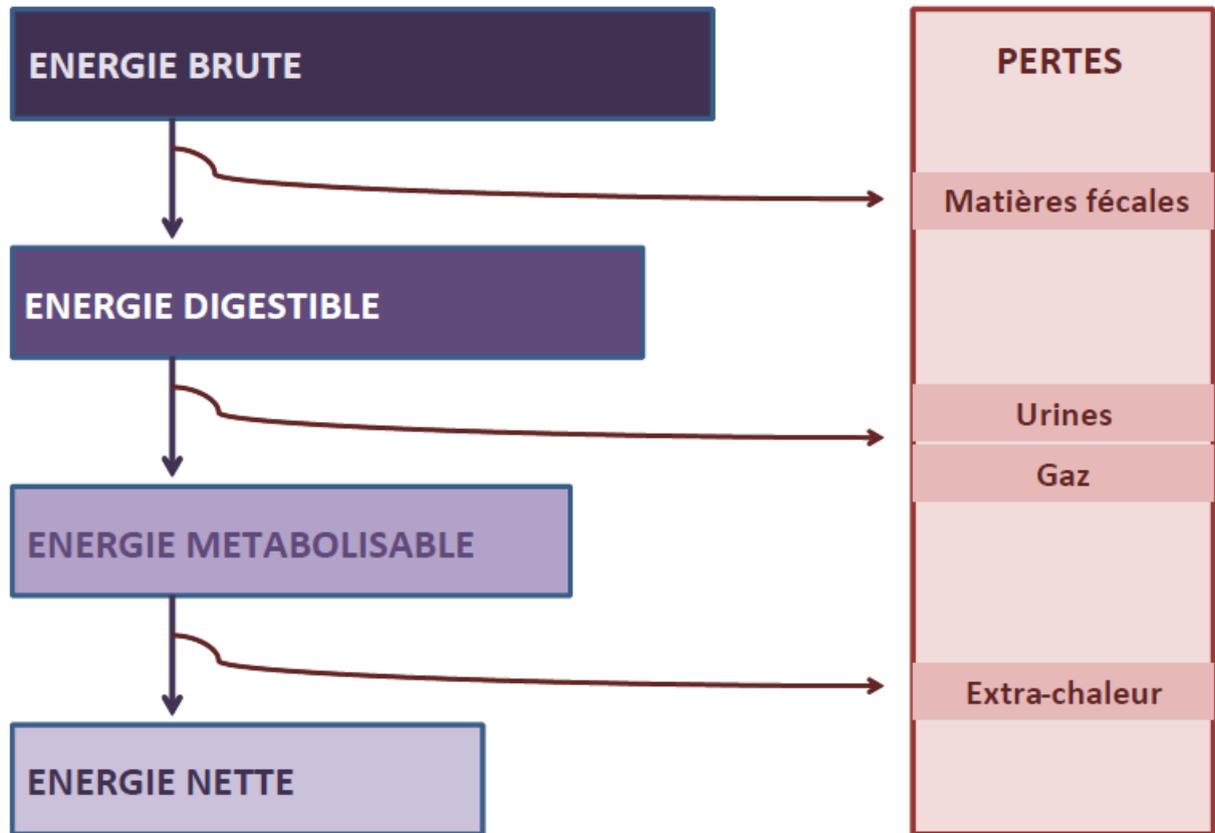


**Figure 10 :** Structure de l'amidon (Anonyme, 2018)

### 3. Besoin en énergie pour les ruminants

La quantité totale d'énergie contenue dans un aliment est appelée l'énergie brute (EB). Elle varie selon la nature de l'aliment, en fonction des nutriments, L'EB n'est jamais valorisée complètement par l'animal. En effet, selon la digestibilité de la ration, une fraction plus ou moins importante de l'EB se retrouve dans les matières fécales et est donc perdue. L'énergie résiduelle s'appelle l'énergie digestible (ED). Une fraction de celle-ci est ensuite perdue via les urines et les gaz, l'énergie restante s'appelant l'énergie métabolisable (EM). Au niveau cellulaire, cet dernière est en partie dissipée sous forme de chaleur, c'est-à-dire un surplus de production de chaleur chez l'animal qui a fait un repas, le solde étant l'énergie nette (EN), soit l'énergie disponible pour les cellules animales. L'énergie nette est utilement employée pour les besoins d'entretien ou de production. Ceci explique que les valeurs énergétiques des aliments sont toujours exprimées en EN (**figure 11**).

L'EN d'un aliment ou d'une ration correspond à l'énergie potentielle contenue dans cet aliment ou cette ration. En effet, pour qu'une valorisation optimale de l'énergie présente dans l'aliment ou la ration ait lieu, il faut que simultanément, dans le rumen, il y ait présence de cette énergie et de matières azotées, afin de permettre une synthèse de protéines microbiennes (**Cuvilier *et al.*, 2014**).



**Figure 11** : Utilisation de l'énergie des aliments chez les ruminants (Cuvilier *et al.*, 2014 )

# *Chapitre VI*

## *Les sources alternatives d'énergie*

## Introduction

Pour des intérêts économiques et vu que la non disponibilité d'aliment pour ruminants de façon stable pendant toute l'année, nous nous sommes orientés vers la recherche des sources alternatives d'énergie en proposant le recyclage des sous produits agroalimentaires ou utiliser les céréales immatures.

La transformation de matière première par l'industrie agroalimentaire donne naissance à des sous produits qui peuvent être valorisé dans l'alimentation animale (**Morel d'Arleux et Leclerc, 2003**).

On demande généralement à ces sources alternatives d'avoir des qualités nutritionnelles définies pouvant concurrencer les aliments ordinairement utilisés pour le rationnement, d'être disponibles toute l'année et avec des prix intéressant. Ces produits doivent être considérés comme non dangereux pour l'animal et le consommateur.

L'éleveur doit veiller au bénéficie le mieux possible de ces alternatives dans son plan d'alimentation.

### 1. Valorisation des sous produits agroalimentaires

Les ruminants sont les premiers utilisateurs des résidus agroalimentaires frais ou ensilés. En général, la valeur énergétique de ces derniers est assez élevée, grâce aux pectines digestibles et aux sucres. Leur valorisation optimale peut à la fois améliorer les performances zootechniques des animaux et réduire les coûts alimentaires.

Compte tenu de l'appétence des animaux, il est indispensable d'en limiter l'apport quotidien dans une fourchette de 0,5 à 1,1 kg de matière sèche pour 100 kg de poids d'animal vivant. Afin d'atteindre l'équilibre de la ration des ruminants, il est nécessaire d'ajuster les apports complémentaires en matières azotées et minérales (**Cristina, 2012**).

On est orienté à proposer une liste des résidus agroalimentaire : les sous produits de pomme de terre, les sous produits de tomate, les sous produits d'agrumes, les sous produits de palmier dattier, les sous produits d'olivier.

#### a. Sous produits de pomme de terre

La pomme de terre est un légume de base le plus répons dans le monde, de culture facile et au rendement élevé. Dans notre pays, l'autosuffisance est assurée et donc on peut l'utiliser pour l'alimentation animale. L'introduction dans la ration doit se faire progressivement pour atteindre jusqu'à 15 à 20 kg bruts par jour/vache.

Les déchets de la pomme de terre sont de plusieurs formes : les sous produits issus du marché du frais, les sous produits issus de l'industrie agro-alimentaire (transformation pour l'alimentation humaine et féculerie), en plus des tubercules non conformes qui sont hors calibres, verts, déformés sont ainsi orientés vers l'alimentation animale. L'industrie de la transformation de la pomme de terre génère 58 000 t MS/an (en 2000) de coproduits très divers (pelures, pulpes crues, purée, amidon cru, pulpe déshydratée) (**Decruyenaere et al., 2005**).

Les déchets de pomme de terre sont considérés comme un aliment appétant qui est très apprécié par les ruminants parce qu'il peut remplacer la ration sans entraîner une diminution de la densité énergétique (**Vanabelle et al., 2000**).

Les pommes de terre de rebut sont un des sous-produits alimentaires les plus facilement accessibles, et elles peuvent véritablement être servies aux animaux comme aliment d'éventualité par les éleveurs de la région qui doivent importer des céréales.

Ils sont classés parmi les sources alternatives d'énergie parce qu'ils contiennent plus de 40 % d'amidon, mais à condition qu'ils soient utilisés avec un complément protéique pour assurer un bon fonctionnement du rumen (**Decruyenaere et al., 2005**).

Il faut respecter certaines règles d'utilisation pour éviter des problèmes de distribution notamment :

- Les pommes de terre sont riches en potassium (24 g/kg de matière sèche). Il faut donc éviter de les associer à d'autres aliments riches en cet élément. Lorsque les pommes de terre sont distribuées en quantité importante, un paillage supplémentaire est souvent nécessaire en raison de l'effet laxatif du potassium.
- Les pommes de terre peuvent être distribuées entières, non lavées. Il faut dans tous les cas les distribuer sur le sol, à des animaux nourris à volonté pour éviter tout risque d'étranglement (**Decruyenaere et al., 2005**).

**Tableau 6:** Les valeurs nutritives des sous produits de la pomme de terre pour les ruminants  
(Decruyenaere *et al.*, 2005).

Les sous produits	Ruminants			
	VEM	VEVI	DVE	OEB
	Kcal/kg MS		g/kg MS	
L'écarts de triage	1090	1196	76	-12
Screenings	1120	1235	65	-25
Les pulpes	1010	1088	72	-71
Les proteines (CPPT)	1190	1272	608	173
L'amidon	1246	1416	60	-98
Les epluchures vapeur	1040	1130	107	-10
Les purées solides	1112	1225	73	-14
Les chips	1893	2178	35	-4

**Légende:** VEM, VEVI: Valeur Energétique, DVE: Protéines Digestibles dans l'intestin, OEB: balance azotée dans le rumen, CPPT : Le Concentré Protéique de Pomme de Terre.

**Tableau 7 :** les valeurs nutritionnelles pour 100 g de pomme de terre (**Le figaro.fr**).

valeurs nutritionnelles pour 100g	
L'énergies (Kcal)	86Kcal
Les protéines	1 g
Les glucides	19 g
Les fibres	1 g
L'eau	77 g
Le potassium	381

### b. Sous produits de tomate

La tomate est, après la pomme de terre, le légume le plus consommé dans le monde. Selon les statistiques de l'organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, la production mondiale de tomates s'élevait en 2007 à 126,2 millions de tonnes pour une surface de 4,63 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 27,3 tonnes à l'hectare (**FAO-STAT, 2009**).

En Algérie et plus particulièrement à la conserverie du Maghreb - Groupe Amour, les sous produits sont estimés à 3% de la masse de tomates fraîches transformées.

Les coproduits de tomates sont un mélange de peaux, graines et un peu de pulpe solidarisée aux téguments. Ils comportent aussi de pédoncules et des parties dures de la pulpe, de feuilles et des écarts de triage. Ils représentent selon la technique de transformation utilisée, 2 à 5% de la masse globale de tomates fraîches (**Ahishakiye et Ait ammour., 2010**).

Les analyses des composés pariétaux de ces coproduits montrent une forte teneur en cellulose brute et en lignine de 24.65% de MS, par rapport à celle de la pectine 5%. Les protéines ont une composition en

acides aminés proche de celle du tourteau de soja, ceci place les pulpes de tomates parmi les aliments ayant une valeur protéique intéressante pour les ruminants (**Cotte, 2000**).

**Tableau 8:** La Composition chimique globale des résidus de tomates (**Cotte, 2000**).

Les composants	La teneur en %
Matière sèche (MS)	92.2 à 95
Matière azoté totale (MAT)	16.8 à 29.58
Matière grasse (MG)	3.45 à 21.93
Les glucides pariétaux	
Celluloses	4
Pectines	5
Hemicelluloses	25 à 30
Glucoprotéines	5
Lignines	20 à 25
Les macroéléments : Ca (1.1 à 5.2 g/Kg), P(0.91 à 8 g/Kg), Mg (2.1 à 2.41 g/Kg), Na (0.14 à 0.27 g/Kg)	
Les macroéléments: Fe (246 à 551ppm), Cu (12.15 à 20ppm), Zn (5 à 56.9ppm), Mn (31.71 à 37.2ppm)	

### c. Sous produits de palmier dattier

Le palmier dattier est un arbre rustique s'adaptant aux régions les plus arides du monde. Il joue une grande importance dans les régions sahariennes non seulement par sa production dattière mais aussi

par les sous produits, qui sont utilisés soit dans la fabrication traditionnelle (tronc, sève), soit dans l'alimentation du bétail. Les sous-produits du palmier dattier peuvent être utilisées pour l'engraissement et la croissance des ovins et des vaches laitières, tels que noyaux de dattes, les rebuts de dattes, Palmes sèches (**Chehema et Longo, 2001**).

- **Noyaux de dattes**

Les noyau ou graines représentent de 7% à 35% du poids de la datte. Ils sont utilisés comme aliment de bétail s'ils sont broyés ou trempés dans l'eau. Dans ce dernier cas les noyaux doivent être trempés durant sept jours successifs avec changement de l'eau chaque jour pour que les noyaux devient plus digestibles et accepté par les ruminants (**Benguega, 2006**).

- **Rebuts de dattes**

Les rebuts de dattes représentent les fruits du palmier dattier non consommables par l'être humain et qui sont destinés à l'alimentation de bétail. Ils représentent une moyenne de 25 % de la production dattière annuelle (**Ahmed Serir, 2017**)

En Algérie comme rapporte par l'étude de valorisation des rebuts de dattes en vue de leur utilisation en alimentation de bétail, le volume de rebuts de dattes est évalué en Algérie à 67500 tonnes. (**Chahma et Longo, 2001**),

Nous pouvons distinguer différentes catégories de rebuts des dattes notamment : Belha (datte immature), Sich (datte non fécondée ou avortée ne possédant pas de noyau), Kehla (datte noire ayant été oxydée), Mentoucha ou Mengouba (attaquée par les oiseaux et autres), Malbouza ( datte écrasée) (**Ahmed Serir, 2017**).

**Tableau 9** : La composition chimique des rebuts et des noyaux de dattes (**Ahmed Serir, 2017**).

Type	MS (%)	En %/kg de MS								
		MM	MO	MAT	MG	CB	NDF	ADF	ADL	Sucres totaux
Rebuts de dattes entières*	90,40	4,18	95,82	4,17	-	09,59	24,39	12,94	5,26	-
Rebuts de dattes dénoyautés**	88,36	2,39	97,61	3,46	0,36	4,05	-	-	-	63
Noyaux de dattes***	81	1,28	97,65	5	5,13	15,18	82	-	-	-
	- 93	- 3,17	- 98,74	- 7,27	- 7,12	- 19,26	- 92	-	-	-

**Légende :** **MS:** Matière Sèche, **MM:** Matière Minérale, **MO:** Matière Organique, **MAT:** Matière Azoté Totale, **MG:** Matière Grasse, **CB:** Cellulose Brute, **NDF:** Neutral Detergent Fiber, **ADF:** Acid Detergent Fiber, **ADL:** Acid Detergent Lignin.

Les rebuts de dattes peuvent être classés parmi les aliments concentrés énergétiques pouvant même se substituer aux céréales. En plus de l'insuffisance de la source azotée nécessaire pour une bonne activité de ces derniers ; ce qui explique un coefficient de l'utilisation digestible (CUDa) de cellulose brut (CB) faible (50,27 %). D'où leur utilisation nécessite une complémentation ou un traitement azoté (**Ahmed Serir, 2017**).

Les noyaux sont essentiellement constitués de parois végétales, d'où ils peuvent être un aliment valorisé par les ruminants. Les analyses chimiques des noyaux révèlent des taux très élevés en matière sèche (jusqu'à 93%) et en fibres (NDF) atteignant les 92%. Les noyaux de dattes peuvent être utilisés en alimentation animale dans les zones productrices, surtout chez les ruminants qui ont tendance à valoriser les aliments cellulosiques mais à des taux limités (**Ahmed Serir, 2017**).

- **Palmes sèches**

Les palmes sèches sont récoltées après la taille des palmiers dattiers. Elles sont estimées à 135 000 tonnes de palme sèche / an dont la partie consommable est de l'ordre de 13,5 kg/Palmier/an.

La teneur en matière sèche des palmes sèches est très élevée. Elle varie de 94,37% et de 91,5% et leur teneur en matières azotées totales est très faible, elle est environ de 4,17%. Cette pauvreté des palmes sèches en matières azotées nécessite une amélioration par un apport azoté (**Chehema, 2001**).

**Tableau 10** : La composition chimique des déchets des dattes (**Chehma, 2001**).

Matières organiques (% de MS)	95,4
Matières azotées totales (% de MS)	5,2
Cellulose brute (% de MS)	31,7
NDF (% de MS)	69,3
Matières grasses (% de MS)	7,06
Matières minérales (% de MS)	4,61
Sucres totaux (% de MS)	63,3
Energie métabolisable (kcal/kg de MS)*	2 300
Lysine (g/100g d'aliment)	10,2
Méthionine (g/100g d'aliment)	4,5
Cystine (g/100g d'aliment)	7,1

Pour une meilleure utilisation de ces déchets, certains traitements sont à préconiser notamment le traitement physique tel que le broyage des dattes, le concassage des noyaux et le traitement chimique tel que le traitement à l'ammoniaque ou à l'urée. Ces traitements permettent une excellente valorisation de ces déchets par l'augmentation de la valeur azotée et la digestibilité (**Benguega, 2006**).

#### **d. Sous produits d'olivier**

La production de l'olivier soit répartie sur les cinq continents, elle est surtout prédominante dans la zone du bassin Méditerranéen. En Algérie, l'oléiculture occupe environ 44 % des superficies totales destinées à la plantation fruitière (**Ahmed Serir, 2017**).

- **Grignons d'olive**

Les grignons sont les résidus solides issus de la première pression ou centrifugation. Ils peuvent constituer une ressource fourragère importante pour les ruminants grâce à l'aptitude de ces derniers à utiliser et valoriser les aliments lignocellulosiques. Il existe plusieurs types de grignons d'olive, parmi eux on distingue : Le grignon brut, Le grignon épuisé, La pulpe d'olive (**Ahmed Serir, 2017**).

**Tableau 11** : La composition chimique de différents types de grignons d'olive (en %/kg de MS)  
(Ahmed Serir, 2017).

Type de grignons	MS (%)	En %/kg de MS			
		MM	MAT	MG	CB
Grignons bruts	75-80	3-5	5-10	8-15	35 -50
Grignons épuisés	85-90	7-10	8-10	4-6	35-40
Grignons partiellement dénoyautés	80-95	6-7	9-12	15-30	20-30
Pulpe d'olive	35-40	5-8	9-13	26-33	16-25

La composition chimiques des grignons d'olive varie selon le type de grignons Les grignons d'olive sont pauvres en matières azotées (5 à 10%) et riches en cellulose brute (35 à 50%). En outre, les grignons sont relativement riches en matières grasses et en matière minérale avec des teneurs 3 à 5% (Ahmed Serir, 2017).

- **Feuilles collectées à l'huilerie**

Ce ne sont pas les résidus de la taille, mais des feuilles obtenues après le lavage et le nettoyage des olives à l'entrée de l'huilerie. Leur quantité est estimée à environ 5% du poids des olives (Ahmed Serir, 2017).

**e. Sous produits d'agrumes**

En régions méditerranéennes notamment l'Algérie les conditions climatiques permettent l'exploitation d'un nombre important d'agrumes. Les secteurs de l'industrie de transformation de ces agrumes qui ne cesse de se développer permet la récupération d'une quantité importante de sous produits potentiellement utilisés en alimentation animale .parmi ceux-ci la pulpe obtenue après extraction des jus d'agrumes présente un intérêt particulier comme source d'énergie pour les ruminants (Rihani et Zaragoza., 1991)

La pulpe d'agrumes est riche en sucre soluble et pectine, composants qui sont rapidement dégradés pour le rumen. Pour éviter le problème d'acidose, il est important d'accoutumer progressivement les ruminants à l'ingestion des pulpes d'agrumes (transition alimentaire de 10 jours) et le cas échéant, d'ajouter du bicarbonate de sodium dans la ration (Marchal et Besancenot., 1997).

La valeur énergétique des pulpes d'agrumes est très élevée de l'ordre de 1.1 UFL/Kg MS. En revanche, sa valeur azotée est très limitante (21g de PDIA/Kg MS) (**Tableau13**) (**Marchal et Besancenot., 1997**).

La conservation de pulpe d'agrumes déshydratée ne pose aucun problème. Contrairement à la pulpe fraîche qui doit impérativement être utilisée dans les 2 jours qui suivent l'extraction des jus à l'usine.

La pulpe d'agrumes est disponible toute l'année, pour la pulpe fraîche est parfois cédée gratuitement par l'usine mais la pulpe déshydratée est vendue entre 130 à 155 euro la tonne (**Marchal et Besancenot., 1997**).

**Tableau 12 :** La composition chimique de la pulpe d'agrumes (**Marchal et Besancenot., 1997**)

	La valeur moyenne (%MS)	La valeur extrême (%MS)
MS de la pulpe séchée	90	-
MS de la pulpe fraîche ensilée	-	10 – 25
MM	6	2 – 7
MAT	7	6 – 9
CB	14	12 – 15
MG	3	2 – 4

**Légende :** MM : Matière minérale

**Tableau 13:** La valeur alimentaire de la pulpe d'agrumes (**Marchal et Besancenot., 1997**)

UFL (/Kg de MS)	UFV (/Kg de MS)	PDIA (g/Kg de MS)	PDIN (g/Kg de MS)	PDIE (g/Kg de MS)
1.11	1.10	21	47	90

## 2. Céréales immatures

Les céréales immatures sont considérées comme un complément énergétique grâce à l'amidon contenu dans les grains. Il est adapté aux ensilages d'herbe, riches en protéines, dans les rations des ruminants.

Les céréales récoltées immatures sont un fourrage plus constant en quantité et en qualité dans certaines régions agricoles où la culture du maïs reste difficile à envisager et viennent souvent après une tête de rotation comme la betterave, la pomme de terre ou une prairie temporaire parce qu'ils dégagent une grande quantité de nutriments notamment l'azote, et donc ils participent à la fertilisation des sols (**Luxen et al., 2004**).

La valeur de ce fourrage dépendra fortement du stade auquel il sera récolté et conditionné. Les céréales sont ensilées avant maturité, avec une partie des tiges et du feuillage. Cette fraction dépendra non seulement de la hauteur de coupe mais également de la hauteur de la plante et de la production de grains attendue (**Luxen et al., 2004**).

Les céréales immatures sont utilisées à la place du maïs chez les vaches laitières et aussi par les bovins viandeux, mais on a conclu qu'ils représentent une alternative intéressante au maïs tant dans les systèmes laitiers que viandeux (**Luxen et al., 2004**).

**Tableau 14** : La valeur alimentaire de quelque céréales immatures (**Avralis, 2012**).

<b>Les cereals immatures</b>	<b>MS</b>	<b>UFL /Kg MS</b>	<b>UFV /Kg MS</b>	<b>PDIN g/Kg MS</b>	<b>PDIE g/Kg MS</b>
<b>Blé immature</b>	35 %	0.64	0.55	60	60
<b>Orge immature</b>	35%	0.69	0.60	50	58
<b>Triticale immature</b>	33%	0.86	0.76	59	51

**Légende** : **UFL**: Unité Fourragère Lait, **UFV**: Unité Fourragère Viande.

**Tableau 15 :** Comparaison des prix de revient de l'ensilage de maïs et de céréales immatures  
(Stilment *et al.*, 2002).

	Ensilage de maïs	Ensilage de céréales immature
Les charges opérationnelles (€/ha)	245	150
Les charges liées aux opérations culturales (€/ha)	154	169
Le cout de récolte (€/ha)	250	275
Le cout totale (€/ha)	649	594
Prix de revient du Kg MS (€)	0.05	0.06
Prix de revient du KVEM (€)	0.06	0.07

# *Chapitre VII*

## *Les sources alternatives d'azote*

### Introduction

L'azote est un élément indispensable à la vie car il est constitutif de tout être vivant. C'est un élément essentiel de la production végétale et animale sous toutes ses formes.

Toute insuffisance de cet élément dans les régimes alimentaires des animaux conduit à des perturbations plus ou moins grave des voies métaboliques et ils ne cessent qu'avec l'addition de l'élément considéré.

D'habitude, il est apporté par la ration alimentaire (l'ensilage ou le foin de luzerne qui sont des légumineuses) mais dans les formes alternatives, il peut être apporté par le bicarbonate d'ammonium( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ), le nitrate de potassium( $\text{KNO}_3$ ), le glutamate de sodium ( $\text{C}_5\text{H}_8\text{NNaO}_4$ ), l'extrait de levure, l'urée ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), l'ammoniaque( $\text{NH}_4\text{OH}$ ).

#### 1. Bicarbonate d'ammonium

le bicarbonate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ) est un sel fabriqué industriellement par des procédés chimiques à partir de l'ammoniaque. Il se présente sous forme d'une poudre blanche.

Le bicarbonate d'ammonium est caractérisé par la dissociation rapide en solution et la libération d'ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), ce qui permet à la flore bactérienne ruminale de l'utiliser facilement, il est utilisé par tous les groupes bactériens du rumen, chaque groupe selon sa capacité. Il stimule de façon préférentielle la croissance et la synthèse des protéines microbienne chez les bactéries amylolytiques et pectinolytiques. Donc il n'as aucun effet négatif (**Abla et Bouchaar., 2016**)

#### 2. Nitrate de potassium

Le nitrate de potassium est l'une des sources naturelles d'azote. C'est un produit binaire qui possède deux composantes : le nitrate et le potassium, sa formule chimique est  $\text{KNO}_3$ .

Le métabolisme du nitrate de potassium dans le rumen débute par la dissociation de ce sel dans les solutions aqueuses pour donner les ions potassium ( $\text{K}^+$ ) et les ions nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Les ions nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont réduits en ions nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) par l'enzyme nitrate réductase puis il continue son cheminement jusqu'à l'obtention d'ammoniaque qui est le composé recherché. Cette ammoniaque est utilisé par les microorganismes du rumen comme source d'azote. Il est dégradé en acides aminés utilisés pour la synthèse des protéines microbiennes (**figure 10**).

Le nitrate de potassium peut être toxique pour les microorganismes dans le cas où la concentration est élevée (1.53g/l de milieu) (Abla et Bouchaar, 2016) (dans l'alimentation mais aussi dans le cas de la diminution de la réduction du nitrite en ammoniacque dans le rumen (Yang *et al.*, 2016).

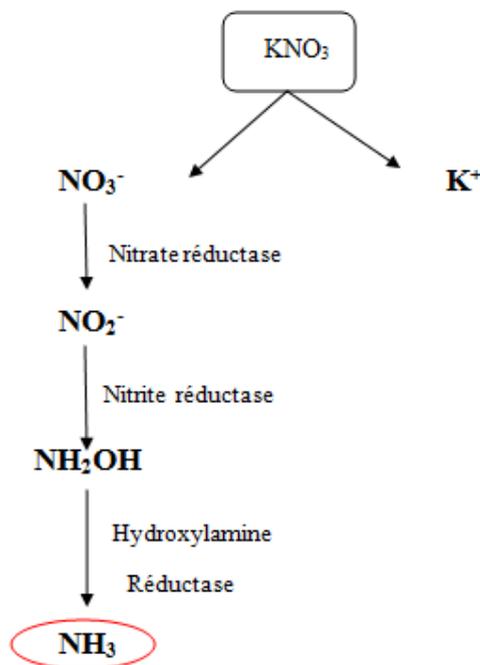


Figure 12 : Métabolisme de nitrate et nitrite.

### 3. Glutamate de sodium

Le glutamate de sodium est le sel sodique de l'acide glutamique, sa formule chimique est :  $C_5H_8NNaO_4$ . C'est l'un des acides aminés non essentiels les plus abondants dans la nature.

Il est obtenu par fermentation microbienne à partir des glucides pour les convertir en acides aminés comme l'acide glutamique et puis converti en glutamate de sodium par neutralisation une poudre blanche est formé après séchage (Claire, 2010).

Une alimentation additionnée de glutamate de sodium stimule la croissance microbienne et la synthèses des protéines microbiennes chez les bactéries pectinolytiques ,amylolytiques et protéolytique beaucoup plus chez les bactéries cellulolytiques (Abla et Bouchaar, 2016).

### 4. Extrait de levure

L'extrait de levure résulte d'un autolysat à l'aide d'enzyme de la levure *Saccharomyces cerevisiae*. Il est riche en protéines, en vitamines du complexe B et en acides aminée (tableau 6). Depuis longtemps,

il est utilisé par des éleveurs pour valoriser leurs résidus de brasserie parce qu'ils ont remarqué son effet bénéfique sur les fonctions digestives des ruminants.

L'addition de l'extrait de levure dans l'alimentation animale joue un rôle nutritionnel et assure un équilibre dans la flore microbienne (**Callaway et Martin., 1997**).

**Tableau 16 :** La composition chimique de l'extrait de 100g de produit levure (**Sahli et Latrous, 2015**)

La composition chimique	
Extrait sec	94,0 - 98,0 %
Azote total	10,0 - 11,8 %
Azote aminé	4,8 - 6,3 %
Protéines totales	62,5 - 73,5 %
Hydrate de carbone	7,0 - 13,0 %
Chlorure de sodium	< 0,5 %
pH (à 25 °C)	6,8 - 7,2

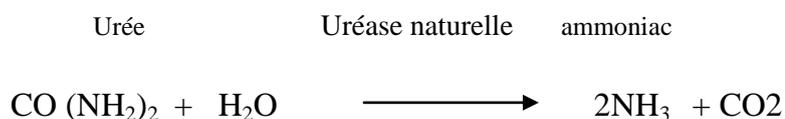
**Tableau 17 :** Toxicité et prix des sources alternatives d'azote (**Abla et Bouchaar, 2016**).

Source d'azote	Toxicité	Prix
<b>Bicarbonate d'ammonium</b>	Non toxique	503 Euro /Kg
<b>Glutamate de sodium</b>	Non toxique	621 Euro /Kg
<b>Nitrate de potassium</b>	Toxique	252 Euro /Kg
<b>Extrait de levure</b>	Non toxique	63.4 Euro /Kg

## 5. Urée

L'urée alimentaire est un correcteur azoté classé dans les additifs. Son rôle principale est la fourniture d'azote rapidement fermentescible dans le rumen. Elle se présente sous la forme d'une poudre blanche cristallisée soluble dans l'eau, facile à manipuler. C'est la forme d'azote la moins coûteuse et universellement disponible. Le traitement à l'urée est la résultante de deux processus, le premier est

l'uréolyse, le seconde est l'action de l'ammoniac générée progressivement au cours de l'uréolyse. Elle montre que 60g d'urée générant 34g d'ammoniac selon la réaction suivante:



L'ammoniaque résultant aboutit à une augmentation de la digestibilité du fourrage par la destruction d'une partie de la paroi végétale. Elle augmente aussi sa teneur en azote et son ingestion et donc l'amélioration de la valeur nutritive des fourrages (FAO., 1994).

En Algérie, l'urée est utilisée avec l'ensilage de maïs parce qu'il est pauvre en azote et aussi parce que les ruminants savent utiliser l'urée comme source d'azote non protéique et donc on peut leur en donner dans la mangeoire en mélange avec l'ensilage (10 g d'urée pour 1 kg d'ensilage de maïs) (Belaid, 2016).

Il faut limiter la quantité d'urée maximale ingérée à 25g/100kg de poids vif pour les vaches laitières et 30g/100kg de poids vif pour la production de viande.

L'intérêt de l'emploi de l'urée dans l'alimentation des ruminants tient d'abord, grâce à la faculté les ruminants de transformer l'azote non protéique en azote protéique par le biais des micro-organismes du rumen et aussi grâce à sa richesse en azote (Benguega, 2006).

## 6. Ammoniaque

L'ammoniaque est le produit de la dissolution de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) à l'état gazeux dans l'eau, sa formule chimique est NH<sub>4</sub>OH. Il agit comme agent de conservation à cause de ses propriétés antimicrobiennes et il a un effet tampon dans l'alimentation par la stimulation de la production de l'acide lactique et par conséquent l'augmentation de pH (Belaid, 2016).

En Algérie, le traitement à l'ammoniaque est utilisé avec l'ensilage de maïs, et il est utilisé aussi avec les pailles de céréales. Cette opération se fait à raison de 3Kg d'NH<sub>3</sub> pour 100 Kg de paille.

Un essai de traitement des grignons à l'ammoniaque est réalisés, ces grignons sont tamisés après broyage et ont été stockés en sac plastique avec injection de NH<sub>3</sub> (3%). Il en résulte une amélioration importante de la valeur nutritive, les résultats sont mentionnés dans le tableau (Boucherba ,2015).

Il excite différents facteurs influençant le traitement à l'ammoniac notamment, le taux d'humidité qui facilite la fixation d'azote sur les fibres de l'aliment. la dose d'ammoniac, une dose entre 3% et 5% est

un optimum permettant un équilibre entre l'obtention d'un produit de qualité et des impératifs économiques (**Benguega, S 2006**).

Il permet d'améliorer la qualité nutritionnelle et la digestibilité du produit et peut être une bonne solution de dépannage en année sèche, ou mm s'intègre à la routine dans le système fourrage de l'éleveur (**Ademe, 2000**).

**Tableau 18** : la valeur nutritive des grignons traités à l'ammoniac (**Boucherba ,2015**)

	<b>Grignon non traité</b>		<b>Traité 3% NH<sub>3</sub></b>
Digestibilités	(%)		
MS	36		41
MO	40		43
MAT	29		55
MG	77		86
CB	39		49
NDF	32		39
ADF	25		32
ADL	13		19
Hémi-cellulose	60		63
Cellulose	43		49
Ingestion	g	MS/j/P <sup>0.75</sup>	99
			98

# *Conclusion*

Ce mémoire de fin d'étude aborde le sujet de la recherche des sources alternatives d'énergie et d'azote pour la flore ruminale, en vue de combler les déficits en aliments conventionnels.

Cette idée est inspirée du fait que l'augmentation des coûts d'achat des aliments pour ruminants. Cette augmentation est le résultat d'importation de fourrage qui sont chers pour les éleveurs. Pour cela, et on se basant sur une recherche bibliographique, on a étudié quelques sources alternatives qui sont proposés à un coût raisonnable et avec une disponibilité régulière.

On premier lieu on a proposé de valoriser les sous produits agroalimentaires vu que leur disponibilité sur le marché à des prix intéressent. Ils sont considérés comme un aliment appétant très apprécié par les ruminants. Parmi les quelles on a cité les sous produits de pomme de terre, les sous produits de tomate, les sous produits de palmier dattier, les sous produits d'olivier, les pulpes d'grumes.

On a proposé aussi les céréales immatures qui sont un fourrage de bon qualité, peu cher à produire et bien valorise au niveau du bétail si le stade optimal de récolte est respecté.

Et enfin, pour les sources alternatives d'azote on s'est intéressé à des produits qui fournissent l'ammoniac comme produit final dans les rations vu que la grande importance de celle-ci dans le métabolisme bactérien et c'est le cas de l'urée, l'ammoniaque, l'extrait de levure, le nitrate de potassium, le bicarbonate d'ammonium et le glutamate de sodium.

Dans notre travail, on est limité à ces propositions parce qu'on pas l'occasion de faire une partie pratique pour les confirmer et donc ces hypothèses peut servir comme des idées pour les éleveurs à les essayer ou non.

# *Références*

1. **Abla, F et Bouchaar, H (2016).** Effet de la source d'azote sur l'activité métabolique des principaux groupes bactériens du rumen de bovin : cas du bicarbonate d'ammonium et du nitrate de potassium. Université des Frères Mentouri Constantine Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
2. **Ademe (2000).** Les coproduits d'origine végétale des industries agroalimentaires. Ademe Edition, 76 p.
3. **Ahishakiye, BM., Ait ammour, M (2010).** Valorisation de résidus de transformation industrielle de tomates : Extraction et caractérisation de l'huile de graines de tomates. Université Saad-dahlab de Blida faculté des sciences agro-vétérinaires département des sciences agronomiques.
4. **Ahmed Serir, A (2017).** Caractéristiques nutritives des rebuts de datte et des grignons d'olive en vue d'une alimentation animale. Sciences et Techniques des Productions Animales.
5. **Aschenbach, JR., Penner, GB., Stumpff, F., Gäbel, G ( 2011).** Ruminant nutrition symposium: Role of fermentation acid absorption in the regulation of ruminal pH. *J Anim Sci* 89, 1092-1107.
6. **Avralis (2014).** Un levier pour produire des stocks fourragers : la récolte de céréales immatures. INRA et Chambre d'Agriculture.
7. **Bach, A., Calsamiglia, S et Stern, MD (2005).** Nitrogen metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 88: E9– E21.
8. **Bauchop, T et Clarke, RTJ (1976).** Attachment of the ciliate *Epidinium* *crawley* to plant fragments in the sheep rumen. *appl. environ. microbiol.*, 32,417-422
9. **Beckers, Y (2013).** L'équilibre des rations alimentaires des bovins : quelques pistes pour améliorer l'efficacité azotée. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 17(S1), 243-250
10. **Belaid, Dj (2016).** Algérie, utilisation de l'urée avec l'ensilage de maïs. Collection Brochures Agronomiques.
11. **Benguega, S (2006)** .utilisation de blocs multinutritionnels en alimentations des ovins et des caprins. Faculté des sciences et science de l'ingénieur. Université kasdi merbah ourgla.
12. **Boucherba, N (2015).**Valorisations des résidus agro-industriels .Faculté des sciences de la nature de la vie .Université Abderrahmane Mira de Bejaïa.
13. **Briki , K., Debab, S (2009).** Etude microbiologique de la microflore ruminale des ovins, Méthanogènes et additifs alimentaires. Mémoire en ligne. Université Mohamed Boudiaf, Msila, Algérie
14. **Callaway, ES., Martin, SA (1997).** Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* Culture on Ruminal Bacteria that Utilize Lactate and Digest Cellulose. *J.Dairy Science*, 80(9), pp : 235.
15. **Castillo-González, AR., Burrola-Barrazab, ME., Domínguez-Viverosb, J., Chávez-Martínezb, A (2014).** Rumen microorganisms and fermentation. *Arch Med*, 46, 349-361
16. **Chehma, A., Longo, H F (2001).** « Valorisation Des Sous-Produits Du Palmier Dattier En Vue De

Leur Utilisation En Alimentation Du Bétail », Rev. Energ. Ren. : Production Et Valorisation – Biomasse, (2001) 59-64.

17. **Claire, B (2010)**. Influence d'une supplémentation en monosodium glutamate sur la physiologie gastro-intestinale et le métabolisme chez le rat et l'Homme. Alimentation et nutrition. AgroParisTech.
18. **Cotta, MA., Hespell, RB (1986)**. Proteolytic activity of the ruminal bacterium *Butyrivibrio fibrisolvens*. *Appl Environ Microbiol* 52, 51-58.
19. **Cotte, F (2000)**. Etude de la valeur alimentaire des pulpes de tomates. Thèse Med.Vet.,
20. **Cristina, G (2012)**. Valorisation des fruits et des sous-produits de l'industrie de transformation des fruits par extraction des composés bioactifs. Sciences agricoles. Université d'Orléans.
21. **Cuvelier, CH., Hornick, JL., Beckers, Y., Froidmont, E., Knapp, E., Istasse, L., Dufrasne, I (2014)**. Livret de l'agriculture : l'alimentation de la vache laitière Physiologie et Besoins. Université de Liège Centre Wallon de Recherches Agronomiques. P10
22. **Decruyenaere, V., Froidmont, E., Saive, P., Rondia, P., Bartiaux-Thill, N., Stilmant, D (2005)**. Valorisation des coproduits de la pomme de terre en production animale. Section Systèmes agricoles, Libramont. Département Productions et Nutrition animales
23. **Drogoul, C et al (2004)**. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Educagri. 2004. p. 270. Vol. Tome 1
24. **FAO (1994)**. Projet NER/89/016. Rapport terminal: conclusions et recommandations. Extension de la méthode de traitement à l'urée des fourrages grossiers dans les départements de Tillabéri, Dosso et Maradi. Rome
25. **Fellner, V (2005)**. North Carolina State University, Animal Science Departmental Report.
26. **Feraton, JG (2010)**. excès chronique d'azote chez les bovines biochimies sanguines et ruminale Etude expérimentale. thèse pour obtenir le grade de docteur vétérinaire. l'Université Paul-Sabatier de Toulouse.p26
27. **Fonty, G., Forano, E., Gaudet, G., Komisarczuk, S et Gouet, PH (1988)**. The rumen bacteria. The rumen microbial ecosystem. *Elsevier*. London and New York. pp: 21-76.
28. **François, G (2007)**. Les effets d'une supplémentation en enzymes fibrolytiques exogènes dans l'alimentation des vaches laitières. Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation Université Laval. pp 2.
29. **Genzebu, D et Tesfay, G (2015)**. The role of bacteria in nitrogen metabolism in the rumen with emphasis of cattle. *Research Journal of Agriculture and Environmental Management*. 4(7), pp. 282-290

30. **Goad, DW., Goad, CL., Nagaraja, TG (1998).** Ruminal microbial and fermentative changes associated with experimentally induced subacute acidosis in steers. *J. Anim. Sci.*, **76**, 234-241
31. **Guillaume, HB (2007).** Flore du Rumen: Origine, Composition, Evolution, Conséquence Physiopathologiques. Thèse Med. Vet, Alfort, pp. 21-47.
32. **Hungate, RE (1966).** The rumen and its microbes. Academic Press.8-90.533p
33. **Imai, S et Ogimoto, K (1978)** .Scanning electron and fluorescent microscopic studies on the attachment of spherical bacteria to ciliate protozoa in the ovine rumen .vet .sci 9-19
34. **Jane, AP., Daniel, JR et Holly, TB (2009).** Ruminant livestock have a unique digestive system that allows them to use energy from fibrous plant material better than other herbivores Mississippi State University Extension Service report.
35. **Jenkins, TC (1993).** Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy. Sci.*, **76**, 3851-3863
36. **Jenkins, TC., Wallace, RJ., Moate, PJ., Mosley, EE (2008).** Board-invited review: Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *J Anim Sci* 86, 397-412.
37. **Jouany, JP., Daridllat , C., Kayouli ,C (1995).** Microbial cell wall digestion in camelides.
38. **Jouany, JP (1994).** Les fermentations dans le rumen et leur optimisation. *INRA Productions animales*. <https://www6.inra.fr/productions-animales/>. pp 207-225.
39. **Kamara, DN (2005).** Rumen microbial ecosystem. *Current Science*, 89 (1), pp: 124.
40. **Karslima et Russell, JR (2002).** Effects of Source and Concentrations of Nitrogen and Carbohydrate on Ruminal Microbial Protein Synthesis. *Turk J Vet Anim Sci* 26 .201-207.
41. **Krause, DO., Denman, SE., Mackie, RI., Morrison, M., Rae, AL., Attwood, GT., McSweeney, CS (2003).** Opportunities to improve fiber degradation in the rumen: microbiology, ecology and genomics. *FEMS Microb. Rev.*, **27**, 663-693
42. **Le fiagro santé.**Pomme de terre. <http://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/nutrition-aliments/pomme-terre/composition>
43. **Luxen, P., Knoden, D., Stilmant, D., Seutin, Y (2004).** Les céréales immatures : une source d'énergie alternative pour les ruminants dans les zones limitantes pour la culture de maïs. Le Livre blanc de février 2004. 10 p.  
Lyon I, pp.40-56; 64-67.
44. **Michalet-Doreau, B., Fernandez, I., Peyron, C., Millet, L (2001).** Fibrolytic activities and cellulolytic bacterial community structure in the solid and liquid phases of rumen contents. *Reprod. Nutr. Dev.*, **41**, 187-194
45. **Morel d'Arleux et Leclerc, MC (2003).** Les Coproduits pour l'alimentation des ruminants : un dossier complet Qu'est-ce qu'un co-produit?

[http://www.instelevage.asso.fr/html1/article.php3?id\\_article=463](http://www.instelevage.asso.fr/html1/article.php3?id_article=463)

46. **Nocek, JE et Russell, JB** .Protein and energy as an integrated system. Relationship ruminal protein and carbohydrate availability to microbial protein synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 1988; 71: 2070-2107.
47. **Orpin, GC (1984)**. The role of ciliate protozoa and fungi in the rumen digestion of plant cell walls. *anim feed sci .technol.*, 10,121 -143
48. **Res, D., Vian, B., et Bajon, C (2006)**. Le monde des fibres. (Eds), Belin, Paris, pp. 17-26,
49. **Rey, M (2012)**. Implantation du microbiote et mise en place des fonctions du rumen chez le veau de race laitière et l'effet de la supplémentation en levures vivantes.
50. **Russell, JB (2002)**. Rumen Microbiology and Its Role in Ruminant Nutrition. Ithaca.
51. **Sahli, B., Latrous, N (2015)**. Etude de la fermentation in vitro des résidus de tomate et l'orange et deux plantes fibreuses (Carde et Chrysanthème), par la flore ruminale bovine, dans différentes sources d'azote. Mémoire de Master. Université des frères Mentouri Constantine, pp : 32.
52. **Stewart, CS., Bryant, MP (1988)** .The rumen bacteria. *In: Hobson PN, editors. The rumen microbial ecosystem.* Elsevier Science Publisher, New York, 21-75. 527 p
53. **Stewart, CS., Flint, HJ et Bryant, MP (1997)**. The rumen bacteria. The rumen microbial ecosystem. *In: Hobson PN, and Stewart C.S. (Eds), London, Blackie Academic and Professional, UK, pp. 10-72.*
54. **Stilmant, D., Seutin, Y., Knoden, D., Luxen, P., Nihoul, P (2002)**. Les céréales immatures, une source d'énergie alternative pour les ruminants dans des zones peut aptes à la culture du maïs. Les livrets de l'agriculture.
55. **Tamminga, S (1979)**. Relation between different carbohydrates and microbial synthesis of protein .Kiel group seminar .Uppsala 13-14 june 1979, Rep. N 130.
56. **Tiret, L (2001)**. Physiologie de la digestion. Polycopié, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Unité Pédagogique de Physiologie et Thérapeutique. 69 p
57. **Van Zwieten, JT., van Vuuren, AM., Dijkstra, J (2008)**. Effect of nylon bag and protozoa on *in vitro* corn starch disappearance. *J Dairy Sci* 91, 1133-1139.
58. **Vanabelle, B., Poupard, F., Besancenot, JM., Morel d'Arleux, F., Weiss, P., Larondelle, (2000)**. Valeur énergétique des co-produits de la pomme de terre chez le ruminant. *Annales de Zootechnie* (49) 399-404.
59. **Wattiaux, MA (1994)**. Nutrition et alimentation de la vache laitière. Site internet de l'Institut Babcock of the University of Wisconsin 98 (Madison).
60. **Weimer, P (1996)**. Ruminant Cellulolytic Bacteria; Physiology, Ecology, and Beyond. US Dairy Forage Research Center, Informational Conference with Dairy and Forage Industries.
61. **Wertz, JL (2010)** .La lignine . Document ValBiom – Gembloux Agro-Bio Tech. p 5-8.

62. **Wertz, JL (2011).** Les hémicellulose. Document ValBiom – Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège p 3.
63. **Yang, C., Rooke, JA., Cabeza, I et Wallace, RJ ( 2016) .** Nitrate and Inhibition of Ruminant Methanogens: Microbial Ecology, Obstacles, and Opportunities for Lowering Methane Emissions from Ruminant Livestock. Front Microbial 7: pp 1-132.

**Les sites internet :**

1. Anonyme, 2018. Cellulose .  
<http://www.chups.jussieu.fr/polys/biochimie/SGLbioch/POLY.Chp.1.5.html>  
Consulté le 24-05-2018
2. Anonyme , 2018.  
<http://cellulosepelakanal.pagesperso-orange.fr/Organisation%20de%20la%20cellulose.htm>  
consulté le 24-05-2018.
3. Anonyme , 2018. Hémicellulose .  
[http://www.scielo.br/scielo.php?scddes\\_ript=sci\\_arttext&pid=S0104-14282013000300002](http://www.scielo.br/scielo.php?scddes_ript=sci_arttext&pid=S0104-14282013000300002)  
consulté le 24-05-2018.
4. Anonyme, 2018.  
[http://eric.lacouture.free.fr/lycee/termS\\_spe/cours\\_term\\_spe\\_ch1.htm](http://eric.lacouture.free.fr/lycee/termS_spe/cours_term_spe_ch1.htm) .  
Consulté le 24-05-2018
5. Anonyme, 2018.  
<http://sos-crise.over-blog.com/article-retombée-radioactive-idees-pour-se-proteger-69569171.html>.  
Consulté le 24-05-2018.

# *Résumé*

## Résumé

Les ruminants occupent une place importante dans le monde et ils sont considérés comme des animaux particuliers efficaces dans la conversion d'aliments de faible valeur nutritive en aliments de bonne qualité. Cette particularité découle de celle de l'ensemble des microorganismes excités dans le rumen.

Le métabolisme énergétique apporte l'énergie nécessaire aux microorganismes pour leur entretien et leur croissance et des nutriments énergétiques pour l'hôte sous forme d'AGV. Pour le métabolisme azoté : les protéines sont dégradées en acides amines qui sont désaminées et fournissent l'ammoniac utilisé par les différents groupes de microorganismes pour synthétiser leurs propres protéines.

Les sources d'énergie et d'azote utilisées de façon conventionnelles pour ces ruminants ne sont pas disponibles de façon stable et de la même quantité pendant toute l'année. Les éleveurs ne peuvent donc pas assurer l'autosuffisance alimentaire pour leurs bétails et se trouvent obligés d'importer des quantités élevées d'aliments qui aboutissent à l'augmentation du coût de production. Pour cette raison, au cours de notre travail nous avons effectué une recherche bibliographique sur les sources alternatives d'énergie et d'azote qui peuvent être utilisées à la place de la ration ordinaire à condition qu'elle présente la même valeur nutritive d'une ration ordinaire.

Dans ce contexte, on s'est intéressé aux sources alternatives d'énergie, à la valorisation des sous produits agroalimentaires et on a proposé aussi les céréales immatures. Pour les sources alternatives d'azote, on s'est intéressé aux produits qui libèrent l'ammoniac au cours du métabolisme ruminal.

En conclusion, ils existent plusieurs autres sources alternatives soit pour l'énergie ou pour l'azote et qui sont de valeur nutritive compétitive pour la ration alimentaire conventionnelle.

## Summary

Ruminants occupy an important place in the world and are considered as particular animals that are effective in converting foods of low nutritional value into good quality foods. This peculiarity stems from that of all microorganisms excited in the rumen.

Energy metabolism provides the necessary energy for microorganisms for their maintenance and growth and energy nutrients for the host in the form of AGV. For Nitrogen Metabolism: Proteins are degraded to amino acids that are deaminated and provide the ammonia used by different groups of microorganisms to synthesize their own proteins.

Conventionally used energy and nitrogen sources for these ruminants are not available stably and in the same amount throughout the year. Farmers therefore can not ensure food self-sufficiency for their livestock and are forced to import high quantities of food which leads to increased production costs. For this reason, in the course of our work we carried out a bibliographic search on alternative sources of energy and nitrogen that can be used in place of the regular ration provided that it has the same nutritional value of a regular ration.

In this context, we have been interested in alternative sources of energy, in the valorization of agrifood by-products and we have also proposed immature cereals. For alternative sources of nitrogen, attention has been given to products that release ammonia during ruminal metabolism.

In conclusion, there are several alternative sources for either energy or nitrogen that are of competitive nutritional value for the conventional food ration.

## ملخص

تحتل الحيوانات المجترة مكانًا مهمًا في العالم وتعتبر حيواناتًا خاصة فعالة في تحويل الأطعمة ذات القيمة الغذائية المنخفضة إلى أطعمة ذات نوعية جيدة. هذه الخصوصية تتبع من كل الكائنات الحية الدقيقة المتحمسة في الكرش.

يوفر التمثيل الغذائي للطاقة اللازمة للكائنات الحية الدقيقة لصيانتها ونموها ومغذيات الطاقة للعائل في شكل AGV من أجل استقلاب النيتروجين: تتحلل البروتينات إلى الأحماض الأمينية التي يتم تسخينها وتوفر الأمونيا المستخدمة من قبل مجموعات مختلفة من الكائنات الدقيقة لتجميع بروتيناتها الخاصة.

إن مصادر الطاقة والنيتروجين المستخدمة بشكل تقليدي لهذه المجترات غير متوفرة بثبات وبنفس المقدار على مدار العام. ولذلك لا يستطيع المزارعون ضمان الاكتفاء الذاتي من الغذاء لمواشيهم ويضطرون إلى استيراد كميات كبيرة من الغذاء مما يؤدي إلى زيادة تكاليف الإنتاج. ولهذا السبب ، أجرينا خلال عملنا بحثًا ببليوغرافيًا عن مصادر بديلة للطاقة والنيتروجين يمكن استخدامها بدلاً من الحصة العادية شريطة أن يكون لها نفس القيمة الغذائية الحصة العادية.

في هذا السياق ، كنا مهتمين بمصادر الطاقة البديلة ، في تقييم المنتجات الزراعية القائمة على المنتجات الزراعية ، كما اقترحنا الحبوب غير الناضجة. بالنسبة لمصادر النيتروجين البديلة ، تم إيلاء الاهتمام للمنتجات التي تطلق الأمونيا أثناء عملية التمثيل الغذائي في الكرش.

في الختام، هناك العديد من المصادر البديلة للطاقة أو النيتروجين ذات القيمة الغذائية التنافسية للحصة الغذائية التقليدية .

## Recherche de sources alternatives d'énergie et d'azote pour la flore ruminale

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Biologie Moléculaire des Microorganismes

Les ruminants occupent une place importante dans le monde et ils sont considérés comme des animaux particuliers efficaces dans la conversion d'aliments de faible valeur nutritive en aliments de bonne qualité. Cette particularité découle de celle de l'ensemble des microorganismes excités dans le rumen.

Le métabolisme énergétique apporte l'énergie nécessaire aux microorganismes pour leur entretien et leur croissance et des nutriments énergétiques pour l'hôte sous forme d'AGV. Pour le métabolisme azoté : les protéines sont dégradées en acides aminés qui sont désaminés et fournissent l'ammoniac utilisé par les différents groupes de microorganismes pour synthétiser leurs propres protéines.

Les sources d'énergie et d'azote utilisées de façon conventionnelles pour ces ruminants ne sont pas disponibles de façon stable et de la même quantité pendant toute l'année. Les éleveurs ne peuvent donc pas assurer l'autosuffisance alimentaire pour leurs bétails et se trouvent obligés d'importer des quantités élevées d'aliments qui aboutissent à l'augmentation du coût de production. Pour cette raison, au cours de notre travail nous avons effectué une recherche bibliographique sur les sources alternatives d'énergie et d'azote qui peuvent être utilisées à la place de la ration ordinaire à condition qu'elle présente la même valeur nutritive d'une ration ordinaire.

Dans ce contexte, on s'est intéressé aux sources alternatives d'énergie, à la valorisation des sous produits agroalimentaires et on a proposé aussi les céréales immatures. Pour les sources alternatives d'azote, on s'est intéressé aux produits qui libèrent l'ammoniac au cours du métabolisme ruminal.

En conclusion, ils existent plusieurs autres sources alternatives soit pour l'énergie ou pour l'azote et qui sont de valeur nutritive compétitive pour la ration alimentaire conventionnelle.

**Mots clés :** flore ruminale, source d'énergie, source d'azote, valorisation des sous produits agroalimentaires, céréales immatures.

**Laboratoire de recherche :**

**Jury d'évaluation :**

**Président du jury :** M. *KADEM Djahou Eldjabine* (Professeur - UFM Constantine 1).

**Rapporteur :** M. *HADDI Mohamed-Laid* (Professeur - UFM Constantine 1).

**Examinatrice :** Mme. *BENCHIHEUB Meriem* (Maitre de conférence B - UFM Constantine1).

**Date de soutenance :** 02/07/2018