



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université ABDELHAMID IBN BADIS - Mostaganem -

*Faculté des sciences de la nature et de la vie*

*Département des sciences agronomiques*

*Laboratoire de physiologie animale appliquée. Université ABDELHAMID IBN BADIS -  
Mostaganem – 27000, (Algérie).*

*Laboratoire de biotechnologie et de nutrition des zones arides. Université IBN-KHALDOUN-  
Tiaret- 14000, (Algérie).*

**THESE**

**En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences agronomiques**

**Option : Production animale**

Présenté par :

**M<sup>r</sup> : LOUACINI Brahim Kamal**

**LE POTENTIEL D'UTILISATION DU CACTUS DANS UNE RATION DE BREBIS A  
L'ENTRETIEN : EFFETS SUR LA DIGESTIBILITE IN VIVO ET SUR LES  
PARAMETRES BIOCHIMIQUES, DANS L'OPTION DE DEVELOPPEMENT  
DURABLE.**

**Soutenue publiquement le 27 février 2014**

**Devant le Jury composé de :**

<b>Président :</b>	Mr RIAZI Ali	Professeur à l'université de Mostaganem
<b>Promoteur:</b>	Mr DELLAL Abdelkader	Professeur à l'université de Tiaret
<b>Co-promoteur :</b>	Mr. HALBOUCHE Miloud	Professeur à l'université de Mostaganem
<b>Examineur :</b>	Mr NIAR Abdellatif	Professeur à l'université de Tiaret
<b>Examineur :</b>	Mr LOTMANI Brahim	Professeur à l'université de Mostaganem
<b>Examineur :</b>	Mr MAATOUG Mohamed	Professeur à l'université de Tiaret

—Année Universitaire 2013-2014—

# Remerciements

A mon promoteur de thèse

**Monsieur le professeur DELLAL Abdelkader.** Université Ibn Khaldoun de Tiaret.

Je vous remercie pour vos nombreux conseils, votre rigueur, et, tout particulièrement pour m'avoir encadré avec enthousiasme et amabilité. Vous m'avez fait l'honneur en acceptant de diriger cette thèse, pour votre savoir, pour votre grande compétence et pour votre disponibilité. Acceptez, Monsieur le professeur, de trouver ici le témoignage de ma plus profonde gratitude et de ma sincère estime.

A mon co-promoteur de thèse

**Monsieur le professeur HALBOUCHE Miloud.** Université Ibn Badis de Mostaganem.

Je vous remercie pour votre passion de chercheur, votre grande générosité, votre rigueur scientifique, qui m'ont été très formateur. Trouvez, ici, Monsieur le professeur l'expression de ma plus haute considération.

A notre président de jury

**Monsieur le professeur RIAZI Ali.** Université Ibn Badis de Mostaganem.

Vous m'avez fait le très grand honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse, Je vous suis reconnaissant pour l'intérêt que vous avez accordé à ce travail. Je vous adresse, Monsieur le professeur, l'expression de ma plus haute considération.

A notre jury de thèse

**Monsieur le professeur NIAR Abdellatif.** Université Ibn Khaldoun de Tiaret.

Vous m'avez fait le plaisir de vous intéresser à ce sujet et de vous joindre au jury, malgré vos nombreuses responsabilités, pour vos orientations, vos encouragements, et votre générosité scientifique. Acceptez, Monsieur le professeur, le témoignage de ma profonde gratitude et de ma sincère estime.

**Monsieur le professeur LOTMANI Brahim.** Université Ibn Badis de Mostaganem.

Je vous remercie pour l'enseignement dont j'ai eu le privilège de bénéficier au cours de mon cursus gradué et post gradué, dans les années 1980. Vous m'avez fait le très grand honneur de faire partie du jury. Je vous adresse, Monsieur le professeur, l'expression de ma plus haute considération.

**Monsieur le professeur MAATOUG Mohamed.** Université Ibn Khaldoun de Tiaret.

Je vous remercie pour m'avoir apporté l'aide nécessaire pour mener à bien ce travail et de nos longues nuits d'hiver passées dans votre bureau pour le traitement statistiques. Vous m'avez fait le très grand honneur de faire partie du jury. Je vous adresse Monsieur le professeur, l'expression de ma plus haute considération.

### Mes sincères remerciements vont aussi :

A Monsieur **BENAMAR**, directeur de l'INSID de Ksar Chellala, pour m'avoir accueilli dans ses laboratoires. Hommage respectueux.

A Monsieur **BEKALI Si Mohamed** directeur de l'INRA de Rabat, pour m'avoir introduit dans ses laboratoires, et auprès, de tous les chercheurs travaillant sur cet axe. Hommage respectueux.

“ L'homme est un homme avec l'autre ” selon Nietzsche. Cette citation prend tout son sens quand il s'agit de croiser sur le chemin de la vie, un homme qui n'a ménagé ni son temps ni ses efforts, pour m'accueillir et pour me permettre d'effectuer dans les meilleures conditions toutes les expériences que j'ai voulu faire : **Monsieur le professeur BAMOUH Ahmed**, de l'IAV HASSAN II de Rabat. Acceptez, Monsieur le professeur de trouver ici le témoignage de ma profonde gratitude et ma sincère estime.

Au docteur **MAACHI Mohamed** de m'avoir accueilli dans son laboratoire d'analyses biomédicales. Je vous adresse mes sincères remerciements.

Je suis redevable à ma collègue Mademoiselle **TISSOURAS Fatiha** pour m'avoir initié aux techniques d'analyses biochimiques, durant les fortes chaleurs de Tiaret, 18 heures par jour, ne ménageant ni son temps, ni ses efforts. Je témoigne toute ma gratitude, pour tout ce qu'elle m'a apporté lors de nos longues discussions. Son goût profond pour la recherche et son dynamisme époustouflant m'ont beaucoup marqué.

A mes étudiants **Amel Hamami** et **Mériem Bourahla**, pardonnez-moi si j'étais trop rigoureux envers vous.

A mon ami **yahiaoui Ahmed**, enseignant à l'université de Mascara, qui m'a toujours soutenu dans les moments difficiles que j'ai traversé. Hommage respectueux.

Je suis aussi redevable à mes collègues de l'institut des sciences vétérinaires de Tiaret qui ont contribué de très près comme d'un peu plus loin, à ce que le fruit mûrisse à la lumière des points de vue propre à chacun .

Vous avez le témoignage d'un sincère collègue, et pardonnez moi de citer” **Ahmed Moussa, Si Mohamed Hamoudi , Baghdad Khiati, Aissa Ouffai, Si Mohamed Selles, Tahar Benhamiti, Si Ameer Addelhadi, Aggad habib, Abdelli Mustapha, Hachi Abed, Amirat Mokhtar, Kheira Ghazi , fatima Benchaib , Benallou Bouabdellah, Laid Boukraa ,Aboud boulkaboul , Zidane Khaled, Aissat saad, Ahmed Boucif ... méritent toute ma reconnaissance et sympathie .**

**Malheureusement la liste est exhaustive. A toutes et à tous. Merci**

## ***Dédicaces***

Paradoxalement mes premières pensées à l'approche de ma soutenance vont vers mes défunts.

A mon père, **si Merouane** qui aurait été tellement fier de voir ses espoirs mis en moi, réalisés. Je ne pourrai l'oublier.

A mon père de cœur **Si EL hadj Tayeb** qui aurait été tellement fier de voir ses espoirs mis en moi, réalisés. Je ne pourrai l'oublier.

A mon frère, **Mustapha**, qui nous a quitté prématurément que j'aurai voulu, tellement avoir à mes côtés.

A ma tante, **Khadoudja** qui m'a soutenu dans les péripéties difficiles de la vie.

A ma belle soeur « **Zah** » qui m'a toujours incité à aller de l'avant.

A ma grande soeur « **Khalida** » qui aurait su trouver les mots pour m'encourager dans les moments difficiles de la vie.

A ma grande mère « **hana** » qui s'est tellement donnée pour que je sois ce que je suis.

A Hbib : **Heniche Mohamed** «qui n'a jamais manqué de faire ce que je crois en moi ».

A mon beau-père **si Ahmed Besseghier** que j'ai apprécié le peu de temps de nos entrevues.

A mon oncle Mr **Louacini Braham** qui a su prendre en charge toute la famille.

### **Pensant aux vivants maintenant.**

A ma **mère**, qui sans mot dire, n'en pense pas moi et me soutient en toute circonstance.

A mes frères **Abdenour, Hamid, Mustapha**.

A ma sœur **Hayat, son mari Mohamed** et mon neveu **Merouane**.

A mon épouse **Fatiha** qui a su me supporter durant ces moments si particuliers de ma vie.

A ma belle sœur **fadila** et son bout de choux **Alae Fatima Zohra**.

A **Malika** mon adorable belle sœur.

A ma cousine **Hamida** et ses enfants.

A **la petite Nesly, Meriem et ses enfants Zineb et Imene, Kenza, Salim**, au jeune couple **Adel et Imene, Soraya et son fils Abderrhim** très affectueusement.

A mes ami **MESLEM Abderrhim, et Zerrougui Benchohra** que Dieu exauce tous leurs vœux.

**Une mention particulière va à ma grande cousine " Mme HENICHE née Zakour Nadia", grande sœur de cœur, qui nous a quitté prématurément. Je prie Dieu l'omnipotent d'aider Amel, Menouar et Mehdi à supporter l'absence de leur maman et de les guider dans leurs démarches futures.**

***A ma ille Sarah Hayat.  
Que Dieu lui prête longue vie.***

## Table des matières

Liste des abréviations .....	I
Liste des tableaux, figures, photos première partie .....	II
Liste des tableaux, figures, photos deuxième partie .....	III
Résumé .....	IV
Introduction .....	1

### Première partie : Revue bibliographique

<b>I.1 : La ressource végétale .....</b>	<b>5</b>
I.1.1. Présentation de l' <i>Opuntia ficus indica</i> .....	5
I.1.2. Systématique .....	6
I.1.3. Origine et description.....	6
I.1.3.1. Origine .....	6
I.1.3.2. Description.....	7
I.1.3.2.1. Racine .....	7
I.1.3.2.2. Cladodes.....	8
I.1.3.2.3. Feuilles .....	8
I.1.3.2.4. Fleurs.....	9
I.1.3.2.5. Fruit et graines .....	9
I.1.4. Ecophysiologie du figuier de barbarie .....	10
I.1.4.1. Exigences écologiques du figuier de barbarie.....	11
I.1.4.1.1. Facteurs édapho-climatiques.....	11
I.1.4.1.2. Facteurs biotiques .....	11
I.1.5. Techniques culturales pour le genre <i>Opuntia</i> .....	12
I.1.5.1. Choix de l'espèce et du cultivar .....	12
I.1.5.2. Implantation .....	12
I.1.5.3. Culture du figuier de barbarie en Algérie .....	13
I.1.5.4. Importance agro –économique du figuier de barbarie .....	14
I.1.5.4.1. Utilisation des fruits.....	15
I.1.5.4.2. Utilisation des cladodes ou raquettes .....	15
I.1.5.4.2.1. Production fourragère .....	15
I.1.5.4.2.2. Utilisation zootechnique .....	16
I.1.5.4.3. Utilisations médicinales .....	20
I.1.5.4.3.1. Utilisation des raquettes .....	20
I.1.5.4.3.2. Utilisation des fleurs .....	21

<b>I.1.6. Organisation de la paroi végétale .....</b>	<b>22</b>
I.1.6.1 Polysaccharides pariétaux .....	23
I.1.6.1. 1. Pectines .....	23
I.1.6.1.2. Hémicelluloses .....	23
I.1.6.1.3. Cellulose .....	24
I.1.6.2. Paroi primaire et la paroi secondaire. ....	25
I.1.6.3. Extractions des polysaccharides.....	26
I.1.6.3.1. Extraction des pectines.....	26
I.1.6.3.2 Extraction des hémicelluloses .....	26
I.1.6.3.3. Extraction de la cellulose .....	26
I.1.6.4. Constituants pariétaux non polysaccharidiques .....	27
I.1.6.4.1. Protéines de structure .....	27
I.1.6.4.2. Composés phénoliques.....	27
I.1.6.4.2.1. Lignine .....	27
I.1.6.4.3. Lipides complexes .....	27
I.1.7. Ressources fourragères .....	28
1.1.7.1. Généralités.....	28
1.1.7.1.1. Les superficies fourragères en Algérie .....	29
1.1.7.1.2. La production et les rendements des fourrages .....	30
1.1.7.2. Impact de l'élevage sur l'environnement .....	32
1.1.7.2.1. Le cri d'alarme de la FAO.....	32
<b>I.2 :La ressource animale, digestibilité et développement durable des systèmes d'élevages en Algérie.....</b>	<b>33</b>
I. 2.1. Importance économique de l'élevage ovin .....	33
I.2.2. Aperçu de l'élevage ovin en Afrique du Nord.....	33
I.2.3. Place de l'élevage ovin dans l'économie algérienne .....	33
I.2.4. Situation de l'élevage ovin en Algérie.....	34
I.2.4.1 Effectif du cheptel en Algérie .....	35
I.2.4.2. Les Ovins .....	35
I.2.4.2.1. La race Rumbi.....	36
I.2.5. Alimentation de la brebis .....	36
I.2.5.1 Généralités .....	36
I.2.5.2. Rationnement .....	37
I.2.5.3. Alimentation à l'entretien .....	37

I.2.5.4. Notation de l'état corporel des brebis .....	38
I.2.5.4.1 Barème de notation de l'état corporel des brebis .....	40
I.2.6. Digestibilités apparente et réelle des constituants de la MS .....	41
I.2.6.1. Digestibilité apparente .....	41
I.2.6.2. Digestibilité réelle .....	41
I.2.7. Méthodes de mesure de la digestibilité in vivo.....	41
I.2.7.1 Conditions générales nécessaires à la validité des mesures .....	42
I.2.7.2. Facteurs liés aux animaux .....	43
I.2.7.3. Facteurs liés au milieu .....	43
I.2.7. 4. Choix du niveau d'alimentation .....	44
I.2.8. Réalisation de la mesure .....	45
<b>I.2. 9. Digestibilité des aliments .....</b>	<b>45</b>
I.2.9.1. Digestibilité des fourrages .....	45
I.2.9. 2. Digestibilité des aliments concentrés et les sous-produits .....	46
I.2.10. Calcul de la valeur énergétique et azotée .....	47
I.2.10.1 Valeur énergétique .....	47
I.2.10.1.1. Energie brute fourrages et concentrés.....	47
I.2.10.2. Digestibilité de l'énergie (d.E) et énergie digestible (ED) .....	48
I.2.10.2.1. Cas des fourrages .....	48
I.2.10.2.2. Cas des aliments concentrés.....	49
I.2.10.3. Energie métabolisable (EM). .....	50
I.2.10.4 Energie nette (EN) .....	51
I.2.10.5 Valeur azotée .....	52
I.2.10.5.1. La teneur en matières azotées apparemment digestibles (MAD .....	52
I.2.10.6 Expression de l'ingestibilité et valeur d'encombrement .....	53
I.2.10.6.1. Principes .....	53
<b>I .2.11. Métabolismes.....</b>	<b>54</b>
I .2.11.1. Glycolyse .....	54
I .2.11.1.1 Facteurs de variations de la glycémie .....	55
I .2.11.2. Métabolisme des lipides.....	55
I 2.11.2.1. Facteurs de variations de la lipémie.....	56
I 2.11.2.2. Triglycérides .....	56
I 2.11.2.3 Cholesterol .....	57
I 2.11.3. Métabolisme des substances azotées .....	57

I 2.11.3.1. Protéines totales et albumine.....	57
<b>I 2.12. Développement durable.....</b>	<b>59</b>
I.2.12.1. Qu'est-ce que le développement durable des systèmes d'élevage ?.....	59
I.2.12.2. Les potentialités inégales d'écosystèmes et pratique de l'éleveur.....	60
CONCLUSION .....	61

## **Deuxième partie : Expérimentations et résultats**

II. Matériels et méthodes .....	62
II.1 Choix de la région.....	62
II.2.Monographie de la région.....	64
II.2 .1. Situation géographique .....	64
II.2 .2. Les sols .....	64
II.2 .3. Données climatologiques.....	64
II.2.3.1. pluviométrie.....	64
II.2.3.2. température .....	65
II.2.4. synthèse climatique.....	65
II.2.4.1. Quotient pluviométrique d'Emberger.....	65
II.3.Matériels .....	67
II.3.1. Matériel végétal .....	67
II.3.2. Matériel animal.....	68
II.4. Méthodes .....	69
II.4.1. Analyses végétales.....	69
II.4.1.1. Mesures physiques des cladodes .....	69
I II.4.1.2.1. Echantillonnage et conservation.....	70
II.4.1.2.2. Teneur en matière sèche (MS).....	71
II.4.1.2.3. Détermination des cendres (MM) et de la matière organique (MO).....	71
II.4.1.2.4. Détermination de cellulose brute (CB) .....	72
II.4.1.2.4. Détermination de la matière grasse (MG) .....	72
II.4.1.2.5. Détermination de la composition chimique des acides gras.....	73
II.4.1.2.6. Détermination de la matière azotée totale (MAT).....	74
II.4.1. 2.7. Détermination des fibres neutres, des fibres acides et lignine.....	75
II.4.1.2.8. Détermination des composés pariétaux par voie biochimique .....	76
I.4.1.2.9. Détermination des minéraux .....	80
II.4.1.2.10. Spectrophotométrie d'absorption atomique.....	80
II.5. Méthodes d'analyses biochimiques sur l'animal (brebis) .....	81

II.5.1. Prélèvements sanguins .....	81
II.5.2. Méthodes de dosage.....	81
II.5.2.1. Les constantes biologiques .....	81
II.6. Analyse statistique des résultats .....	82
<b>III. Résultats et discussions .....</b>	<b>83</b>
<b>III.1. Expérimentation I : Etude de biométrie comparée de la cladode selon l'âge et la variante épineuse et âgée de Ksar Chellala. ....</b>	<b>83</b>
III.1.1 Biométrie comparée .....	83
III.1.2 Composition chimique de la cladode .....	85
III.1.3. Conclusion.....	86
<b>III.2. Expérimentation 2 : Prédiction de la valeur alimentaire des matières premières incorporées dans la ration.....</b>	<b>87</b>
III.2.1. Composition chimique des matières premières de l'étude.....	87
III.2.1.1. Teneur en eau .....	89
III.2.1.2. Teneur en MAT .....	89
III.2.1.3. Teneur en constituants pariétaux : Opuntia.....	90
III.2.1.4. Teneur en constituants pariétaux : Paille.....	91
III.2.1.5. Teneur en constituants pariétaux : grains .....	91
III.2.2. Valeur nutritionnelle.....	91
III.2.3. Conclusion.....	92
<b>III.3. Expérimentation 3. Ingestibilité, digestibilité des rations, et coût de la ration. ....</b>	<b>93</b>
III.3.1. Ingestibilité, digestibilité des rations, et coût de la ration. ....	93
III.3.2. Animaux .....	96
III.3.3. Aliment.....	96
III.3.4. Cage de métabolisme.....	96
III.3.5. Déroulement de l'essai .....	96
III.3.6. Conditions générales nécessaires à la validité des mesures .....	98
III.3.6.1. Période d'adaptation ou pré expérimentale.....	98
III.3.6.2. période expérimentale .....	99
III.3.7 Mesure de la digestibilité .....	99
III.3.7.1. Enregistrement.....	100
III.3.8. Résultats et discussions .....	101
III.3.8.1. Choix des régimes proposés .....	102

III.3.8.2. Ingestibilité.....	102
III.3.8.3. Digestibilité .....	103
III.3.8.3.1. Détermination de la digestibilité de la MS.....	103
III.3.8.3.2. Détermination de la digestibilité de la MO .....	104
III.3.8.3.3. Détermination de la digestibilité de la CB .....	105
III.3.8.3.4. Détermination de la digestibilité de la MAT.....	106
III.3.8.4. Calcul de la digestibilité différentielle de la paille d'orge .....	108
II.3.8.4.1. Digestibilité différentielle de la paille d'orge.....	109
II.3.8.5. Conclusion .....	110
<b>III.4. Expérimentation 4.</b> : Niveau d'alimentation, apport de la ration, GMQ ration et GMQ théorique en g par régime en cross over et par lot (n=8.).....	111
III.4.1 Calcul des niveaux d'alimentation .....	111
III.4.2. Calcul des besoins d'entretien en UFL et en MAD.....	111
III.4.3. Niveau d'alimentation régime 1 (témoin).....	112
III.4.3. Niveau d'alimentation régime 2.....	113
III.4.4. Niveau d'alimentation régime 3.....	113
III.4.5. Niveau d'alimentation régime 4.....	114
III.4.6. Conclusion.....	116
<b>III.5 Expérimentation 5 :</b> Effet de la cladode sur les paramètres biochimiques de la brebis .....	117
III.5. 1. Rappel normes physiologiques.....	117
III.5. 1.1 Les normes physiologiques de la glycémie.....	117
III.5.1. 2. Les normes physiologiques de l'urémie.....	117
III.5.1. 3. Les normes physiologiques de la cholestérolémie .....	117
III.5.1. 4. Les normes physiologiques des triglycérides.....	117
III.5.1. 5. Les normes physiologiques d'albuminémie.....	118
III.5. 2. Résultats et discussions glycémie .....	119
III.5. 3. Résultats et discussions urémie .....	120
III.5. 4. Résultats et discussions cholestérolémie.....	121
III.5. 5. Résultats et discussions triglycérides .....	123
III.5. 6. Profil chromatographique des acides gras de la cladode inerme et âgée .....	124
III.5. 7. Résultats et discussion albuminémie .....	129
III.5. 8. Conclusion paramètres biochimiques.....	130
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>131</b>

**Références bibliographiques ..... 134**

**Annexes**

**Annexe A :** prédiction de la valeur nutritive des aliments

**Annexes B :** tableau récapitulatif ingéré, matière fécale et digestibilité

**Annexe C :** niveau d'alimentation, évolution du poids

**Annexe D :** paramètres biochimiques

**Annexes E :** Photos matériels, lots et techniques

**Article.**



## *LISTE DES ABREVIATIONS*

---

<b>% :</b>	pourcent.
<b>°C :</b>	degré Celsius.
<b>ADF :</b>	Acid Détergent Fiber
<b>ADL :</b>	Acid Detergent Lignine
<b>AFNOR:</b>	Association française de normalisation.
<b>AGL :</b>	Acide Gras Libre
<b>AGNE :</b>	Acide Gras Non Estérifié
<b>AGV :</b>	Acide Gras Volatils
<b>ANP :</b>	Azote non protéique
<b>AOA :</b>	Acide-Oxlo-Acétique
<b>BE :</b>	Besoins d'entretien
<b>BHB :</b>	Béta-Hydroxybutyrate
<b>Ca :</b>	Calcium
<b>CAM :</b>	Crassulacean Acide Métabolisme
<b>CB:</b>	Cellulose brute
<b>CDTA :</b>	1-2-cyclohexane diamine tétra acétique
<b>CI :</b>	capacité d'ingestion.
<b>CIHEAM :</b>	Centre internationale des hautes études agronomiques méditerranéennes.
<b>CMQ :</b>	Consommation moyenne quotidienne.
<b>CV :</b>	Coefficient de Variation.
<b>DA :</b>	Dinar algérien
<b>D(...):</b>	Digestibilité de la matière MS, (MO).(CB),(MAT)
<b>dE :</b>	Digestibilité de l'énergie.
<b>DRS :</b>	Direction régionale de la steppe.
<b>EB :</b>	Energie brute.
<b>EC :</b>	Etat Corporel
<b>ED:</b>	Energie digestible.
<b>EDTA :</b>	Ethylène diamine tétra - acétique
<b>EE:</b>	Extrait Ethéré
<b>EM:</b>	Energie Métabolisable
<b>ENe:</b>	Energie Nette Entretien

<b>ENg:</b>	Energie Nette Gain de poids
<b>ENI:</b>	Energie Nette Lait
<b>Fa :</b>	Fraction des fèces d'origine alimentaire
<b>Fr:</b>	Fraction des fèces d'origine métabolisable
<b>FAO:</b>	Food and Agriculture Organization of United Nations
<b>FM :</b>	Faiblement méthylées
<b>g :</b>	Gramme.
<b>GES :</b>	Gaz effet de serre
<b>G.M.Q :</b>	Gain moyen quotidien.
<b>g/j :</b>	Gramme par jour.
<b>g/l :</b>	Gramme par litre.
<b>Ha :</b>	Hectare
<b>HCDS :</b>	Haut commissariat au développement de la steppe.
<b>HM :</b>	Hautement méthylées
<b>INRA :</b>	Institut National de la Recherche Agronomique
<b>INRAP :</b>	Institut National de la Recherche Agronomique et de Production
<b>INSID :</b>	Institut nationale des sols, irrigation et drainage (Ksar-chellala).
<b>ITEB :</b>	Institut Technique de l'Elevage Bovin
<b>K :</b>	Potassium
<b>Kcal:</b>	Kilocalorie.
<b>kg :</b>	Kilogramme.
<b>MAD:</b>	Matière Azotée Digestible
<b>MADR :</b>	Ministère de l'agriculture et du développement rural (Algérie).
<b>MAT :</b>	Matière Azotée Totale
<b>Max :</b>	Maximum.
<b>MG :</b>	Matière Grasse
<b>Mg:</b>	Magnésium
<b>Min:</b>	Minimum.
<b>MM :</b>	Matière Minérale
<b>MO :</b>	Matière Organique
<b>MOI :</b>	Matière organique ingérée
<b>MODI:</b>	Matière organique digérée
<b>MS :</b>	Matière Sèche
<b>n :</b>	Nombre d'échantillons

<b>Na :</b>	Sodium
<b>NA :</b>	Niveau d'alimentation
<b>NDF:</b>	Neutral Detergent Fiber
<b>NGG :</b>	Néogluco-genèse
<b>ONM :</b>	Office nationale de la météorologie (Ksar-chellala).
<b>ONU :</b>	Organisation des nations unies
<b>P :</b>	Phosphore
<b>P :</b>	Pluviométrie
<b>PB:</b>	Protéine brute.
<b>PDI :</b>	Protéine Digestible dans l'Intestin
<b>PDI :</b>	Protéines Digestibles dans l'Intestin
<b>PDIA :</b>	Protéines Digestibles dans l'Intestin d'origine Alimentaire
<b>PDIM :</b>	Protéines Digestibles dans l'Intestin d'origine Microbienne
<b>PRG :</b>	Protéines riches en glycérine
<b>PRP :</b>	Protéines riches en proline
<b>PNUD :</b>	Programme des nations unies pour le développement
<b>PV :</b>	Poids Vif
<b>R :</b>	Coefficient de corrélation
<b>SR :</b>	Ecart résiduel
<b>SAU :</b>	Surface Agricole Utile
<b>UE :</b>	Unité d'Encombrement
<b>UEM :</b>	Unité d'encombrement mouton.
<b>UF :</b>	Unité Fourragère.
<b>UFL :</b>	Unité fourragère lait
<b>UFV:</b>	Unité fourragère viande

**Première partie : Revue bibliographique**

**Liste des figures**

**Figure 1** : Cycle photosynthétique des plantes de type CAM ..... 11

**Figure 2** : Modèle de la paroi primaire montrant l'organisation des polysaccharides pariétaux chez les dicotylédones (modèle proposé par Carpita et Gibaut) ..... 22

**Figure 3**: Formule chimique de la cellulose ..... 24

**Figure 4**: Les quatre étapes de l'attribution d'une note d'état corporel par maniement de la région lombaire de la brebis (Russel *et al.* 1984 ; cités par Dedieu *et al.* 1991)..... 39

**Liste des tableaux**

**Tableau 1** : Composition chimique moyenne de raquettes d'*Opuntia* utilisées comme fourrage. (Adaptée de Nefzaoui et Ben Salem, 2002). ..... 17

**Tableau 2** : Intégration de paille au Figuier de Barbarie inerme. (Adaptée de Nefzaoui et al. 1993)..... 19

**Tableau 3** : Effet de cactus inerme (*Opuntia ficus-indica* var. *inermis*) sur l'ingestion, la digestibilité de la ration alimentaire totale et la consommation d'eau par des moutons nourris à base de paille (Adaptée de Ben Salem *et al.*,1996) ..... 19

**Tableau 4** : Comparaison de la composition des cladodes avec d'autres aliments (Poupon, 1975)..... 20

**Tableau 5** : Structure des superficies fourragères en Algérie (2001) (GREDAAL, 2003). ..... 29

**Tableau 6** : La production et les rendements des fourrages (MADR, 2010). ..... 31

**Tableau 7** : Effectif national national(10<sup>6</sup>), MADR, 2011 ..... 35

**Tableau 8** : besoins alimentaires et capacité d'ingestion de la brebis tarie ..... 38

**Tableau 9** : Variation journalière de l'excrétion fécale..... 45

**Tableau 10** : quelques exemples d'estimation de l'énergie brute ..... 48

**Tableau 11** : Normes physiologiques de la glycémie chez le mouton ..... 55

**Tableau 12**:Normes physiologiques de la lipémie chez le mouton..... 56

**Tableau 13** : Normes physiologiques de la cholestérolémie chez le mouton..... 57

**Tableau 14** : Normes physiologiques de l'albuminémie Chez le mouton..... 58

**Tableau 15**: Normes physiologiques de l'urée sanguine chez le mouton..... 58

## **Liste des photos**

<b>Photo1</b> : Variété d'Opuntia ficus-indica amyclae (épineuse) à gauche et inermis à droite.....	7
<b>Photo 2</b> : Racines d'Opuntia.....	8
<b>Photo 3</b> : Cladode ou raquette d'Opuntia .....	8
<b>Photo 4</b> : Fleur d'Opuntia.....	9
Photo 5 : Fleur en floraison .....	9
<b>Photo 6</b> : Fruit d'Opuntia.....	9
<b>Photo7</b> : Graines de la figue de barbarie.....	9
<b>Photo 8</b> : culture en intensive du figuier de barbarie (Souk Ahras avril 2013) .....	13
<b>Photo 9</b> : Valorisation des terres marginales (HCDS, 2010).....	14
<b>Photo 10</b> : Alimentation de chèvre à base d'Opuntia (Maroc).....	18
<b>Photo 11</b> : Alimentation de brebis à base de raquette d'Opuntia (Mexique).....	18

## Deuxième partie : Expérimentations et résultats

### Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Choix de la région.....	63
<b>Figure 2 :</b> Climogramme d'Emberger .....	66
<b>Figure 3:</b> Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (2000-2008).....	67
<b>Figure 4 :</b> Schéma d'un extracteur de Soxhlet.....	73
<b>Figure 5 :</b> Principe de chromatographie en phase gazeuse.....	74
<b>Figure 6 :</b> Préparation du résidu pariétal (d'après Harche <i>et al.</i> 1991).....	77
<b>Figure 7:</b> Protocole d'extraction des hémicelluloses (d'après Chanda <i>et al.</i> 1950).....	78
<b>Figure 8 :</b> Protocole d'extraction des pectines (Thibault, 1980).....	79
<b>Figure 9 :</b> Protocole expérimentale période 1 .....	94
<b>Figure 10:</b> Protocole expérimentale période 2 .....	95
<b>Figure 11 :</b> Digestibilité MS comparée entre régime et paille seule .....	104
<b>Figure 12 :</b> Digestibilité MO comparée entre régime et paille seule.....	105
<b>Figure 13 :</b> Digestibilité CB comparée entre régime et paille seule.....	106
<b>Figure 14 :</b> Digestibilité MAT comparée entre régime et paille seule .....	107
<b>Figure 15 :</b> GMQ en g par régime et par lot.....	115
<b>Figure 16 :</b> Glycémie avant et après incorporation de la cladode .....	120
<b>Figure 17 :</b> Urémie avant et après incorporation de la cladode.....	121
<b>Figure 18 :</b> Cholestérolémie avant et après incorporation de la cladode.....	123
<b>Figure 19 :</b> Triglycérides avant et après incorporation de la cladode.....	124
<b>Figure 20:</b> Profil chromatographique des acides gras d'une huile de référence.....	126
<b>Figure 21:</b> profil chromatographique des acides gras de la cladode inerme jeune.....	127
<b>Figure 22:</b> Profil chromatographique de la raquette inerme âgée .....	128
<b>Figure 23:</b> Albuminémie avant et après incorporation de la cladode.....	129

### Liste des tableaux

<b>Tableau1 :</b> Pluviométrie moyenne (2000-2008), Ksar-chellala (O.N.M, 2009) .....	64
<b>Tableau 2 :</b> Températures moyennes (2000-2008) Ksar-chellala (O.N.M, 2009) .....	65
<b>Tableau 3:</b> Biométrie des cladodes selon l'âge et la variante inerme et épineuse .....	83
<b>Tableau 4 :</b> Composition chimique des cladodes de la région de Ksar Chellala .....	84
<b>Tableau 5 :</b> Composition chimique des matières premières en (%) de MS .....	87
<b>Tableau 6:</b> Equations de prédiction de la valeur nutritive des aliments.....	88
<b>Tableau 7 :</b> Valeur nutritive en kg de MS (n =4). .....	89

<b>Tableau 8</b> : Quantité distribuée et ingérée de MS (g/animal/ jour). Et coût de la ration. ..	101
<b>Tableau 9</b> : digestibilité des différents constituants en (%) de MS, n = 8 .....	103
<b>Tableau 10</b> : Digestibilité de la paille seule en (%) de MS.....	109
<b>Tableau 11</b> : Niveau d'alimentation, GMQ ration et GMQ théorique en g .....	112
<b>Tableau 12</b> : Paramètres biochimiques avant et après l'incorporation d'Opuntia .....	118
<b><u>Liste des photos</u></b>	
<b>Photo 1</b> : Mesures physiques des cladodes .....	69
<b>Photo 2</b> : régime1 (paille + orge).....	98
<b>Photo3</b> : régime 2 (paille +Opuntia).....	98
<b>Photo 4</b> : régime 3 (Paille+ Opuntia + féverole) .....	98
<b>Photo 5</b> : régime4 (Opuntia seulement).....	98

## Résumé

L'objectif de cette étude est de déterminer, le régime le plus adéquat à base d'Opuntia capable de couvrir les besoins d'entretien en condition d'extrême sécheresse, avec le moindre coût économique et son impact sur la digestibilité, le niveau d'alimentation, son incidence sur le poids moyen quotidien ; et l'effet de l'incorporation de la cladode, sur 5 paramètres biochimiques. L'expérimentation a été menée en cross over, sur 16 brebis, réparties en 4 lots en les comparant entre eux. Les résultats de la digestibilité ont montré que l'Opuntia améliore la digestibilité de la matière organique des régimes à base de paille, elle est de l'ordre de 63 %  $\pm$ 4.75 pour le régime 2. Les résultats pondéraux en (g) des régimes 1, 2 et 3 ont enregistré un gain de poids. Par contre une perte de poids a été indiquée pour le régime 4. Le régime 2 a couvert les besoins d'entretien, et un coût de la ration évalué à 12.5 DA. Cette bioressource phytogénétique locale, pourrait être une nouvelle niche supplémentaire en unités fourragères. Le taux de pectines totales de l'Opuntia représente 34% du résidu pariétal dont 15% de pectines faiblement méthylées. Les résultats (en g / l) des triglycérides, des régimes 2, 3 et 4, avant et après incorporation des cladodes, ont varié de manière très significative à  $p < 0.01$ . Le taux d'urémie du régime 3 a sensiblement augmenté. La composition chimique des acides gras a révélé que la raquette d'Opuntia est riche en acides gras polyinsaturés. L'incorporation de la cladode a pu satisfaire les besoins énergétiques des animaux, son utilisation en tant que complément alimentaire est recommandée dans les zones arides. Elle a montré son effet régulateur de la glycémie et hypolépémiant tant pour l'homme que pour l'animal.

**Mots clé :** Aridité, Opuntia, digestibilité, coût ration, profil biochimique, développement durable.

## Abstract

The objective of this study is to determine the diet of the most appropriate Opuntia able to cover maintenance requirements in extreme drought with the least economic cost of the ration and its impact on digestibility, feeding level and the effect of the incorporation of cladode on five biochemical parameters. The incorporation of spineless Opuntia was conducted on 16 dry ewes, maintenance, in cross over, divided into 4 lots, by comparing them. The results showed that the digestibility of Opuntia improves the digestibility of organic matter in straw-based diets; it is in the range of 63%  $\pm$ 4.75 for regime 2. The regime 2 covered the maintenance requirements, and the estimated cost of 12.5 DA ration. This local plant genetic bioresource could be a new niche additional fodder units. The total rate of pectin's Opuntia 34% of parietal residue with 15% of low-methylated pectin's. The results (in g / l) triglycerides, diets 2, 3 and 4, before and after incorporation of cladodes, varied very significantly at  $p < 0.01$ . Uremia the diet 3 has increased significantly. The chemical composition of fatty acids showed that the raket of Opuntia is rich in polyunsaturated fatty acids. The incorporation of Opuntia could meet the energy needs of animals, its use as a dietary supplement is recommended in arid areas. She showed her blood sugar regulating effect and hypolépémiant both the man to animal.

**Key words:** Aridity, Opuntia, digestibility, cost diet, biochemical profile, sustainable Development.

# Introduction Générale

## Introduction Générale

---

L'Algérie possède un effectif d'ovins estimé à plus de 20 millions de têtes, localisé principalement en zone steppique, (MADR, 2010) ; et représente l'unique source de revenus pour une grande partie de cette tranche de population. Or le potentiel fourrager en Algérie, est structuré autour de quatre supports nutritionnels d'inégale importance : les zones steppiques et pacage (82%), les chaumes (9%), les jachères (7,8%), et les fourrages cultivés (1,2%).

Ce potentiel est caractérisé par la faiblesse de sa productivité fourragère, il constitue l'une des contraintes principales du développement de l'élevage en Algérie. A ce titre Nedjraoui et Bedrani (2008), estiment à 11, le nombre d'hectares de steppe nécessaire pour nourrir une brebis. Il était de 5 en 1985, 3 en 1975. Avec 11 millions d'hectares, la steppe ne pourrait donc théoriquement nourrir que 1 millions de brebis ; alors qu'elle supporte plus de 12 millions. Le surpâturage et la dégradation qui en résultent ont encouragé la mise en culture des surfaces steppiques, pour nourrir le cheptel. Action qui ne fait qu'amplifier les phénomènes de dégradation.

En termes d'offre fourragère : 86% des ressources fourragères de l'Algérie sont générées par des supports alimentaires à caractère extensif, pastoral et sylvopastoral. Seulement 14% bénéficie du travail des sols. De plus le rendement de ces cultures est faible, 27 quintaux à l'hectare ; il peut atteindre 44 quintaux à l'hectare en année exceptionnelle (MADR, 2010), mais en année à faible pluviométrie, il peut retomber à 9 quintaux, (Nedjraoui, 2002). Par ailleurs les stades de récolte, sont souvent inappropriés, l'objectif étant la quantité de matière sèche, récoltée à l'hectare et non le nombre d'unités fourragères ou de kilos de protéines produites. Plus de 70% de la totalité des fourrages cultivés à des valeurs alimentaires comparables à celles d'une paille de céréales.

Ainsi malgré le fort déficit fourrager enregistré depuis 1983, estimé par le MADR, en (2007) à 3,3 milliards d'UF pour des besoins alimentaires de l'ordre de 10 milliards d'UF, ce déficit serait donc de 33%. Or parallèlement l'effectif ovin a progressé de 73%, soit une évolution de 3% par année. Cette progression n'a pu être maintenue que par les importations de concentré, principalement d'orge, par conséquent le bilan fourrager n'était donc pas en déficit. Cependant en période de sécheresse, l'orge peut compromettre même l'alimentation humaine. Sur le marché européen l'Algérie achète la tonne à 180 euros, soit l'équivalent de 25200 DA, à ce prix il faut ajouter les frais de transport qui vont de 40 à 50 euros la tonne. Une fois réceptionné l'orge est cédé aux éleveurs à un prix subventionné de l'ordre de 1500 DA le quintal.

## Introduction Générale

---

A des situations de sécheresse récurrente, de changement climatique que connaît la planète, autant ou plus que la sécheresse, c'est la démographie qui a renversé la situation, alors qu'entre temps, le système de production n'a pas été modifié pour s'y adapter.

Si dans le passé, l'effectif de 10 millions de têtes que rapporte Ricoux (1880) est riche d'enseignement, car la population n'était donc que d'environ 3 millions d'habitants .soit un ratio de 3.33 ovins par habitant, ce ratio est aujourd'hui de 0.55. La dégradation était donc inéluctable, car le trio « effectif – démographie – sécheresse », n'a pas été au centre des réflexions avec l'augmentation du niveau de vie qui a généré une demande plus forte en viande ovine. A cet effet le système ovin est condamné à une restructuration vers une plus forte diversité alimentaire et de nouveaux modes de productions ou à son déclin.

Parmi ces ressources capable de s'adapter aux conditions marginales de sol et de climat, il convient de proposer à l'étude l'espèce : *Opuntia ficus indica inermis* ou figuier de barbarie ; car la sécheresse est une donnée structurelle qu'il faudra désormais affronter par l'adaptation de l'agriculture pour devenir moins dépendante des aléas climatiques. C'est l'un des objectifs du concept de développement intégré et durable fixé par les nations unies (programme des nations unies pour le développement PNUD) en collaboration avec la FAO et qui vise l'augmentation des potentialités des zones arides. Des plantations intensives ont vu le jour ces dernières années au Maroc, et une très grande variabilité génétique a été créée au sein du cactus marocain. Cette variabilité pourrait ainsi être considérée comme une richesse économique supplémentaire à laquelle il est d'ores et déjà temps d'accorder plus d'importance à l'instar de certains pays comme le Mexique, l'Italie, l'Espagne, l'Afrique du Sud, la Tunisie. En Algérie la culture ne cesse de se développer, notamment au niveau des wilayas de Tébessa et de Souk Ahras où des zones céréalières marginales ont été converties en cette culture.

D'autant plus que cette culture est prodigieuse, son extension remarquable et son intégration dans les programmes de développement devraient être accompagnée d'une réflexion sur les possibilités de sa transformation en vue de diversifier les débouchés et de valoriser la production en particulier pour son fruit et pour sa cladode ou raquette.

L'*Opuntia* fournit :

- Un fruit qui est un aliment de haute valeur énergétique (jusqu'à 15 tonnes à l'hectare) se vendant 5DA pièce et pouvant faire l'objet d'exportation,

## Introduction Générale

---

- Des raquettes ou cladode qui servent de fourrage particulièrement en période des disettes pour les ruminants,
- Il est certain que la cladode n'est pas un aliment fourrager complet, faible en matières azotées, mais un aliment de secours, il peut rendre service de différentes manières à titre d'exemples :
  - Faire sortir le cheptel de la période de disette (l'Algérie a connu et connaîtra d'autres périodes de disettes),
  - Source d'eau non négligeable, d'autant plus la majorité du cheptel se trouve en zone steppique loin des points d'abreuvement.
  - Dans de telles conditions, il est plus qu'impératif de redonner importance à cette espèce.
  - De ce fait, et dans la perspective de cerner notre étude nous avons volontairement limité notre démarche expérimentale par deux objectifs. Avant tout, cette étude présente d'abord un état des lieux et cherche à répondre aux questionnements suivants :
    - Est-il possible en incorporant la cladode dans une ration de brebis à base de paille de couvrir les besoins d'entretien ?
    - Est-il possible de remplacer l'orge en grains d'une ration dite classique (paille + orge) par la cladode ?
    - Est-il possible par l'apport d'une source azotée d'améliorer l'utilisation de la cladode ?
  - La réponse à ces 3 questions formulera le premier objectif.
  - Quant au deuxième objectif nous nous efforcerons de répondre aux questions suivantes :
    - Est-il possible d'évaluer un profil biochimique d'un régime à base de cladode, sans que la physiologie de l'animal ne soit compromise ou perturbée ? (le maintien des paramètres aux normes de l'espèce ovine).
  - Y'a-t-il d'autres domaines d'applications ?

Ceci suppose :

- Une caractérisation physico-chimiques des différents aliments de l'étude.
- Une prédiction de la valeur énergétique et azotée des aliments.
- Le calcul du distribué et de l'ingéré des différents régimes à l'entretien.
- La digestibilité des différents régimes et leurs niveaux énergétiques et azotés.
- Le dosage des paramètres sanguins.
- Le gain et / ou perte de poids.

L'intérêt de cette étude réside à faire ressortir le cheptel d'une période d'extrême sécheresse, afin d'assurer au moins les besoins d'entretien des animaux c'est-à-dire au

## **Introduction Générale**

---

maintien des processus vitaux, avec un moindre coût économique de la ration, sans compromettre la physiologie de l'animal, est ce que la cladode pourrait avoir d'autres domaines d'applications.

Il convient de rappeler la grande sécheresse de 1970-1971 qui a provoqué une mortalité foudroyante du cheptel et a affecté de manière inégale les différentes catégories d'éleveurs, contribuant ainsi à une modification radicale de la répartition sociale des troupeaux, un exode rural très important que favorise une politique qui a renforcé l'attrait du salariat urbain et qui a remis en cause les formes de productions traditionnelles.

# Première Partie

## Revue Bibliographique

## I.1 : La ressource végétale

### I.1.1. Présentation de *Opuntia ficus indica*

Le nom *Opuntia* donné à cette plante, vient de l'ancien village grec de la région de Leocrid, Beocia : Opus (selon Scheinvar, 1995) et de Tuna mot caraïbe qui veut signifier « Graine ou fruit » (Oviedoy Valdez, 1535). Originaire du Mexique, où il est nommé « Tuna », le figuier de barbarie fut tout d'abord apporté par les moines franciscains avant d'être importé en Espagne, au 16<sup>ème</sup> siècle (Monjauze et Lehouerou, 1965). Les figuiers de barbaries qui étaient encore appelés « figuiers d'inde » s'implantèrent dans tout le bassin méditerranéen, avec toute la vigueur conquérante des plantes adaptées à l'aridité, et ne craignant pas les sols pauvres (Fournier, 1954).

### I.1.2. Systématique

Il y'a environ 300 espèces du genre *Opuntia*, se trouvant au Brésil, Chili et en Argentine, (Scheinvar, 1995). Au Mexique Bravo (1978) a enregistré 104 espèces et variétés. La taxonomie est difficile à aborder pour un certain nombre de raisons: leurs phénotypes, qui sont très variables selon les conditions écologiques, leur polyploïdie, avec un grand nombre de populations qui se reproduisent sexuellement et par voie végétative, et l'existence de nombreux hybrides, car presque toutes les espèces au cours de la même période de l'année (exemple la floraison) n'ont pas de barrières biologiques qui les sépare. Scheinvar (1995) mentionne neuf espèces sauvages de *Opuntia* (*O. hyptiacantha* Web); (*O. joconostle* Web); (*O. lindheimeri* (Griff. et Haare Bens).; (*O. matudae* Scheinvar).; (*O. robusta* Wendl, variété *robusta*); (*O. sarca* Griff).; (*O. streptacantha* Lem).; (*O. tomentosa* SD. variété. *tomentosa* et variété. *herrerae* Scheinvar.), et trois espèces cultivées (*O. albicarpa* sp. *novembre*; *O. ficus-indica* (L.) Mill.; *O. robusta* Wendl. var. *larreyi* (Web.) Bravo), ainsi que l'une des espèces cultivées de la sous-genre *NOPALEA* (*O. cochenillifera* (L.) Mill.), En fournissant des descriptions détaillées de chacun.

Le figuier de barbarie appartient à:

- Embranchement : Spermaphytes (Quezel et Santa, 1962)
- Sous embranchement : Angiospermes (Quezel et Santa, 1962)
- Classe : Eudicotylédones (Mugnier, 2000)
- Ordre : Caryophyllales (Mugnier, 2000)
- Famille : Cactacées (Mugnier, 2000)
- Sous famille : Opuntioïdées (Shuman.2000)
- Genre : *Opuntia* ( Mathiole.1570)

- Espèce : ficus indica ( Miller 1768)
- Noms vernaculaires du figuier de barbarie :
- En français : Chardon d'Inde, figue de barbarie, figuier à raquette, figuier d'Inde, opunce, nopal.
- En anglais : Barbary fig, Indian fig, prickly-pear.
- En arabe : Hindia: Indienne, originaire des Indes occidentales. Karmous ennsara : figue des chrétiens, attestant son introduction via l'Europe. Aknari : signifiant les canaries. Teen-hendi amlas.

### **I.1.3. Origine et description**

#### **I.1.3.1. Origine**

*Opuntia ficus indica* est l'une de plusieurs espèce du cactus les plus anciennes domestiquées (Casas et al, 1997; M. Patrick Griffith ,2004). Le genre opuntia est originaire des zones tropicales du continent Nord-Américain, en particulier du Mexique où on a retrouvé des graines fossiles datant du septième millénaire avant J-C et indiquant l'utilisation alimentaire de l'espèce à l'époque préhistorique (Barbera et Inglesse , 1993). A l'époque précolombienne, cette espèce et d'autres cactacées avaient une importance remarquable pour la survie des populations qui se trouvaient dans les régions comprise entre le sud des Etats-Unis d'Amérique et le Mexique (Pimienta Barrios ,1990). L'*Opuntia* a été introduit en Europe vers le seizième siècle par les conquistadors Espagnol, par la suite elle s'est répandue sur tous les continents. Sur le bassin de la méditerranée, elle s'est diffusée rapidement et s'y naturalisée au point de devenir un élément caractéristique de paysage où elle est utilisée comme une plante ornementale, pour la production du fourrage, et surtout la production de fruits exotique qui sont commercialisés à travers le monde. Elle s'est répandue aussi en hémisphère sud, notamment en Afrique du sud, à Madagascar et en Australie où elle est considérée comme une mauvaise herbe.

En Algérie les cactus sont utilisés depuis longtemps par les fellahs comme des haies autour de leurs champs. Depuis 1961 une collection importante de cactus a été crée par le service des forêts ainsi que plusieurs places d'essais. Les premières plantations cactus inerme pour le fourrage ont été effectuées à Zériba près de Bouira. La principale collection d'*Opuntia* se trouve au petits Atlas (Bois de Boulogne), la deuxième collection se trouve à la pépinière des forêts et de la DRS à Chebli. Une petite collection se trouve aussi à la ville des bois à Alger. Quant aux places d'essais, il y a une à Ain oussera, la deuxième se trouve à

l'arboretum de Benhar à quelques kilomètres d'Ain oussera. La troisième place d'essais qui appartient à l'INRA se trouve à Tadmit (Khouri, 1970).

### I.1.3.2. Description

C'est une plante arborescente qui peut atteindre 3 à 5 m de hauteur, elle est toujours verte et qui subsiste un grand nombre d'année. En Algérie, comme pour les autres pays du Maghreb, les espèces de cactus les plus largement répandues sont : *Opuntia ficus indica*, *Opuntia dillenii*, *Opuntia vulgaris* et *Opuntia compress*. Il existe de nombreuses variétés de cactus qui se distinguent en deux groupes : Les cactus inermes : souvent domestiqués et cultivés sur des surfaces limitées. Les cactus épineux ou *Opuntia amyclae* : les plus répandus car ils résistent à la destruction par les animaux. Des rameaux inermes issus de mutations de bourgeons ont été observés sur des pieds épineux de cactus. Il n'est pas rare aussi de trouver des rameaux épineux sur des pieds inermes mais aiguillons plus ou moins rares. Il existe aussi tous les intermédiaires entre forme très épineuse et inermes avec des aiguillons plus ou moins longs et plus ou moins nombreux (poupon, 1975).



**Photo1** : Variété d'*Opuntia ficus-indica amyclae*( épineuse) à gauche et *inermis* à droite

#### I.1.3.2.1. Racine

Le Figuier de Barbarie est caractérisé par des racines superficielles et charnues, en expansion horizontale. Dans les milieux fortement arides, à partir des racines principales, se développent des racines secondaires charnues en mesure d'atteindre les couches de sol plus profondes, où elles trouvent plus d'humidité (Nefzaoui et BenSalem, 2002). Malgré cela, dans tous les types de sol, la masse volumineuse des racines absorbantes se retrouve dans les couches les plus superficielles à une profondeur maximum de 30 cm et avec un rayon de développement horizontal qui peut atteindre 8m (Sudzuki Hills, 1995). De courtes précipitations de quelques mm de pluie seulement peuvent être efficacement utilisées par cette plante grâce aux racines superficielles, mais très étendues, qui sont en mesure d'absorber

l'eau dans sol quand les niveaux d'humidité sont bas au point d'empêcher la vie de la plupart des espèces cultivées.

Il existe trois mécanismes principaux qui permettent aux *Cactaceae* de tolérer la sécheresse (Sudzuki Hills, 1995):

- en réduisant la surface des racines et la perméabilité à l'eau;
- en absorbant rapidement la faible quantité d'eau tombée lors de pluies éphémères, grâce à la capacité de produire en très peu de temps des racines qui disparaissent une fois que le sol s'assèche;
- en négativisant davantage le potentiel hydrique. Dans ce cas, on peut parler de mécanismes de *drought-resistance*.



**Photo 2 :** Racines d'*Opuntia*



**Photo 3 :** Cladode ou raquette d'*Opuntia*

#### **I.1.3.2.2. Cladodes**

Les cladodes ce sont des tiges modifiées en organes aplaties de forme elliptiques ou ovoïdales, charnues et de couleur verte, appelées raquettes, unies les uns les autres, elles tendent à former des branches. Après la quatrième année de croissance les raquettes de base forment un véritable tronc, et à la place des feuilles ces raquettes assurent la fonction chlorophyllienne d'où elles sont recouvertes d'une cuticule : épiderme épais recouvert de cires, structurées de manière à limiter les pertes d'eau par transpiration. Les stomates sont enfoncés en profondeur, en cas de températures élevées et de forte insolation, ils peuvent rester fermés une grande partie de la journée.

#### **I.1.3.2.3. Feuilles**

Elles sont rudimentaires, de formes coniques, éphémères. A l'aisselle des feuilles se trouvent les aréoles qui sont des bourgeons axillaires modifiés, typiques des cactacées. En

accompagnement des aréoles se trouvent les glochides qui sont des fines épines de quelques millimètres, de couleur brunâtre, qui sont fortement implanté sur les raquettes. Elles sont toujours présentes y compris les variétés inermes.

#### **I.1.3.2.4. Fleurs**

Généralement c'est une fleur solitaire axillaire. Elles prennent naissance en avril et se succèdent jusqu' au mois de juin elles sortent du sommet d'un calice également armé de soies et d'épines, elles sont hermaphrodites, sessiles de couleur jaune .



**Photo 4 :** Fleur d'*Opuntia*

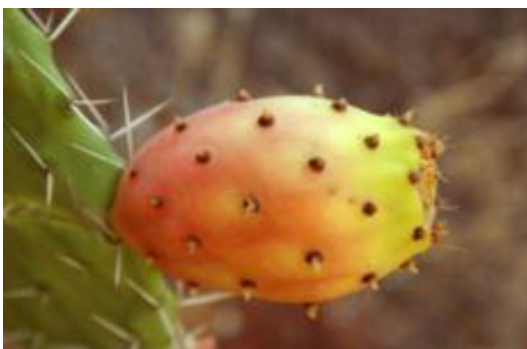


**Photo 5 :** Fleur en floraison

Les jeunes plantations peuvent entrer en floraison à partir de la deuxième ou la troisième année. La durée et la période du cycle dépend de la variété et de la zone géographique. Elle commence au printemps par une initiation des bourgeons végétatifs qui donnent naissance à des raquettes après une année (1 an).

#### **I.1.3.2.5. Fruit et graines**

Succède à la fleur, est une baie ovoïde assez semblable à une figue, unicellulaire, à nombreuses grains « polyspermique », de couleur blanche, jaune ou rouge à la maturation.



**Photo 6 :** Fruit d'*Opuntia*



**Photo7 :** Graines de la figue de barbarie

Les graines sont nombreuses dures, osseuses, plates plus ou moins réniformes ou lenticulaires. Les graines sont revêtues d'une tête recouverte d'une couche très dure qui constitue le faux arille dû au fait que le funicule enveloppe l'ovule et lignifie quand la maturation de la graine est terminée. Autour de l'hile, on reconnaît le cordon du funicule, le raphé où naît le strophiole, un tissu constitué par des cellules non lignifiées (Gallo et Quagliotti, 1989). La maturation des fruits est généralement estivale ou automnale. Il peut y avoir deux saisons de floraison séparées par la saison sèche, certaines espèces sont très précoces d'autres très tardives.

#### **I.1.4. Ecophysiologie du figuier de barbarie**

Sur le plan physiologique, l'*Opuntia ficus indica* est une plante de type CAM (Crassulacean Acid Metabolism). Elle a la particularité de fixer le dioxyde de carbone et de libérer l'oxygène pendant la nuit et de fermer ses stomates pendant le jour. Ce dispositif permet une moindre perte d'eau par évapo-transpiration pendant les heures les plus chaudes. La pénétration de l'air par les stomates ouverts s'effectue pendant la nuit, et c'est à ce moment là, que le dioxyde de carbone est fixé dans les tissus de chloroplaste par le phosphoenolpyruvate (PEP), résultant du métabolisme des hydrates de carbone via la glycolyse, pour donner l'oxaloacétate. Cet élément est à son tour transformé en malate pour être stocké dans la vacuole. Pendant le jour, le malate se décompose en pyruvate et libère le dioxyde de carbone et l'eau directement au niveau des tissus chlorophylliens qui s'en servent pour la suite de la photosynthèse selon le cycle de Calvin. C'est une différence fondamentale avec les plantes ordinaires (mésophytes), pour qui la photosynthèse s'effectue le jour à partir du dioxyde de carbone fraîchement importé de l'atmosphère Sutton et al.(1981) et Leuttge.(1993). Traditionnellement, le figuier de Barbarie est multiplié végétativement par bouturage de raquettes. Les jeunes plantes peuvent entrer en floraison à partir de la 2<sup>ème</sup> ou de la 3<sup>ème</sup> année. La durée et la période du cycle annuel dépendent de la variété et de la zone géographique Poupon.(1975).

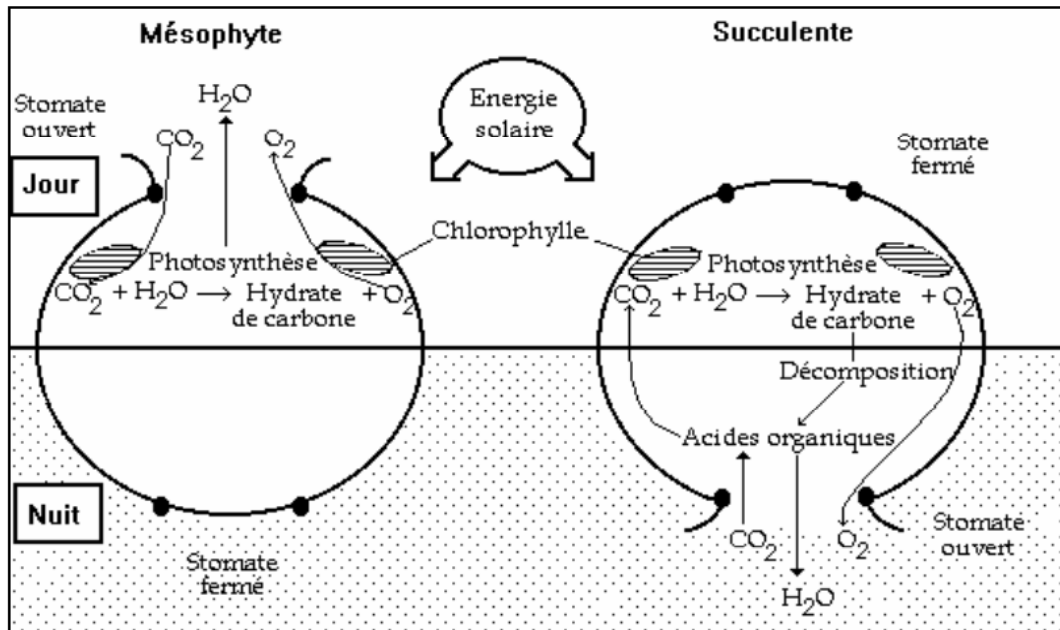


Figure 1 : Cycle photosynthétique des plantes de type CAM

#### I.1.4.1. Exigences écologiques du figuier de barbarie

##### I.1.4.1.1. Facteurs édapho-climatiques

Le figuier de barbarie possède une grande adaptation aux conditions les plus hostiles (aridité du climat, salinité des sols, terrains de faible potentiel agricole). Son extension est limitée surtout par les basses températures hivernales, son seuil de tolérance étant de  $-10^{\circ}\text{C}$  (Nerd et al.(1991)). Le cactus s'accommode mal des sols hydromorphes et asphyxiants. Les sols préférés sont les sols légers, sablonneux à limoneux. Il s'agit de sols légèrement pauvres en matière organique (0.1-1.8%), ayant des pH légèrement acides (5.1- 6.7). Pour plusieurs espèces *Opuntia* le pH du sol est un facteur limitant, mais *Opuntia ficus indica* est rencontré même sur des sols calcaires Nerd et al.(1991).

##### I.1.4.1.2. Facteurs biotiques

De nombreux parasites et maladies sont rencontrés dans le cactus Helmuth et al (1997).

- La rouille (*Phyllostica opuntiae*): uridinée qui se manifeste par de petites taches de couleur jaune rouille, circulaires, pouvant s'étendre en plaques irrégulières d'un blanc sale ou cendré. Ce sont surtout les cladodes de deux ans qui, une fois attaquées, n'émettent que peu de cladodes, et finissent par se dessécher : maladie des zones humides, elle est efficacement combattue par des traitements à base de cuivre et l'ablation des raquettes parasitées.

- Le mildiou des cactus (*Phytophthora cactorum* Schr., *P. omnivora* De Bary): les symptômes de la maladie se présentent sous forme de cloques soulevant l'épiderme, d'état chlorotique prononcé et de taches brunâtres qui envahissent les fruits et les raquettes. La sensibilité à la maladie est variable en fonction des variétés.
- La cératite (*Ceratitis capitata* Weid): une mouche méditerranéenne des fruits qui peut occasionner des dégâts importants dans les plantations mal entretenues.
- Les cochenilles: bien que généralement polyphages, certaines espèces de cochenilles sont des parasites spécifiques et inféodées à l'espèce *Opuntia*. Certains cultivars inermes de cactées sont résistants aux cochenilles.

### **I.1.5. Techniques culturales pour le genre *Opuntia***

#### **I.1.5.1. Choix de l'espèce et du cultivar**

Le choix de la variété prend une certaine importance au cas où l'implantation serait destinée à la production de fruits pour la consommation directe. Dans cette circonstance, il est de la plus grande importance de connaître l'évolution du marché et d'évaluer le type de fruit préféré par les consommateurs qui sera donc plus facile à commercialiser. Mais si le but de l'implantation est l'utilisation fourragère, la production des fruits et le choix de la variété passent au second plan. En général, il est opportun de choisir les variétés inermes, de manière à éviter l'opération d'élimination des épines avant la consommation de la part des animaux.

#### **I.1.5.2. Implantation**

Les implantations peuvent être réalisées suivant la nature et l'inclinaison du terrain; si l'objectif principal est la défense contre la dégradation et l'érosion du sol, les pratiques les plus utilisées sont ci-après:

- sans un ordre préétabli, en plantant les boutures dans les endroits les moins sujets au lessivage et principalement dans les dépressions où l'eau de pluie est recueillie en transportant des détritux; l'implantation, dans ce cas, doit être réalisée en creusant des trous;
- en rangs ou en bandes, le long des courbes de niveau plus ou moins rapprochées suivant la pente; les boutures seront disposées dans des tranchées de 30 cm de profondeur;
- les rangs ou les bandes de deux ou trois rangs seront espacés en moyenne de 6 à 8 mètres ;
- les raquettes doivent être orientées transversalement par rapport à la ligne directrice du creusement, de manière à permettre aux futurs plants de se développer librement vers l'extérieur ; on utilise généralement deux raquettes par poquet. Après avoir taillé les

raquettes de façon nette au point d'insertion, en les prélevant sur des plantes adultes, après exposition à l'air pendant quelques semaines, pour que la blessure se cicatrise; on les ensevelit à moitié ou aux trois quarts et un peu en oblique pour offrir moins de résistance au vent ; au cours des premières années, il faudra défendre les implantations contre le broutage, pour éviter la destruction des jeunes plantes, car elles sont très appréciées par les animaux (Inglese, 1995). Si le but de la plantation est la production de fourrage, on recommande d'intensifier la densité d'implantation. Le concept de fond sur lequel se base la haute densité d'implantation consiste à maximaliser la production de biomasse et à laisser à chaque plante un minimum quantitatif de terre à exploiter.



**Photo 8 :** culture en intensive du figuier de barbarie (Souk Ahras avril 2013)

### **I.1.5.3. Culture du figuier de barbarie en Algérie**

A l'exception des zones sahariennes, le figuier de barbarie est largement représenté dans le paysage rural algérien, en plantations plus ou moins régulières, autour des villages ou en haies limitant les parcelles de cultures ou les vergers. Sa répartition géographique est assez vaste puisqu'on le trouve aussi bien dans les régions côtières que dans les régions continentales. Les espèces *Opuntia* les plus répandues en Algérie, comme pour les autres pays du Maghreb, sont : *Opuntia dillenii*, *Opuntia vulgaris* et *Opuntia compress* *Opuntia cylindrica*, *Opuntia mieckleyi*, *Opuntia vulgaris*, *Opuntia schumanni*, *Opuntia megacantha*, et *Opuntia ficus* *indica* (Arba, 2000). Les régions dont la culture ne cesse de progresser, notamment au niveau des wilayates de Tissemsilt , de Bordj Bou Arréridj , et plus particulièrement encore celles de Tébessa et de Souk Ahras où des zones céréalières

marginales ont été reconverties en cette culture qui rapporterait quelques 600 000 à 900 000 DA par hectare . Le figuier de barbarie fournit :

- un fruit de haute valeur énergétique, de rendement dépassant les 15 tonnes à l'hectare se vendant au détail 5DA pièce,
- des raquettes qui servent de fourrage particulièrement en période de disette.
- IL constitue aussi :
- une haie de protection (haie traditionnelle)
- une véritable bache d'eau autour des habitations (la protection contre les incendies)
- un élément d'aménagement dans les régions steppiques.



**Photo 9 :**Valorisation des terres marginales( HCDS, 2010)

#### **I.1.5.4. Importance agro-économique du figuier de barbarie**

L'adaptation du figuier de barbarie aux conditions désertiques et semi-désertiques lui permet de constituer une culture à intérêts écologiques et socio-économiques indéniables. En effet, il constitue un bouclier contre la désertification et l'érosion des sols. Il est également cultivé pour la régénération des sols. Il ne demande pas de pratiques culturales spécialisées ni d'apport de fertilisants. Mais malgré ses attraits naturels, peu d'intérêt a été accordé à cette espèce jusqu'aux années 70. Avec le développement des marchés des fruits exotiques dans plusieurs pays, les efforts se sont multipliés pour en faire une culture industrielle, soit en tant que culture fourragère, soit en tant que culture maraichère. La production de fruits reste cependant l'aspect le plus recherché et le plus développé (Hamdi,1997).

**I.1.5.4.1. Utilisation des fruits**

Les fruits du figuier de barbarie sont plus au moins gros (30 à 150 g), bacciformes ou piriformes (4-9 cm), verdâtres et deviennent jaune à rouge à maturité, a pulpe molle juteuse, sucrée, contenant dans un mucilage de nombreuses petites graines. Ils sont en général consommés frais, très rafraichissants et nutritifs. Ils se caractérisent par rapport aux autres fruits par un pH relativement élevé (pH. 5.6). La totalité des sucres présents dans le fruit est constituée de glucose et de fructose dans un rapport de 18:1. Ce rapport est considéré comme une spécificité de la figue de barbarie si on le compare à celui des autres fruits (rapport de 1 :18 dans les oranges par exemple). La teneur totale en acides aminés libres (257 mg/100g) est largement supérieure a la teneur moyenne des autres fruits à l'exception des raisins de table et des agrumes qui contiennent une teneur identique (Askar et al.,1981 et Stinzinger et al., 2001). Les graines du fruit donnent une huile comestible qui présente un haut degré d'insaturation, avec un taux important d'acide linoléique et un faible taux d'acide linoléique. L'huile appartient à la même catégorie que les huiles de graines de soja, de maïs et de tournesol (Sepúlveda et Sáenz, 1988), utilisé dans la filière cosmétique et pharmaceutique.

Récemment, dans certains pays (Italie, Mexique, Chili...), le fruit est conditionné industriellement et stabilisé par différentes méthodes (froid, séchage, chaleur) ou transformé en jus, miel (miel de tuna), boissons alcoolisés, confiture, colorant alimentaire (pourpre de barbarie) (Mohamed et al., 1996).

**I.1.5.4.2. Utilisation des cladodes ou raquettes****I.1.5.4.2.1. Production fourragère**

Le cactus est considéré comme une réserve fourragère sur pied ; il peut constituer un appoint alimentaire pour les périodes de transition en été et en automne et lors des années de sécheresse (Shoop et al., 1977). En effet, sa production en matière sèche varie de 12 à 16 tonnes/ha en fonction des régions. En terrain irrigué, cette production peut atteindre 30 tonnes/ha ce qui fait du cactus l'espèce la plus productive des zones arides : 1,37kg/m<sup>2</sup>/an pour le cactus et 0,71kg/m<sup>2</sup>/an en moyenne pour d'autres espèces (De Cortazar et al., 1992). Une fertilisation azotée et phosphorique améliore sa valeur nutritive et sa productivité en biomasse (Gonzalez, 1989). Cependant ce fourrage est pauvre en protéines et en lipides. Il présente un rapport calcium/phosphore élevé et il est riche en glucides, en eau et en vitamines. Il a ainsi une valeur fourragère moyenne de 0.6 à 0.8 UF\*/kg de MS de raquettes (Russell, 1985).

**I.1.5.4.2.2. Utilisation zootechnique**

L'utilisation de *l'Opuntia ficus indica* comme fourrage présente de nombreux avantages, car elle est largement répandue; elle se développe rapidement, c'est une culture économique, appétible et elle peut également supporter de longues périodes de sécheresse (Shoop et al., 1977). Ces caractéristiques en font un fourrage important dans l'intégration de l'alimentation animale, en particulier durant la saison sèche ou quand les autres aliments sont peu disponibles. Tant les raquettes que les fruits peuvent être utilisés comme fourrage, à l'état frais ou conservés sous forme d'ensilés (Castra et al., 1977). Il existe depuis longtemps de vastes zones de culture d'*Opuntia* en Algérie, au Maroc, au Mexique au Brésil et en Tunisie, où elle est utilisée en tant que fourrage de réserve, durant les périodes de sécheresse prolongée.

Dans de nombreuses régions caractérisées par un climat aride ou semi-aride (Maroc, Algérie, Tunisie, Mexique, Sud du Texas et Afrique du Sud), les éleveurs utilisent largement *l'Opuntia* comme fourrage d'urgence, en livrant au broutage tant les plantes cultivées que les plantes spontanées, de manière à contraster les périodes de sécheresse fréquentes, qui pourraient avoir des conséquences désastreuses (Le Houèrou, 1992 b; Nefzaoui *et al.*, 2000 a) et à limiter la pression sur la végétation naturelle.

*L'Opuntia* est un aliment pour les animaux incomplet et mal équilibré, mais d'autre part, il représente une source précieuse d'énergie et d'eau. Les raquettes ont un faible taux en protéines brutes, en fibres, en phosphore et en sodium (Le Houérou, 1992b; Nefzaoui, 2000), mais si cette plante est associée à d'autres fourrages, en mesure de compenser ces carences, on peut obtenir des régimes bien équilibrés. Le contenu en eau par rapport au poids frais est en moyenne autour de 90%, (Tableau. 1). Le contenu en cendres est proche de 20% du poids sec. Les protéines brutes prennent souvent des valeurs inférieures à 5%, mais dans certains cas, on peut atteindre des valeurs de 10% sur le poids sec. En effet, on a vu que les fumures à base d'azote et de phosphore peuvent augmenter le contenu en protéines brutes des raquettes d'*Opuntia* de 45 à 10% du poids sec (Gonzales, 1989 ; Gregory et Felker 1992) ont trouvé des clones d'*Opuntia* en provenance du Brésil, dont le contenu en protéines brutes, dépassait 11% du poids sec. La possibilité de déterminer, à travers la sélection et l'hybridation, un cultivar contenant plus de protéines, pourrait favoriser les régions dans lesquelles l'utilisation de fertilisants est un facteur limitant. L'insuffisance en protéines peut être résolue à travers des ajouts ou des intégrations appropriées avec d'autres fourrages (Ben Salem et al., 2002).

Les animaux parviennent à ingérer de grandes quantité de raquettes. Dans le cas des bovins de la race Jersey, alimentés avec du fourrage d'*Opuntia* intégré avec 1kg/jour de concentrés, ils peuvent consommer 51 kg/jour de raquettes à l'état frais (Woodward et al., 1951).

**Tableau 1 :** Composition chimique moyenne de raquettes d'*Opuntia* utilisées comme fourrage. (Adaptée de Nefzaoui et Ben Salem, 2002).

	MS (%)	Composition chimique (en% de MS)							
		Cendres	Protéines brutes	Fibres brutes	ENF	P	Ca	K	Na
Moyenne	13,48	27,41	3,84	8,55	58,16	0,04	8,66	1,09	0,05
Minimum	8,95	23,11	1,90	7,39	52,60	0,02	7,56	0,43	0,001
Maximum	21,48	33,70	7,51	10,60	63,79	0,07	10,62	1,92	0,17
Ecart-type	4,50	3,77	1,48	1,03	4,02	0,02	1,09	0,45	0,05

Dans d'autres cas, des bovins élevés exclusivement avec des raquettes peuvent ingérer 60 kg/j de cet aliment (Metral, 1965). Viana (1965) cite des ingestions de 77 kg/j pour des élevages bovins, tandis que Monjauze et Le Houérou. (1965) citent des niveaux d'ingestion qui vont de 2,5 à 9 kg/jour de raquettes fraîches, dans le cas des moutons. L'ingestion d'*Opuntia* est directement liée à la quantité d'eau contenue dans les raquettes, c'est à dire que plus le contenu en eau est important, plus elle est appétible. L'utilisation de raquettes dans l'alimentation des moutons a des effets laxatifs, causés par le passage trop rapide dans l'intestin. Ces effets sont plus évidents quand la quantité de raquettes présentes dans le régime représente plus de 60% du total, mais peuvent être réduits, lorsqu'on enrichit la ration alimentaire, avec de la paille et du foin, qui apportent de grandes quantités de fibres.

Les moutons élevés avec de la paille peuvent ingérer plus de 600 g (poids sec) de raquettes sans manifester aucun problème de digestion (Nefzaoui et al., 1993). On a observé qu'en mélangeant le son de céréales, un aliment pauvre, et de la mélasse, l'appétibilité des aliments augmente (Preston et Leng, 1987). Il est probable qu'on obtienne le même effet avec les raquettes, puisque leur grand contenu en hydrates de carbone exerce la même fonction que la mélasse. Le contenu énergétique des raquettes varie de 3.500 à 4.000 kcal/kg de MS et la moitié seulement de cette énergie, principalement fournie par les hydrates de carbone, est utilisée par les animaux (De Kock, 1983; Ben Thlija, 1987). En Afrique du Nord, une région caractérisée par un climat aride ou semi-aride, généralement les résidus des céréales et le

pâturage naturel ne suffisent pas pour satisfaire les exigences alimentaires des petits ruminants élevés pour la production de viande. Intégrer l'alimentation avec les raquettes peut être une solution valable, durable du point de vue économique. En effet, quand le régime des moutons est enrichi avec des raquettes, le poids corporel peut augmenter jusqu'à 145g/jour (Tien et al., 1993). Dans le cas d'élevages de chèvres alimentées avec du foin de luzerne et des Figuiers de Barbarie, la production de lait peut augmenter de 436 g/jour (Azocar et al., 1991). Quand les raquettes sont associées à d'autres fourrages riches en protéines, elles peuvent remplacer de façon valable les grains de céréales (Ben Salem et al, 1998) ou l'ensilage de maïs (Metral, 1965), sans aucune incidence négative sur l'augmentation du poids journalier des ovins adultes et des agneaux. Si les moutons sont nourris suivant des régimes contenant des quantités toujours supérieures d'*Opuntia*, on a observé que leur appétibilité ainsi que la quantité ingérée de fourrage qui y est associé augmentent (Tableau . 2). Les raquettes du Figuier de Barbarie sont facilement digestibles. On a observé que leur digestibilité, dans le cas des élevages ovins, est semblable à celle des fourrages les plus communs. Quoi qu'il en soit, la combinaison d'*Opuntia ficus-indica* avec des pailles de céréales, représente une solution valable pour garantir l'élevage de petits ruminants dans les zones caractérisées par des climats arides ou semi-arides (Ben Salem et al., 1996). Au contraire, l'ajout à la ration alimentaire de raquettes, peut améliorer la valeur nutritive et stimuler l'ingestion d'aliments peu appétibles comme le son de céréales .



**Photo 10** :Alimentation de chevre à base d'*Opuntia* (Maroc)



**Photo 11** : Alimentation de brebis à base d'*Opuntia* (Mexique)

**Tableau 2 :** Intégration de paille au Figuier de Barbarie inerme. (Adaptée de Nefzaoui et al., 1993).

Niveau de paille	300			600		
	g/jour			g/jour		
	US*	ATS*	UTS*	US*	ATS*	UTS*
Ingestion ms (g)						
Opuntia	445	447	425	432	462	439
Paille	254	242	249	494	466	486
Digestibilité des rations (%)						
Matière organique	67,9	64,0	63,3	66,5	69,8	72,6
Protéines brutes	41,1	48,0	43,3	45,9	61,0	77,1
Fibres brutes	37,5	30,5	29,2	46,5	49,2	52,7
Azote assimilé	-02	-0,2	-0,6	0,8	2,8	3,9

\*US: paille non traitée; ATS: paille traitée avec de l'ammoniaque; UTS: paille traitée avec de l'urée.

**Tableau 3 :** Effet de cactus inerme (*Opuntia ficus-indica* var. *inermis*) sur l'ingestion, la digestibilité de la ration alimentaire totale et la consommation d'eau par des moutons nourris à base de paille (Adaptée de Ben Salem et al., 1996).

	Taux de cactus inerme (g MS / jour) dans la ration				
	0	150	300	450	600
<b>MS ingérée (g / jour)</b>					
Paille	550 <sup>c</sup>	574 <sup>bc</sup>	523 <sup>c</sup>	643 <sup>ab</sup>	716 <sup>un</sup>
Cactus + paille	550 <sup>e</sup>	724 <sup>d</sup>	823 <sup>C</sup>	1093 <sup>un</sup>	1278 <sup>un</sup>
<b>MS ingérée (g / kg M<sup>0.75</sup>jour)</b>					
Paille	43,6 <sup>b</sup>	42,2 <sup>bc</sup>	37,7 <sup>c</sup>	44,8 <sup>b</sup>	54,7 <sup>un</sup>
Cactus + paille	43,6 <sup>e</sup>	53,3 <sup>d</sup>	596 <sup>c</sup>	76,3 <sup>b</sup>	97,6 <sup>un</sup>
<b>Digestibilité</b>					
matière organique (MO)	0,453 <sup>b</sup>	0,504 <sup>ab</sup>	0,543 <sup>un</sup>	0,577 <sup>un</sup>	0,587 <sup>un</sup>
Protéines brutes (CP)	0,495 <sup>c</sup>	0,550 <sup>bc</sup>	0,537 <sup>bc</sup>	0,585 <sup>ab</sup>	0,643 <sup>un</sup>
Cellulose brute (FC)	0,525	0,508	0,534	0,523	0,468
Fibres au détergent neutre (NDF)	0,504	0,495	0,483	0,523	0,506
Fibres au détergent acide (ADF)	0,524	0,473	0,473	0,522	0,484
<b>Digestible MO et les apports en CP (les exigences d'entretien%)</b>					
DOMI	93	123	158	193	212
DCPI	52	52	64	93	111
La consommation quotidienne d'eau potable (litres)	2,42 <sup>u</sup> <sub>n</sub>	1,49 <sup>b</sup>	1,49 <sup>b</sup>	0,1 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>

a,b,c,d,e les moyennes à la même ligne avec des lettres différentes sont statistiquement différentes (P<0,05).

**Tableau 4** : Comparaison de la composition des cladodes avec d'autres aliments (Poupon, 1975)

Nature du fourrage	Matière sèche (%)	Matière azotée (%)	Hydrate de carbone	Matière grasse (%)
Foin de luzerne	91.4	10.6	39.0	0.9
Atiplex	23.3	2.8	5.9	0.1
Maïs ensilé	26.3	1.1	15.1	0.7
Pulpes de betterave sucrière	9.4	0.2	6.4	0.1
Cladodes d' <i>Opuntia</i>	10.4	0.6	5.8	0.1

Les jeunes pousses d'*Opuntia*, appelées « Nopalitos » sont consommées comme légume au Mexique et dans le sud des Etats Unis. Elles sont riches en vitamine C et en Calcium et leur valeur nutritive est proche de celle de la laitue et des épinards (Dominguez, 1995).

#### I.1.5.4.3. Utilisations médicinales

##### I.1.5.4.3.1. Utilisation des raquettes

En Australie et en Afrique du Sud, l'effet hypoglycémique des « Nopalitos » est utilisé dans le traitement des diabètes non dépendants de l'insuline. Le mucilage isolé des raquettes permet de réduire le cholestérol total dans le sang. Des découvertes récentes ont montré d'autres avantages nutritionnels et de santé (Heywood., 1990) Elles peuvent être consommées en tant que légumes frais ou cuits (Hamdi, 1997et saenz ,2000) aussi elles ont été étudiées en tant que traitement de l'hyperglycémie, de l'hyperlipidémie, et de l'athérosclérose (Frati et al, 1990 et palvitch, 1993). Leur effet sur la résorption significative des lésions gastriques et de l'ulcère a été étudié par (Lee, 2002) en consommant de la cladode en poudre. Les études de Tresoriere et al, (2004) ont révélé que la consommation d'*Opuntia* a un effet protecteur du système immunitaire en agissant comme capteurs de radicaux libres. Les travaux de (Park, 2001) ont signalé l'activité analgésique et anti-inflammatoire de la cladode et du fruit d'*Opuntia*, dont le principe actif est le b-sitostérol Les femelles des cochenilles *Dactylopius coccifer* ou *Dactylopius Opuntiae cockerell*, qui prolifèrent sur des raquettes de *Opuntia ficus indica*, sont utilisées pour la production d'un colorant de couleur rouge « le carmin » ou l'acide carminique. Ce colorant (E-120) est très utilisé par les industries alimentaires, cosmétiques et médicinales. Récemment au Mexique et en Afrique du Sud, des producteurs ont adopté des systèmes de production intensifs en micro-tunnels pour la culture de ces cochenilles (Pimienta, 1993).

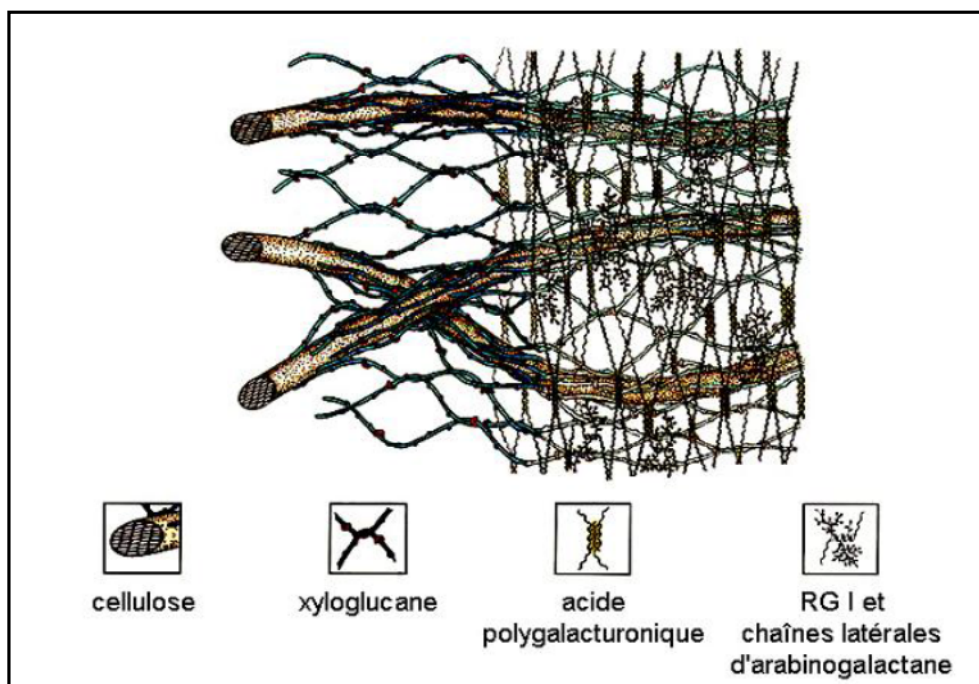
\* UF (Unité Fourragère) = 1720Kcal

**I.1.5.4.3.2. Utilisation des fleurs**

Avec un calendrier apicole qui dure 7 mois (mars- septembre), l'activité des abeilles a lieu sur les fleurs de l'*Opuntia ficus indica* pendant 3 mois (avril- juin), ce qui permet de développer l'apiculture en parallèle. Les rendements des ruches sont de 1 à 4 litres de miel. Les fleurs sont aussi utilisées à des fins médicinales. En effet, les capsules des corolles des fleurs séchées sont utilisées comme remède du dysfonctionnement de la prostate (hypertrophie bénigne de la prostate), et aussi comme régulant diurétique (Palevitch,1994). En Sicile, le thé préparé avec les fleurs de l'*Opuntia ficus indica* est utilisé comme traitement contre les douleurs rénales (Park, 2001).

### I.1.6. Organisation de la paroi végétale

La paroi végétale est un empilement de plusieurs couches constituées de cellulose, d'hémicelluloses, de pectines et/ou de lignine dont les proportions dépendent de l'organisme producteur du tissu. Cette paroi pecto-cellulosique confère à la cellule des propriétés biomécaniques de rigidité et d'élasticité, qui peuvent apparaître contradictoires. En effet, d'une part la structure est rigide permettant le maintien de l'organisme et d'autre part l'enveloppe est souple et extensible assurant la croissance des cellules. La couche la plus externe composant la paroi est appelée la lamelle mitoyenne, elle est de nature amorphe et assure la cohésion intercellulaire. Elle est constituée principalement de pectines. Les niveaux les plus internes, appelés parois primaire et secondaire, sont formés d'un réseau de microfibrilles de cellulose enrobées dans une matrice amorphe constituée d'hémicelluloses et de pectines McNeilet al. (1984). L'organisation de ces différents polysaccharides au sein de la paroi des plantes supérieures a suscité beaucoup d'intérêt et plusieurs modèles ont été proposés. Chez les dicotylédones, Carpita et Gibaut ont proposé un modèle illustrant l'organisation des polysaccharides autour des microfibrilles de cellulose (Figure 1) Carpita et al (1984). Il s'agit d'un composite constitué de microfibrilles entrecroisées dans une trame de polysaccharides et de protéines dont la cohésion est assurée par des liaisons hydrogène et par des interactions de type Van der Waals.



**Figure 2 :** Modèle de la paroi primaire montrant l'organisation des polysaccharides pariétaux ( modèle proposé par Carpita et Gibaut)

### I.1.6.1 Polysaccharides pariétaux

La paroi végétale est donc principalement constituée de plusieurs macromolécules étroitement liées entre elles. On distingue, généralement, trois composés majoritaires : les pectines, les hémicelluloses, la cellulose.

#### I.1.6.1. 1. Pectines

Les propriétés gélifiantes de certaines substances contenues dans les fruits, et raquettes sont utilisés depuis longtemps dans la fabrication des confitures. En 1825, Bracantot isole la molécule qu'il décrit comme responsable de la gélification. Elle fut nommée pectine, du grec *pectos* : rigide. L'analyse de cette pectine a permis de constater qu'il ne s'agissait pas d'une molécule mais d'un groupe de substances présentant une grande hétérogénéité. On les appela alors substances pectiques, ou pectines. Il s'agit en fait d'un groupe de polysaccharides complexes présents dans la plupart des végétaux supérieurs. Ces pectines, situées dans la paroi primaire, jouent un rôle structural important dans le maintien de l'architecture cellulaire et participent également au métabolisme végétal, notamment au niveau de l'expansion et de la défense cellulaire (Willats et al., 2001). L'hydrolyse acide totale d'une pectine fournit rarement plus de 5 sucres réducteurs, à savoir l'acide D- galacturonique, le L-rhamnose, le D-galactose, le L-arabinose, le D-xylose, et moins fréquemment, le L-fucose, l'acide D-glucuronique, et quelques fois des sucres rares comme le 2-O-méthyl-D-xylose ou le 2-O-méthyl-L-fucose.

Les pectines ont pour structure de base un enchaînement linéaire d'unités acide D-galacturonique (galacturonanes), qui peut être interrompu par des enchaînements alternes de résidus rhamnose et acide D-galacturonique (rhamnogalacturonanes). Ces derniers enchaînements peuvent être ramifiées par des chaînes latérales riches en unités arabinose et galactose (arabinanes, galactanes et arabinogalactanes). Les zones à taux élevé de sucres neutres sont appelées, « zones chevelues » alors que les zones constituées uniquement d'unités acide galacturonique sont dites « zones lisses » (May, 2000).

#### I.1.6.1.2. Hémicelluloses

Les hémicelluloses sont des polysaccharides amorphes, constitués de sucres neutres (xylose, arabinose, galactose, glucose, mannose) et d'acides uroniques (acide glucuronique, acide 4-O-méthyl-glucuronique). La variabilité de ces composés selon l'origine, le tissu ou le type cellulaire et selon le stade de maturité des tissus, génère une grande polydiversité structurale. On les classe alors en :

. homopolysaccharides : glucanes, xylanes, mannanes □ ...

.hétéropolysaccharides: xyloglucanes, arabinoxyanes, glucomannanes, glucuronoxyanes, glucuronoarabinoxyanes □ ...

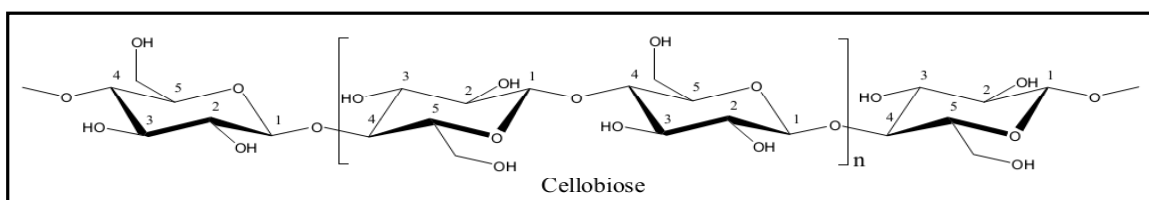
- Les xyloglucanes constituent la famille prédominante des hémicelluloses chez les dicotylédones. Leur chaîne principale est formée de résidus glucose liés □  $\beta$  (1- 4). Sur cette chaîne principale sont greffées des chaînes latérales contenant soit uniquement des résidus xylose, soit un disaccharide [xylose→galactose] soit encore un trisaccharide [xylose• galactose• fucose] (Takahisa, 1989) .

- Les xylanes sont les polysaccharides non-cellulosiques les plus abondants dans la majorité des angiospermes ou ils représentent 20 a 30% du poids sec des tissus. Ils sont principalement considérés comme constituants de la paroi secondaire ou ils servent de matrice amorphe entre les fibrilles de cellulose. Chez les végétaux, les xylanes sont exclusivement liées  $\beta$  (1- 4) et peuvent être classées en xylanes neutres formées uniquement de résidus de sucres neutres, ou xylanes acides renfermant, en plus des oses neutres, des acides uroniques.

- Les mannanes font partie des hémicelluloses que l'on rencontre dans la paroi végétale. Elles sont considérées comme des hydrates de carbone de réserve dans les endospermes des graines.

### I.1.6.1.3. Cellulose

La cellulose est la molécule organique la plus abondante qui soit produite sur terre à chaque cycle photosynthétique. Elle constitue le principal constituant des parois cellulaires des végétaux ou elle joue le rôle de maintien. Il s'agit d'un homopolymère linéaire formé d'unités D-glucopyranose de conformation chaise  ${}^4C_1$ , liées entre elles par des liaisons glycosidiques  $\beta$ (1- 4). (Isogai, 1994).



**Figure 3** : Formule chimique de la cellulose

Deux unités anhydroglucose successives sont décalées d'un angle de  $180^\circ$  □ l'une par rapport à l'autre. Cette conformation explique la linéarité de la molécule qui se trouve stabilisée par un réseau de liaisons hydrogène intramoléculaire et intermoléculaires.

Le nombre d'unités glucose constituant une chaîne de cellulose, appelé degré de polymérisation DP, dépend beaucoup de l'origine et du traitement subi par la cellulose au cours de sa purification. Il peut varier de quelques centaines à des milliers d'unités glucose. La régularité spatiale des sites impliqués dans ces liaisons et leur grand nombre confère à la cellulose un caractère fibrillaire et partiellement cristallin. Sur la base des caractéristiques des spectres de diffraction des rayons X, on distingue principalement quatre états polymorphiques de la cellulose, désignés par cellulose I, cellulose II, cellulose III, cellulose IV (Isogai, 1994).

Actuellement et sur la base des observations en microscope électronique, il est admis que la microfibrille est l'élément structural de base. Celle-ci est un assemblage de chaînes de molécules agencées parallèlement et stabilisées par les liaisons hydrogène. Le diamètre de la microfibrille varie, selon l'origine de la cellulose, de 2 nm à 20 nm pour une longueur qui peut atteindre plusieurs dizaines de microns.

Les cellules végétales possèdent une paroi cellulosique rigide qui double leur membrane plasmique, ce qui leur permet de résister aux changements de pression osmotique. Les microfibrilles de cellulose sont donc les éléments constitutifs de base de cet édifice architectural. Il s'agit d'une structure complexe dont la composition et l'organisation diffèrent en fonction des espèces et des activités physiologiques de la cellule. On distingue deux types de parois :

#### **I.1.6.2. Paroi primaire et secondaire.**

La paroi primaire est mise en place lors de la division cellulaire et marque ainsi la croissance et l'extension cellulaire. Les microfibrilles de cellulose constitutives de cette paroi primaire n'ont pas d'orientation préférentielle et sont enrobées dans une matrice de polysaccharides pectiques et hémicellulosiques, ce qui confère à cette assise une architecture fibrillaire relativement lâche.

Une paroi secondaire souvent lignifiée et dépourvue de pectines est déposée et marque l'arrêt de toute modification de la forme de la cellule. La paroi secondaire contient une forte proportion de microfibrilles de cellulose. Elle est d'une grande rigidité étant donnée la compacité et la cristallinité du réseau microfibrillaire constitutif. Ces microfibrilles sont disposées de façon régulière en hélices par rapport à l'axe de la cellule, et disposées en strates successives et concentriques (S1, S2 et S3).

**I.1.6.3. Extractions des polysaccharides****I.1.6.3.1. Extraction des pectines**

Le schéma classique d'extraction des pectines se compose de plusieurs étapes permettant l'extraction des différents groupes de polysaccharides pectiques (Selvendran et O'Neill 1987). Il se présente comme suit:

- Les pectines fortement méthylées, acides pectiques ou leurs sels pectates ont une grande affinité à l'eau, elles sont donc extractibles par l'eau chaude généralement à des températures inférieures à 80°C.
- Les pectines faiblement méthylées, acides pectiniques ou pectinates qui sont présentes dans la paroi complexées par des ions calcium, sont extractibles par un agent chélatant du calcium (oxalate d'ammonium, éthylène diamine tétra-acétique (EDTA), 1,2-cyclohexane diamine tétra-acétique (CDTA). Ces composés forment avec les pectines des pectates aisément solubles dans l'eau à chaude.

**I.1.6.3.2 Extraction des hémicelluloses**

D'une manière générale, l'extraction des hémicelluloses qui sont majoritaires dans les dicotylédones est réalisée par des solutions alcalines. Elle peut être cependant réalisée avec des solvants organiques, le plus souvent le DMSO. Elle peut être conduite selon deux modes fondamentaux d'extraction qui dépendent de la nature du matériel végétal et tiennent essentiellement à la présence plus au moins grande de la lignine (Joseleau, 1980).

- Sans délignification préalable : appliquée surtout à des matériaux peu lignifiés en l'occurrence les parois primaires.
- Après délignification : plus au moins soluble en milieu alcalin, la lignine risquerait de contaminer les extraits polysaccharidiques. C'est pourquoi, les matériaux fortement lignifiés (parois secondaires) nécessitent un traitement délignifiant au préalable. Ces extractions alcalines peuvent être aussi combinées à des traitements thermiques à la vapeur dont le but de rendre les hémicelluloses pariétaux plus accessibles.

**I.1.6.3.3. Extraction de la cellulose**

La cellulose est susceptible de se dégrader au cours des traitements chimiques. Mais d'une manière générale les réactions de dégradation de la cellulose sont toujours limitées et plus lentes que sur les autres polysaccharides en raison de son caractère cristallin qui lui confère une certaine inaccessibilité. Ainsi, en milieu acide, la cellulose subit une hydrolyse

des liaisons osidiques, elle dépend de la concentration en acide, de la température et de la durée du traitement. En milieu alcalin, la cellulose peut aussi être dégradée ou transformée en fonction de la concentration en soude et de la température.

#### **I.1.6.4. Constituants pariétaux non polysaccharidiques**

##### **I.1.6.4.1. Protéines de structure**

Les parois primaires contiennent de 5-10 % de glycoprotéines (dénommées xtensines) riches en hydroxyproline. Les unités constitutives caractéristiques de l'extensines sont des chaînes polypeptidiques qui, outre l'hydroxyproline, contiennent les acides aminés suivants : sérine, lysine, tyrosine, histidine et histidine. La majorité des molécules d'hydroxyproline portent des chaînes latérales formées de trois ou quatre molécules d'arabinose. (Fonty et Chaucheyras-Durand, 2007 ; Murray, 2008). On distingue trois classes principales de protéines pariétales : des protéines riches en glycérine (PRG), des protéines riches en proline (PRP) et des protéines riches en hydroxyproline (GRH).

##### **I.1.6.4.2. Composés phénoliques**

###### **I.1.6.4.2.1. Lignine**

Après la cellulose, les lignines constituent le composé organique le plus abondant sur terre. Ils contribuent à former 20% de la biomasse terrestre et 30% du carbone organique de cette biomasse (Res *et al.*, 2006). Elles 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 (Sarmi- Machado and Cleynier, 2006). Elle agit principalement comme une barrière passive en incrustant tout l'espace disponible dans les parois. Elle confère aux parois végétales des propriétés d'imperméabilité et de résistance aux attaques microbiennes et constitue le principal obstacle à la disponibilité des glucides pour les microorganismes (Fonty et Chaucheyras-Durand, 2007).

###### **I.1.6.4.3. Lipides complexes**

La cutine et la subérine sont des composants structuraux importants de beaucoup de parois cellulaires des tissus protecteurs externes de la plante. La principale fonction de ces lipides est de former une matrice dans laquelle sont enrobées des cires- composés lipidique à longues chaînes hydrophobes. (Raven *et al.*, 2007 ; Murray, 2008). La lignification, la subérification et la cutinisation sont des contraintes physiques à l'attaque microbienne en limitant l'utilisation de la paroi végétale.

**I.1.7. Ressources fourragères****1.1.7.1. Généralités**

En Algérie comme dans la plupart des pays où la production animale est dominée par l'élevage ovin, son alimentation est assurée en grande partie , parfois même exclusivement par des associations de végétaux d'origine diverse à aptitudes pastorales où l'herbe cultivée ou non, les résidus de récoltes( chaumes , pailles ...) et arbustes sont utilisés.

On désigne généralement par parcours, des pâturages formés par une végétation spontanée et exploitée de manière extensive en vue de l'alimentation d'un cheptel (Benrebiha et Bouabdellah, 1992). Suite à l'accroissement démographique et à la sédentarisation d'une partie croissante de la population steppique, on assiste actuellement à une extension rapide de l'agriculture au détriment des meilleures zones pastorales dont la végétation naturelle est détruite par des moyens mécaniques de plus en plus puissants. Cette destruction est également aggravée par l'accroissement de la pression animale sur les surfaces pastorales et par le prélèvement des produits ligneux destiné à la satisfaction des besoins en combustibles (Floret et al, 1992). Ces différents phénomènes ont contribué à accroître la fragilité des écosystèmes, à réduire leur capacité de régénération et à diminuer leur potentiel de production. Dans les zones les plus vulnérables, la surexploitation des ressources naturelles renouvelable a eu pour effet de favoriser différents processus de dégradation conduisant à une progression rapide de la désertification (Nefzaoui et Chermiti , 1991 ), dont le problème majeur auquel l'élevage fait face dans ces zones est la rareté et l'irrégularité des ressources alimentaires. La production animale des ruminants dans les zones arides se caractérise par des crises périodiques dues à des disettes résultant de la sécheresse.

En effet, L'Algérie possède 3300 espèces vasculaires spontanées dont 168 sont endémiques. Ce matériel végétal est non seulement en partie exploité pour la production agricole mais intéresse également, pour ses caractéristiques spécifiques, beaucoup d'autres secteurs d'activités économiques.

Ce matériel végétal a comme caractéristique la tolérance à la salinité, à la sécheresse, aux hautes températures et au gel, la qualité technologique des produits telle que la résistance aux maladies et l'adaptation aux milieux difficiles. Ces caractéristiques lui confère des intérêts et des possibilités d'évolution indéniables.

Les céréales connaissent des inhibitions à s'aligner sur une productivité adéquate afin de réduire les importations dont le recours est très coûteux à l'état (Une facture estimée à près de 01 milliard USD faisant de l'Algérie l'un des plus grands importateurs mondiaux de céréales).

#### 1.1.7.1.1. Les superficies fourragères en Algérie

Les superficies occupées par les fourrages ou utilisées pour l'alimentation du cheptel à près de 39 millions d'hectares (2001). Ces superficies sont représentées, essentiellement, par les steppes et les pacages (82 %), les terres en jachère (7.8 %) et les soles pourvoyeuses de chaumes et de pailles (9%). Ces ensembles se caractérisent par la faiblesse de la productivité fourragère. (Voir tableau 05).

**Tableau 5** : Structure des superficies fourragères en Algérie (2001) (GREDAAL, 2003).

Zones	Superficies (Hectares)	Structures des superficies fourragères en Algérie en 2001 (%)				
		Fourrage cultivés	jachères	Prairies naturelles	Pacages et parcours	Chaumes et pailles
<b>Zone tell littoral A</b>	2802425	4	22	1	29	44
<b>Zone humide A1</b>	1315579	5	25	2	26	43
<b>Zone subhumide A2</b>	1486846	4	20	0	31	45
<b>Zone Sublittoral</b>	700105	7	27	0	6	60
<b>Zone céréalière C</b>	4642085	3	28	0	29	40
<b>Z. sb .hum.semi.ar C1</b>	1144954	2	22	0	18	59
<b>Zone humide C2</b>	3497130	3	30	0	32	34
<b>Zone des pâturages et parcours</b>	13156478	0	7	0	92	1
<b>Zones sahariennes</b>	17647893	0	0	0	100	0
<b>Algérie</b>	38948986	1	8	0	82	9

Les fourrages cultivés sont concentrés dans le Nord du pays et sont dominés par quelques espèces qui appartiennent généralement à la famille des graminées : orge, avoine et dans une moindre mesure les associations vesce avoine, pois avoine et pois orge, alors que les légumineuses sont rarement cultivés. La consommation des fourrages cultivés en vert fournit 43 millions d'UFL (Houmani.1993 in Nedjraoui, 2002), et leur consommation en sec fournit 577 millions d'unités Fourragères lait pour des brebis à l'entretien allaitant un agneau par an.

**1.1.7.1.2. La production et les rendements des fourrages**

A partir des statistiques de MADR de l'année 2010, les données montrent que la superficie totale réservée à l'ensemble des fourrages est de 595858 ha soit une hausse de 15% par rapport à l'année précédente (685580 ha). En matière de production, le volume obtenu en fourrage est évalué à 15 845 659 Qx contre 30 373 045 Qx pour l'année écoulée soit une augmentation de 91 %. Quant aux rendements, ils sont de l'ordre de 26.6 Qx/ha enregistrant ainsi un écart positif de + 66% puisque ils étaient à 44.3Qx/ha en 2009. Il ya lieu de noter qu'à partir de l'année 2004, il a été introduit dans le total de cette catégorie, (fourrages artificiels) les fourrages artificiels en vert contrairement aux années précédentes où ces derniers n'ont pas été pris en compte.

Tableau 6 : La production et les rendements des fourrages (MADR, 2010).

Culture	00 - 01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	Moyenne 00 - 09	EEvolution 9/Moy (%)
<b>Fourrages artificiels</b>											
<b>Superficie (Ha)</b>	243 520	300 280	272 790	461 589	484 152	611 817	494000	588 890	416297	430371	-3
<b>Productions Qx</b>	5544 460	4901 790	7 914 890	15 551 250	16 640 020	16 458 430	18 000	15 903 365	123721955	112 242 444	93
<b>Rendement</b>	22.8	16.3	29	33.7	34.4	26.9	25.3	27	56.9	28.4	100
<b>Fourrages naturels</b>											
<b>Superficie (Ha)</b>	142 690	101 030	299 020	175 634	144 737	165 725	228000	171 727	269 283	1 188 650	42
<b>Productions Qx</b>	2 535 540	1433 260	4 930 880	3 498 750	2 855 980	2 888 780	44 000	3 3 487 865	66 651 050	33 603 215	84
<b>Rendement</b>	17.8	14.2	16.5	19.9	19.7	17	21.9	20,3	24,7	19.1	29
<b>Fourrages artificiels + naturels</b>											
<b>Superficie (Ha)</b>	386 210	401 310	571 810	637 223	628 889	788 542	722000	760617	685580	595858	15
<b>Productions Qx</b>	8 080 000	6 335 050	12 845 770	19 050 000	119500 000	119 347 210	212990 000	119391230	130373045	15 845 659	91
<b>Rendement</b>	20.9	15.8	22.5	29.9	31	24.5	18	25.5	44.3	26.6	66

### **1.1.7.2. Impact de l'élevage sur l'environnement**

Depuis un demi-siècle, la littérature s'enrichit d'écrits sur l'impact de l'homme sur la dégradation de l'environnement (Wackernagel et Rees, 1996). Cet impact se traduit principalement par le réchauffement climatique que génèrent les rejets de gaz à effet de serre (GES) et par des pertes de diversités biologiques (WWF, 2006). La Convention de Rio de 1992 et le Protocole de Kyoto de 1997 ont posé avec inquiétudes la responsabilité des activités humaines. Parmi celles-ci, figure, l'agriculture.

#### **1.1.7.2.1. Le cri d'alarme de la FAO**

La FAO, en 2006, en additionnant :

- Les émissions des principaux GES : CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> (116 millions de tonnes vers 2050 par les seuls ruminants) ;
- Le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O principalement de la filière « élevage », depuis la production fourragère (qui comprend la production d'engrais chimiques et la déforestation pour la conversion en pâturages et en cultures fourragères et la dégradation des pâturages) ;
- L'exploitation de l'animal (y compris la fermentation entérique et les émissions d'hémioxyde d'azote du fumier) jusqu'aux émissions de dioxyde de carbone durant la transformation et le transport de produits animaux, lance un cri d'alarme : « le secteur de l'élevage est un acteur majeur du réchauffement climatique ». Il produirait, 18% des émissions totales de gaz, l'élevage produirait au niveau mondial, plus de GES que les activités de transports selon la FAO. Actuellement, 26% des terres émergées sont en pâture contre 10 % en terres labourables. Par ailleurs, 33 % des terres arables sont dédiés à la production d'aliments pour le bétail. C'est donc près de 30 % de la surface de la terre qui est consacrée à l'élevage.

Dans le monde, selon Dalibard (1995), cet impact de l'élevage dans les zones arides et semi arides a été amplifié par :

- les sécheresses répétées et les perturbations des systèmes traditionnels par des interventions politiques dans la gestion du système ;
- la diminution de la mobilité des pasteurs à cause de l'augmentation de l'insécurité ;
- la rentabilité à court terme a encouragé le développement de système de production intensif là où ils n'étaient pas adaptés.

**I.2 : La ressource animale, digestibilité, et développement durable des systèmes d'élevages en Algérie.****I. 2.1. Importance économique de l'élevage ovin**

En 2006, le monde comptait 1.1 milliards d'ovins soit une proportion d'environ un mouton pour cinq habitants. Ce cheptel est en recul, il a perdu 5% en 15 ans (Pictoris, 2008). Il est surtout exploité actuellement pour sa viande et pour sa laine. La production laitière demeure très limitée en quantité et localisée autour du bassin méditerranéen.

La Chine rassemble le premier cheptel ovin au monde avec près de 160 millions têtes d'ovins (soit 15 % du cheptel mondial). L'Océanie (Australie et Nouvelle-Zélande) arrive en deuxième place, rassemblant 13 % des reproducteurs, suivie de l'Union européenne (11% du cheptel) (Anonyme, 2007).

**I.2.2. Aperçu de l'élevage ovin en Afrique du Nord**

L'élevage du mouton est fortement ancré dans les traditions marocaines, algériennes et tunisiennes. L'ovin y joue un rôle économique, social et rituel important dans ces pays. En effet, la viande ovine est traditionnellement la plus appréciée par la population nord africaine et le mouton reste, par excellence, l'animal associé aux fêtes religieuses et familiales. Il représente aussi une source de trésorerie facilement mobilisable. Les systèmes de production ovins sont un élément fondamental de l'économie, notamment dans les zones rurales difficiles, arides ou semi-arides où ils sont particulièrement adaptés au milieu naturel et aux ressources pastorales spontanées et variables. En Afrique du Nord, la production de viande ovine représente 40% de la production de viande rouge.

**I.2.3. Place de l'élevage ovin dans l'économie algérienne**

La production annuelle de viande contrôlée est estimée à 16500 tonnes ou 65% de la production nationale. A cela s'ajoute les quantités provenant de l'abattage non contrôlé (estimées à 40% de cette quantité) et les sacrifices des fêtes et périodes religieuses. En Algérie la production de viande reste insuffisante pour la demande locale, elle est complétée par l'importation annuelle de 19.7 tonnes de viandes bovine et ovine (Chemmam, 2007).

L'élevage ovin représente la spéculation agricole la plus importante. Le secteur de la production animale, fournie près de 5 billions de dollars. L'élevage des petits ruminants, contribue avec 52% et représente 35% de la production agricole totale (Benaissa, 2001). Il occupe ainsi une place importante sur le plan économique et social. Sa contribution à l'économie nationale est importante dans la mesure où il représente un capital de plus d'un

milliard de dinars. C'est une source de revenu pour de nombreuses familles à l'échelle de plus de la moitié du pays. (Mohammedi, 2006 cité par Saidi et al., 2009).

#### **I.2.4. Situation de l'élevage ovin en Algérie**

Les principales productions ovines algériennes sont connues essentiellement dans les zones steppiques où le mouton Algérien a acquis des aptitudes caractérisant ses performances productives particulières. En Algérie, le cheptel ovin représente la plus grande ressource animale du pays. Ainsi, de par son importance, il joue un rôle prépondérant dans l'économie et participe activement à la production des viandes rouges. 75 % du cheptel ovin se trouvent ainsi concentrés dans la steppe et sont donc conduits en système extensif. Il se caractérise par sa forte dépendance vis-à-vis de la végétation naturelle très ligneuse et donc demeure très influencé par les conditions climatiques. Ce qui au demeurant, engendre une faible productivité de cette espèce définie par le nombre d'agneaux destinés à l'abattage. Ce faible taux de productivité ajouté à un poids de carcasse relativement faible concourt à une insuffisance de la production de viandes rouges.

##### **I.2.4.1 Effectif du cheptel en Algérie**

L'élevage ovin domine avec un effectif de 18.7 million de têtes, en deuxième position les caprins avec 3.52 millions de têtes, suivi du bovin avec 1.61 millions de têtes et en dernier le camelin avec 0.274 millions de têtes (MADR, 2011). En Algérie il y a une spécialisation des zones agro écologiques en matière d'élevage. Les parcours steppiques sont le domaine de prédilection de l'élevage ovin et caprin avec plus de 90 pour cent des effectifs qui y vivent entraînant une surexploitation de ces pâturages (Nedjraoui, 2001).

Tableau 7 : Effectif national national(10<sup>6</sup>), MADR, 2011

Année	Bovins	Ovins	Caprins	Camelins
2000	1.59	17.62	3.03	0.234
2001	1.61	17.30	3.13	0.246
2002	1.55	17.59	3.28	0.250
2003	1.56	17.50	3.32	0.253
2004	1.61	18.29	3.45	0.273
2005	1.59	18.82	3.63	0.279
2006	1.61	19.62	3.75	0.287
2007	1.66	19.85	3.77	0.293
2008	1.64	19.94	3.75	0.295
2009	1.65	20.00	3.80	0.301
2010	1.65	20.01	3.85	0.313
Moyenne	1.61	18.77	3.52	0.274

#### I.2.4.2. Les Ovins

Premier fournisseur en Algérie de viande rouge, est dominé par 3 races principales bien adaptées aux conditions du milieu (CHELLIG, 1992) :

**La race arabe blanche Ouled Djellal**, la plus importante, environ 58 pour cent du cheptel national, adaptée au milieu steppique, présente des qualités exceptionnelles pour la production de viande et de laine,

**La race Rumbi**, des djebels de l'Atlas Saharien, à tête et membres fauves, représente environ 12 pourcent du cheptel,

**La race rouge Béni Ighil** (dite Hamra en rappel de sa couleur) des Hauts Plateaux de l'Ouest (21 pourcent du cheptel), race berbère, très résistante au froid, autochtone d'Afrique du Nord. Quelques variétés plus rares sont également mentionnées telles que la Taadmit issue d'un croisement entre Ouled Djellal et les béliers Mérinos. Quelques troupeaux isolés du type Merinos correspondent à des tentatives d'intensification de la production ovine.

La composition du troupeau a tendance à changer. On assiste aujourd'hui au remplacement de la race **Béni Ighil** très rustique et adaptée au pâturage steppique par la race **Ouled Djellal** très prolifique et d'un apport plus rentable en viande. En effet "un broutard de 12 mois de la race **Béni Ighil** équivaut en poids à un agneau de 4 mois **Ouled Djellal**". L'une des causes de ces

mutations est le pillage organisé de certaines races très prisées, telles que la race **Ouled Djellal**, vers les pays voisins où elles sont cédées à des prix dérisoires (Abdelguerfi et Laouar, 1999).

#### **I.2.4.2.1. La race Rumbi**

La race Rumbi a les mêmes caractéristiques que la race arabe blanche Ouled Djellal sauf qu'elle a les membres et la tête fauves (couleur brique). La légende dit que le mouton Rumbi est un croisement entre Ouled Djellal et le mouflon du Djebel Amour.

Le berceau de la race s'étend de l'Oued Touil à l'Est au Chott Chergui à l'Ouest. Elle couvre les régions de Tiaret, Sougueur, Djebel Amour, Djebel Nador, Khenchela. Race de montagnes sèches, supporte les froids rigoureux et la sécheresse. Race très robuste aux os massifs, aux onglons durs, aux pieds surs. Elle est limitée à son berceau, et ne s'étend pas.

Sa peau est pigmentée de brun, mais la laine est blanche. La tête est brune, pâle ainsi que les pattes (couleur lièvre-mouflon), sa laine couvre tout le corps jusqu'au genoux et aux jarrets. Les cornes sont spiralées, massives et les oreilles moyennes et tombantes. Le squelette est massif et les pattes très robustes ressemblant au mouflon. Il existe deux types de race Rumbi suivant l'adaptation aux pâtures (montagne ou pâture).

#### **I.2.5. Alimentation de la brebis**

##### **I.2.5.1 Généralités**

L'alimentation est un poste budgétaire important, puisqu'elle représente 45 à 55 % des charges opérationnelles. Sa maîtrise aura une influence sur les résultats économiques mais aussi sur les performances de reproduction et de production (croissance, développement, état d'engraissement,...).

##### **I.2.5.2. Rationnement**

L'objectif du rationnement est de couvrir les besoins des animaux à un moment donné, tout en tenant compte de leur poids, leur état physiologique et leur niveau de production.

Chez les ovins, plusieurs périodes critiques existent : la fin de gestation, la lactation, le tarissement, la croissance et l'engraissement (Dudouet, 2003). Le rationnement du troupeau ovin consiste à évaluer les besoins des animaux et à établir une ration alimentaire qui puisse les couvrir en faisant :

Appel en priorité aux aliments produit par la ferme, et par la suite en acheter (Toussaint, 2001). Ces aliments doivent être fournis aux moments opportuns en quantité et avec la qualité désirée (Petit et al., 1994), afin d'en obtenir une productivité zootechnique maximale dans le respect de son intégrité organique (Paragon, 1995).

L'efficacité des apports alimentaires varie en fonction de l'espèce, de l'âge, de l'individualité de l'état physiologique, et des troubles pathologiques (Wolter, 1980).

Les besoins des brebis varient considérablement en cours d'année, selon qu'elles sont au repos (entretien) ou en production (6 dernières semaines de gestation et 3 premiers mois d'allaitement).

### **I.2.5.3. Alimentation à l'entretien**

Dans les conditions actuelles de leur exploitation intensive les ruminants domestiques sont très rarement à l'entretien ; ils sont en production pendant la quasi-totalité de leur vie. La distinction traditionnelle entre les dépenses d'entretien et les dépenses de production est artificielle au plan nutritionnel puisque ces dépenses ne correspondent pas à des métabolismes distincts. Il est utile d'estimer correctement les dépenses d'entretien parcequ'elles représentent une part importante des dépenses totales à l'échelle de la vie de l'animal. Cette part est d'autant plus élevée que le niveau de production de l'animal est faible, pour l'énergie elle est ainsi de 60 à 80% chez l'espèce ovine .

Tableau 8 : besoins alimentaires et capacité d'ingestion de la brebis tarie ou début de gestation (Bocquier et al., 1988)

		UFL (/j)	PDI (g/j)	Ca (g/j)	P (g/j)	Note d'état des brebis		
						2 à 2.5	3 à 3.5	3.5 à 4.5
<b>Adultes</b>	40	0.52	42	3.0	2.0	1.4	1.3	1.2
	50	0.62	50	3.5	2.5	1.7	1.5	1.4
	60	0.71	57	4.0	3.0	1.9	1.7	1.6
	70	0.80	64	4.5	3.5	2.2	2.0	1.8
	80	0.88	71	5.0	4.0	2.4	2.2	2.0
<b>Agnelles -1</b>	30	0.44	34	2.5	2.0	-	-	1.2
	40	0.54	42	3.0	2.5	-	-	1.4
<b>Besoins pour la reconstitution des réserves (adulte) ou la croissance (agnelle)</b>								
<b>Variation de poids (2) (g/j)</b>	<b>Brebis adultes</b>				<b>Agnelles</b>			
	<b>UFL (/j)</b>	<b>PDI (g/j)</b>	<b>Ca (g/j)</b>	<b>P (g/j)</b>	<b>UFL (/j)</b>	<b>PDI (g/j)</b>	<b>Ca (g/j)</b>	<b>P (g/j)</b>
50	0.28	11	-	-	0.13	11	0.7	0.2
100	0.56	22	-	-	0.26	22	1.4	0.4
150	0.84	33	-	-	0.39	33	2.1	0.6

1) Avant 30 Kg de poids les agnelles sont nourries comme des agneaux de boucherie.

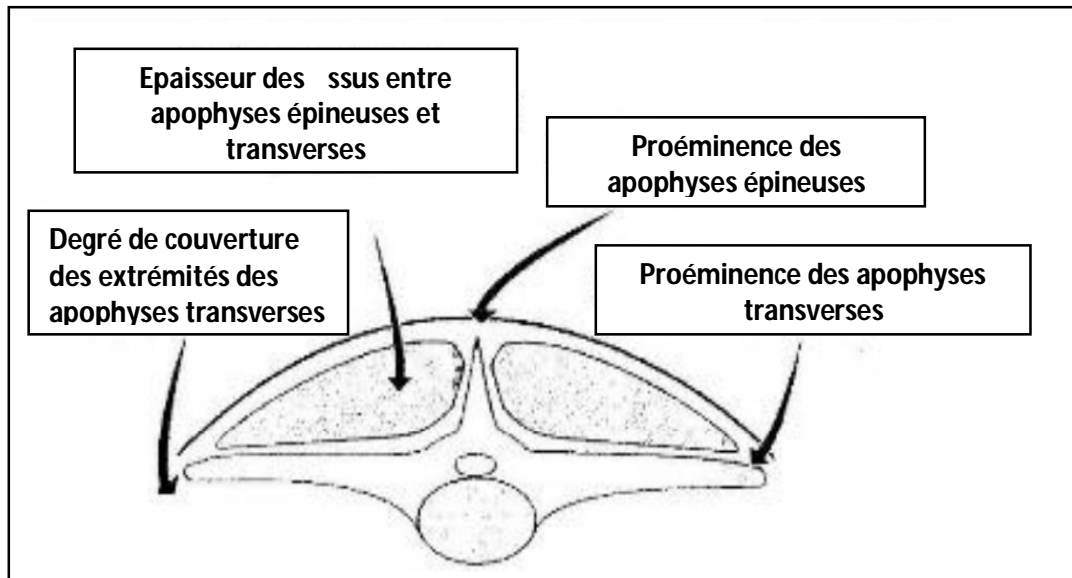
(2) Une augmentation de 1 point de la note d'état corporel correspond à 13 % d'accroissement du poids vif des brebis (à contenus digestifs constants).

NB : Les besoins d'entretiens des béliers sont supérieurs de 10 % à ceux des brebis de même poids

#### I.2.5.4. Notation de l'état corporel des brebis

La notation de l'état corporel s'est développée au cours des trente dernières années pour fournir aux éleveurs et aux partenaires de l'élevage un outil pratique d'usage et fiable, permettant d'estimer les réserves énergétiques. Cet indicateur du bilan énergétique est utilisé non seulement pour le suivi d'élevage et l'évaluation de la conduite nutritionnelle du troupeau mais aussi dans de nombreuses enquêtes pour évaluer ses relations aussi bien avec les paramètres de production qu'avec les paramètres de reproduction.

Il est maintenant bien admis qu'un rationnement alimentaire des bovins ou des ovins ne peut être précis qu'en connaissant les variations de leur état corporel, que ce soit en système intensif ou extensif puisque le niveau d'ingestion, les performances de reproduction ou de lactation et l'état sanitaire des animaux en dépendent (Gibb et Treacher, 1982 ; Chilliard et al., 1987 ; Petit, 1988; Gibbon et al., 1985 cités par Morand- Fehr et al., 1991).



**Figure 4 :** Les quatre étapes de l'attribution d'une note d'état corporel par maniement de la région lombaire de la brebis (Russel *et al.* 1984 ; cités par Dedieu *et al.* 1991)

#### I.2.5.4.1 Barème de notation de l'état corporel des brebis

Chez la brebis une notation de l'état corporel fréquente durant la gestation est vivement recommandée (Rook, 2000), d'après un exemple de barème présenté ci-dessous. Elle permet d'éviter un engraissement trop important du troupeau. De plus, cela permet de comparer l'état du troupeau avec les objectifs définis par le plan d'alimentation. Il est très recommandé de se fixer des objectifs d'état corporel en fonction des performances que l'on veut atteindre.

**Note 0 :** extrêmement émacié, sur le point de mourir : impossibilité de détecter des tissus musculaires ou adipeux entre la peau et l'os.

**Note 1 :** les apophyses épineuses sont saillantes et pointues, les apophyses transverses sont également pointues, les doigts passent facilement sous leur extrémités et il est possible de les engager entre elle. La noix du muscle est peu épaisse et on ne détecte pas de gras de couverture.

**Note 2 :** les apophyses épineuses sont encore proéminentes mais « sans rugosité ». Chaque apophyse est sentie au toucher simplement comme une ondulation. Les apophyses transverses

sont également arrondies et sans rugosité et il est possible, en exerçant une légère pression, d'engager les doigts sous leurs extrémités. La noix du muscle est d'épaisseur moyenne avec une faible couverture adipeuse.

**Note 3** : les apophyses épineuses forment seulement de très légères ondulations souples; chacun des os ne peut être individualisé que sous l'effet d'une pression des doigts. Les apophyses transverses sont très bien couvertes et seule une forte pression permet d'en sentir les extrémités. La noix du muscle est « pleine » et sa couverture adipeuse est moyenne.

**Note 4** : seule la pression permet de détecter les apophyses épineuses sous la forme d'une ligne dure entre les deux muscles (recouverts de graisse) qui forment une surface continue, on ne peut pas sentir les extrémités des apophyses transverses, la noix du muscle est « pleine » avec une épaisse couverture adipeuse.

**Note 5** : les apophyses ne peuvent être détectées, même avec une pression ferme. Les deux muscles recouverts de graisse sont proéminents et on observe une dépression le long de la ligne médiane du dos. Des apophyses transverses ne peuvent être détectées. La noix des muscles est très « pleine » avec une très épaisse couverture adipeuse, d'importantes masses de graisses se sont déposées sur la croupe et la queue.

## I.2.6. Digestibilités apparente et réelle des constituants de la MS

### I.2.6.1. Digestibilité apparente

La digestibilité apparente d'un constituant (X) de la MS (matière organique, matières azotées cellulose brute...), DX, est égale à la quantité du constituant X ingérée, diminuée de la quantité de X excrétée dans les fèces et divisée par la quantité de X ingérée, cette relation peut s'écrire :

$$D(X) = \frac{I \cdot X_i - F \cdot X_f}{I \cdot X_i}$$

$X_i$  et  $X_f$  étant respectivement la teneur en X de I et de F

La relation peut s'écrire aussi :

$$D(X) = 1 - \frac{F \cdot X_f}{I \cdot X_i} = 1 - \text{indMS} \cdot \frac{X_f}{X_i}$$

### I.2.6.2. Digestibilité réelle

Mais les fèces peuvent être divisés en 2 fractions :  $F = F_a + F_m$

La fraction d'origine alimentaire :  $F_a$  et d'origine métabolique :  $F_m$

La digestibilité réelle ( $D_r$ ) est alors égale, pour la matière sèche par exemple à :

$$D_r(\text{MS}) = \frac{I - F_a}{I}$$

Alors que la digestibilité apparente (DMS) est égale à :  $D(\text{MS}) = \frac{I - (F_a + F_m)}{I}$  qui peut s'écrire aussi :

$$D(\text{MS}) = D_r(\text{MS}) - \frac{F_m}{I}$$

La digestibilité apparente D est donc égale à la  $D_r$  diminuée de la fraction métabolique (non alimentaire) de la matière sèche ( $F_m$ ). Si  $F_m$  est nul, ce qui est pratiquement le cas pour les constituants pariétaux  $D(X) = D_r(X)$ .

### I.2.7. Méthodes de mesure de la digestibilité in vivo

La digestibilité d'un même aliment mesurée sur les mêmes animaux varie avec un certain nombre de facteurs (niveau d'alimentation, teneurs en azote et en certains minéraux modes de présentation, durée des périodes expérimentales et, nombre d'animaux ...) d'où la nécessité de bien standardiser la méthode de mesure pour

obtenir des résultats fiables, répétables et comparables entre eux. Avant d'étudier cette méthode qui diffère suivant le type d'aliment étudié (fourrages classiques, pailles et fourrages pauvres ; concentrés et certains sous-produits riches), il convient de rappeler certaines règles ou précautions générales nécessaires à une mesure correcte.

### **I.2.7.1 Conditions générales nécessaires à la validité des mesures**

- Une période pré-expérimentale d'adaptation au régime d'une longueur suffisante, minimum une semaine, mais pouvant être portée dans certains cas à 2 ou 3 semaines (Cammell 1977, Wainman 1977) en cas de changement important de régimes ou avec les mauvais fourrages. Cela pour 3 raisons :

la flore du rumen doit être adaptée à l'aliment étudié

- la composition des fèces doit correspondre uniquement au régime étudié. En raison du transit très lent, la complète excrétion des résidus alimentaires non digérés d'un fourrage riche en parois peut demander jusqu'à 10 jours (Blaxter et al 1956).

- pour les régimes distribués à volonté, la quantité ingérée ne se stabilise après 9 à 12 jours (Blaxter et al 1961).

Un bon fonctionnement du rumen caractérisé par une activité cellulolytique et (ou) amylolytique normale de sa flore. Il faut pour cela :

- que l'animal reçoive le minimum de fourrage sous forme normale qui est nécessaire à une durée de rumination suffisamment longue et à une sécrétion salivaire abondante de façon que le pH du rumen reste supérieur à 6,5

- et que l'azote ou certains minéraux ne soient pas les facteurs limitants de l'activité du rumen.

- Une durée de la période expérimentale suffisante et un nombre suffisant d'animaux.

L'excrétion fécale discontinue, responsable des erreurs dites de début et de fin de période et les différences de capacité digestive d'un animal à l'autre obligent à effectuer la mesure durant un minimum de jours (il varie de 5 à 14 jours suivant les auteurs et est le plus souvent de 10) et sur un nombre minimum d'animaux (il varie de 3 à 8 suivant les auteurs et est le plus souvent de 4). En fait ces nombres sont différents suivant le type d'aliment étudié, le mode d'alimentation (en quantité

limitée ou à volonté) et surtout la précision recherchée pour la mesure. Cette précision dépend, bien sûr, à la fois du nombre de jours et du nombre d'animaux.

La digestibilité d'un même aliment mesurée sur les mêmes animaux varie avec un certain nombre de facteurs (niveau d'alimentation, teneurs en azote et en certains minéraux modes de présentation, durée des périodes expérimentales et expérimentales, nombre d'animaux ...) d'où la nécessité de bien standardiser la méthode de mesure pour obtenir des résultats fiables, répétables et comparables entre eux

### **I.2.7.2. Facteurs liés aux animaux**

L'influence de l'âge des moutons a été étudiée dans 9 essais par Raymond et al (1954a). Elle a été faible et variable d'un essai à l'autre, mais avec une tendance montrant une augmentation de la capacité digestive jusqu'à l'âge de 2 ans ; calculée par régression sur l'ensemble des essais, l'augmentation de dMS a été en moyenne d'environ 0,01 unité par an entre des agneaux (âge < 1 an) et les moutons de 2 ans (2 < âge < 3 ans). En revanche, Demarquilly et Andricu (1987) n'ont observé aucune différence de digestibilité entre des lots de 8 moutons âgés de 1 à 2 ou 3 à 6 ans. Il convient cependant de veiller à ce que les animaux conservent une bonne denture.

Les animaux doivent disposer d'eau à volonté puisqu'un abreuvement insuffisant entraîne une augmentation de la digestibilité.

### **I.2.7.3. Facteurs liés au milieu**

Des températures élevées (> 30°C) associées à des hygrométries élevées (> 85%) diminueraient, la quantité ingérée, les digestibilités de la matière sèche, des MAT et l'énergie, surtout dans le cas de rations riches en fourrages Ces résultats obtenus sont confirmés par Combs (1990) sur des lots de 6 moutons.

Une exposition prolongée au froid de moutons tondu ou de bovins entraîne une diminution de la DMS d'environ 0,002 unités par degré C° (Kennedy et Milligan 1978). Cette diminution n'est pas liée à une augmentation de la quantité ingérée, mais à une augmentation de la vitesse de transit digestif consécutive à une augmentation de la motilité du tube digestif et à une augmentation de la sécrétion de l'hormone thyroïdienne.

#### I.2.7. 4. Choix du niveau d'alimentation

L'influence du niveau d'alimentation sur la digestibilité est un sujet important puisque, suivant les auteurs, les quantités d'aliments sont soit distribuées en quantité limitée au niveau de l'entretien, soit offertes à volonté, soit restreintes à 90 % de l'ad libitum. En règle générale, la digestibilité diminue quand le niveau d'alimentation augmente par suite d'une accélération de la vitesse du transit digestif.

#### I.2.8. Réalisation de la mesure

Pour faciliter la mesure des quantités ingérées et excrétées, les animaux sont maintenus, dans des cages individuelles. Ils doivent être habitués à ces cages et y être placés plusieurs jours (4 ou 5 au minimum) avant le début des mesures. Les fèces sont collectées soit dans des bacs situés derrière l'animal, soit dans des sacs fixés sur l'animal par un harnais. La collecte des fèces a lieu soit chaque matin à la même heure (bacs) soit une à trois fois par jour (sacs) suivant la quantité de fèces émises. L'aliment est le plus souvent distribué en 2 fois par jour pour minimiser la quantité que certains animaux peuvent sortir de l'auge. La première distribution de la journée est faite à la même heure que la collecte des fèces, après l'enlèvement des refus éventuels de la veille. Suivant les auteurs, les mesures sont effectuées :

- en quantité limitée, le plus souvent au voisinage de la couverture des besoins d'entretien des animaux (de 23 à 26 g de matière organique digestible par kg ( $P^{0,75}$ ). Son intérêt est d'être plus facile à standardiser et de donner des résultats plus reproductibles.
- à volonté. On obtient des valeurs plus proches de celles des animaux en production.

La quantité de fèces émises par défécation étant elle-même très variable : de 20 à 90 g (matière fraîche et de 10 à 35 g moyenne de 18 g) de matière sèche chez le mouton recevant à volonté des ensilages d'herbe, des foin ou des pailles (C. Demarquilly 1987).

**Tableau 9 :** Variation journalière de l'excrétion fécale (et de la quantité ingérée en cas de distribution *ad libitum*) chez des moutons recevant différentes rations. (n= 6).

Ration	Matière sèche (g /j)	
	ingérée	Fécale
Foin seul	803 (limité)	317 ± 20
Foin 40 % + pulpes de betteraves 60 %	888 (limité)	268 ± 18
Ensilage de maïs 65 % + concentré 35 %	873 (limité)	267 ± 25
Fourrage vert de RGA stade feuillu stade fin floraison	1424 ± 132	351 ± 36
	1136 ± 107	439 ± 33

## I.2. 9. Digestibilité des aliments

### I.2.9.1. Digestibilité des fourrages

Les fèces des ruminants contiennent peu ou pas de constituants intracellulaires (glucides solubles, amidon, azote, lipides, ...) d'origine alimentaire car la digestibilité réelle de ces constituants est totale ou très élevée.

Les glucides solubles (sucres simples et fructosanes) sont entièrement digestibles (Jarrige, 1988). Leur digestibilité apparente ou réelle est donc de 1,0.

L'amidon est pratiquement absent des organes végétatifs des fourrages des pays tempérés et ne se trouve que dans les graines des céréales exploitées à un stade immature (ensilage de maïs). L'amidon des graines est aussi très digestible :  $0,99 \pm 0,012$  dans les 51 mesures sur moutons et bovins récapitulées par Jarrige (1988) mais essentiellement sur des animaux alimentés au voisinage de l'entretien et recevant les grains de leur ration sous forme broyée.

La digestibilité apparente de l'azote très variable et dépend essentiellement de teneur en MAT. Elle passe généralement de 0.81 à 0.41 quand la teneur en MAT des fourrages verts passe de 250 à 60 g/kg MS

Les lipides des fourrages sont constitués pour 35 à 50 % de pigments et pour les lipides estérifiés, sources essentielle après hydrolyse dans le rumen, des acides gras de l'herbe verte ont une digestibilité apparente égale ou supérieure à 0.85 (Bauchart, 1981). Les chlorophylles, sont quasi indigestibles et se retrouvent dans les fèces. IL en est de même des lipides contenus dans les cires de la cuticule des plantes.

Le détergent neutre de Van Soest solubilise la quasi totalité des constituants intracellulaires.

- La D(MO) des fourrages diminue donc quand leur teneur en parois non digestibles augmente, c'est-à-dire quand leur teneur en parois et la lignification de ces parois (bien que la lignification n'explique peut-être pas à elle seule l'indigestibilité des parois) augmentent. Ces deux paramètres dépendent à la fois de la composition morphologique et de l'âge des fourrages.

- Les feuilles des légumineuses et les limbes des graminées sont en effet beaucoup plus riches que les tiges en constituants intracellulaires et plus pauvres en constituants pariétaux. La différence augmente avec l'âge de la plante, puisque la composition des feuilles de légumineuses et, à un degré moindre, celle des limbes de graminées, change beaucoup moins rapidement que celle des tiges dans lesquelles les constituants pariétaux augmentent rapidement au détriment des constituants intracellulaires. Il en résulte que :

- la teneur en azote varie comme la proportion de feuilles ou de limbes. Il en est de même de la teneur en minéraux, vitamines et lipides, mais non en glucides solubles, du moins chez les graminées chez lesquelles ils sont constitués en fructosanes qui s'accumulent de préférence à la base des tiges.

### **I.2.9. 2. Digestibilité des aliments concentrés et les sous-produits riches**

Les aliments concentrés et les sous-produits très digestibles ne peuvent généralement pas être distribués seuls aux animaux car ils n'induisent pas une sécrétion salivaire suffisante, ils fermentent trop rapidement dans rumen et ne contiennent pas suffisamment fibres pour le bon fonctionnement du rumen. Ils doivent être associés à un fourrage, généralement à un foin.

## I.2.10. Calcul de la valeur énergétique et azotée

### I.2.10.1 Valeur énergétique

#### I.2.10.1.1. Energie brute fourrages et concentrés

Pour les fourrages à l'état frais ou sec, l'énergie brute a été estimée à partir de la liaison étroite observée entre la teneur en énergie brute déterminée à la bombe calorimétrique (Y en Kcal/ kg de matière organique de façon à éliminer l'influence de la teneur en cendres) et la teneur en matières azotées (X = N x 6,25 en g par kg de matière organique) pour 166 fourrages d'origine diverse (INRA, 1978 et INRA, 1988):

$$Y = 4\,531 + 1,735 X \pm 38$$

- $\Delta = +82$ ; fourrages verts de luzerne et de prairie permanente de plaine ; foins de prairie permanente de plaine ou de montagne.
- $\Delta = -11$ ; fourrages verts de trèfle violet, de sainfoin, de prairie permanente de montagne ; plantes entières de céréales immatures (maïs, blé, orge, avoine, seigle) ; foins de prairie artificielle ou temporaire (luzerne, ray grass italien...).

A même teneur en azote, l'énergie brute des plantes de céréales, de l'herbe de prairie naturelle, des légumineuses et surtout de la luzerne est supérieure à celle des graminées. Ces différences sont vraisemblablement dues au fait que ces plantes sont plus riches en lipides que les graminées.

Pour les aliments concentrés l'énergie brute a été calculée à partir de la composition chimique à l'aide de la formule et des corrections proposées par Schiemann et al. (1971) rapporté par (INRA, 1978 et INRA, 1988). Les teneurs en énergie brute sont exprimées en Kcal/ kg de matière sèche.

$$EB \text{ Kcal/ Kg MS} = 5.72MAT + 9.50 MG + 4.79CB + 4.17ENA + \Delta$$

Les valeurs de  $\Delta$  sont +31 pour l'orge, - 113 pour la féverole

**Tableau 10 :** quelques exemples suivants montrent la précision de cette méthode d'estimation de l'énergie brute :

Aliments	EB déterminée au calorimètre (Kcal/kg MS)	EB calculée(Kcal/kg MS)	Différence en%	
			Kcal/kg MS	
Orge	4412	4374+31=4405	-7	-0,16
Maïs	4503	4523-8=4515	12	+ 0,27
Avoine	4676	4604+58=4662	-14	-0,3
Pois	4471	4576-113=4463	-8	-0,18
Tourteau de coprah extraction	4307	4443-143=4300	-7	-0,16
Tourteau de soja extraction	4735	4817-94=4723	-12	-0,25
Tourteau d'arachide extration	4687	4868-158=4710	23	0,49

### I.2.10.2. Digestibilité de l'énergie (d.E) et énergie digestible (ED) :

#### I.2.10.2.1. Cas des fourrages,

La digestibilité de la matière organique (d MO) avait été mesurée mais non celle de l'énergie (d E). Cette dernière a été estimée à partir de la digestibilité de la matière organique à l'aide de la relation établie par (INRA, 1978 et INRA, 1988) sur 81, échantillons de fourrages (59 fourrages verts de graminées et légumineuses, 17 foins de prairies permanentes, de graminées et de luzerne et 5 pailles) :

$$R = 0,996 \quad n = 81$$

$$d E = 1,0087 d MO - 0,0377 \pm 0,007$$

La teneur en énergie digestible (ED en Kcal/kg de matière sèche

$$ED = EB (1,0087 d MO - 0,0377).$$

Il est possible de prévoir la digestibilité et la valeur énergétique du foin à partir de sa composition chimique grâce aux abaques présentés à la fin de l'ouvrage (INRA, 1978) pour un certain nombre de foins.)

➤ Préviation à partir de la composition chimique

CBØ = Teneur en cellulose brute

MATØ = Teneur en matières azotées

dMO = Digestibilité de la matière organique

UFLØ = UFL par kg de matière organique

UFVØ = UFV par kg de matière organique

En g par kg de matière organique

### 📖 Teneurs en matières azotées et en cellulose brute

Pour CBØ =	moyenne	minimum	maximum
	304	190	400

Les équations de prévision sont les suivantes :

$$dMO = 0,516 + 0,001007 MATØ - 0,00000085 CBØ^2$$

$$= 0,485 + 0,001007 MATØ + \Delta(dMO)$$

$$\text{avec } \Delta(dMO) = 0,031 - 0,00000085 CBØ^2 ; SR = \pm 0,03 ; R = 0,877$$

$$UFLØ = 0,632 + 0,001911 MATØ - 0,00000188 CBØ^2$$

$$= 0,564 + 0,001911 MATØ + \Delta(UFLØ)$$

$$\text{avec } \Delta(UFLØ) = 0,068 - 0,00000188 CBØ^2 ; SR = \pm 0,06 ; R = 0,882$$

$$UFVØ = 0,519 + 0,002168 MATØ - 0,00000219 CBØ^2$$

$$= 0,440 + 0,002168 MATØ + \Delta(UFVØ)$$

$$\text{avec } \Delta(UFVØ) = 0,079 - 0,00000219 CBØ^2 ; SR = \pm 0,07 ; R = 0,87$$

#### I.2.10.2.2. Cas des aliments concentrés

On a adopté des relations tirées des travaux de Nehring et al. (1963), rapporté par (INRA, 1978 et INRA, 1988)

– céréales :  $d E = d MO - 0,013$

– tourteaux :  $d E = d MO - 0,020$

– autres aliments :  $d E = d MO - 0,015$ .

Equations de prévision de la digestibilité de la matière organique des aliments concentrés à partir de teneurs en constituants pariétaux (INRA, 1978 et 1988 )

**Céréales :**

$$\text{DMO} = 91,7 - 1,48 \text{ CB} \quad (\text{N} = 5, \text{R} = 0,95, \text{S}_R = 2,11)$$

**Légumineuses :**

$$\text{DMO} = 89,7 - 0,21 \text{ CB} \quad (\text{N} = 4, \text{R} = 0,64, \text{S}_R = 2,48)$$

(1) Sigles :

- CB = Cellulose brute (g/KG MS)
- CV = Cellulose vraie (g/KG MS)
- LI = Lignine (g/KG MS)

**I.2.10.3. Energie métabolisable (EM)**

La teneur en énergie métabolisable (en Kcal/kg de matière sèche), résulte du calcul suivant :

$\frac{\text{EM}}{\text{ED}}$  Étant calculé à partir de la relation établie par Vermorel et Bouvier (INRA, 1988)

$$\text{EM} = \text{ED} \times \frac{\text{EM}}{\text{ED}}$$

À savoir :  $\frac{\text{EM}}{\text{ED}} = 0,8286 - 0,0000877 - 0,000174 \text{ MAT} + 0,0243 \text{ NA} \pm 0,0093.$

$$\text{R} = 0,90$$

$$n = 268$$

Dans laquelle CB et MAT sont respectivement les teneurs en cellulose brute et en matières azotées de l'aliment en g/kg de matière sèche et NA le niveau d'alimentation, à savoir:

$$\text{NA} = \frac{\text{Quantité de matière organique digestible ingérée (g/kg P}^{0.75})}{23}$$

23 étant la quantité de matière organique digestible à apporter par kg P<sup>0.75</sup> pour couvrir les besoins énergétiques d'entretien du mouton (INRA, 1988).

Le niveau d'alimentation choisi pour estimer l'EM des aliments est de 1,7 parce qu'il correspond en moyenne à celui observé lors des mesures de digestibilité des fourrages verts sur les moutons et évite d'introduire des corrections pour le niveau d'alimentation des animaux en croissance et à l'engrais.

- fourrages verts : Si le niveau d'alimentation est en moyenne de 1,7 il a varié de 1,1 à 2,7. Cependant, la digestibilité des fourrages verts diminue peu lorsque le niveau d'alimentation augmente (INRA.1978) et cette diminution est entièrement compensée, ou presque, par la réduction des pertes d'énergie sous forme de méthane et dans l'urine lorsque la digestibilité est supérieure à 0,60.
- Foins, pailles, etc. : Les niveaux d'alimentation observés lors des mesures sur les pailles et foins est de 1,7 prise comme référence. Avec ces aliments, notamment ceux ayant la digestibilité la plus faible, la diminution de digestibilité avec l'augmentation du niveau d'alimentation est beaucoup plus importante que pour les fourrages verts (INRA, 1978) et elle n'est pas entièrement compensée par l'augmentation du rapport EM/ED. La teneur en énergie métabolisable des foins de digestibilité médiocre et des pailles diminue donc quand le niveau d'alimentation augmente.

#### I.2.10.4 Energie nette (EN)

L'énergie nette (EN) a été calculée à partir de la teneur en énergie brute (EB) de l'aliment, du coefficient de digestibilité de l'énergie (d E), du rapport entre les teneurs en énergie digestible (ED) et en énergie métabolisable (EM) et du rendement (k) de l'utilisation de l'énergie métabolisable pour la production laitière ou l'ensemble « Entretien + production de viande »

$$EN = EB \times dE \times \frac{EM}{ED} \times k$$

L'énergie nette (EN) est le produit de l'énergie métabolisable par le rendement k

$$EN = EM \times k$$

Le rendement (k) d'utilisation de l'EM dépend de la concentration (q) en énergie métabolisable de l'aliment ou de la ration :  $q = EM/EB$

- **l'énergie nette pour la lactation (ENL) est donc égale à :**

$$ENL \text{ (Mcal/kg MS)} = EM - (\text{Mcal/kg MS}) \times k_l$$

$$\text{avec } k_l = 0,463 + 0,24 q \text{ d'où } ENL = EM \times (0,463 + 0,24 q).$$

La valeur énergétique des aliments donnée est exprimée en unité fourragère lait (UFL) obtenue en divisant leur teneur en ENL par 1.700, teneur en ENL de l'orge de référence :

$$UFL = ENL/1700$$

Cette valeur est donnée à la fois par kg de matière sèche .

- **l'énergie nette pour l'entretien et la production de viande** (ENEV) est calculée pour un niveau de production 1,5 :

$$\text{ENEV (Mcal/kg MS)} = \text{EM (Mcal/kg MS)} \times \text{kmf } 1,5$$

$$\text{kmf} = \frac{\text{km} \times \text{kf} \times \text{NP}}{\text{kf} \times \text{km}(\text{NP} - 1)}$$

$$\text{UFV} = \text{ENEV}/1800$$

### .I.2.10.5 Valeur azotée

#### I.2.10.5.1. La teneur en matières azotées apparemment digestibles (MAD)

MAD (g/kg MS) = MAT X digestibilité apparente des matières azotées.

La teneur en matières azotées digestibles (M AD) d'un aliment peut être estimée à partir de sa teneur en matières azotées totales (MAT) par l'équation :

$$\text{MAD (en g/ kg MO)} = 0,914 \text{ MAT (en g/ kg MO)} - 22,3 \text{ (n = 61, r = 0,997, CV = 4,49\%)}$$

La précision de cette équation est satisfaisante comme l'indiquent les valeurs des coefficients de corrélation et de variation résiduelle. L'application de cette équation à des mélanges de matières premières fournit, comme dans le cas de l'énergie, des résultats plus précis ; ainsi le coefficient de variation résiduel n'est plus que de 3, 1 % pour les 40 aliments composés précédemment cités.

Une estimation légèrement plus précise peut être obtenue en tenant compte de la teneur en cellulose brute de l'aliment :

$$\text{MAD (en g/kg MO)} = 0,917 \text{ MAT (en g/kg MO)} - 0,0055 \text{ CB (en g/kg MO)} - 17,6$$

$$\text{(n = 61, R = 0,998, CV = 4,36 \%)}.$$

## I.2.10.6 Expression de l'ingestibilité et valeur d'encombrement

### I.2.10.6.1. Principe

Le fourrage choisi pour avoir une VEF de 1 est l'herbe jeune, exploitée au stade « pâturage » ; elle a une digestibilité de la matière organique d'environ 0,80 et elle est ingérée à raison de 75g de matière sèche / kg P<sup>0.75</sup> par le mouton "standard" ; lorsqu'on lui ajoute une quantité limitée d'aliment concentré ( 10 %), le taux de substitution fourrage / concentré est de 1 pour 1 sur la base de la matière sèche.

La VEF d'un fourrage ou d'un aliment est exprimée par le rapport :

$$VEF = \frac{75}{\text{quantité ingérée par le mouton du fourrage ou de l'aliment en g MS/kg P}^{0.75}}$$

$$VEG = \frac{90}{\text{quantité ingérée par la genisse du fourrage ou de l'aliment en g MS/kg P}^{0.75}}$$

$$VEL = \frac{140}{\text{quantité ingérée par la vache laitière du fourrage ou de l'aliment en g MS/kg P}^{0.75}}$$

L'utilisation des VE des aliments ainsi calculées pour déterminer les capacités d'ingestion des moutons, des genisses et des vaches laitières.

## I.2.11. Métabolismes

### I.2.11.1. Glycolyse

Conduit à l'acide pyruvique avec un carrefour important constitué par les trioses phosphates qui sont les précurseurs du glycérol lui-même à la base de la synthèse des lipides corporels. Le Cycle de Krebs, constitue le système qui permet de dégrader les produits terminaux des métabolismes des oses, des acides gras et de nombreux acides aminés en permettant la production de la plus grande partie de l'énergie dont les cellules ont besoin. Comme la glycolyse, il fournit de l'énergie. De par son rôle le glucose fournit :

- L'énergie aux cellules nerveuses, aux cellules des muscles lisses et des globules rouges
- une grande partie (30 à 40 %) de l'énergie nécessaire au fonctionnement de la mamelle.
- Il est le précurseur obligatoire du lactose,
- Il peut aussi servir à la synthèse du glycérol et des acides gras, donc des triglycérides corporels,
- Il est le substrat énergétique essentiel et le principal précurseur des lipides chez le fœtus. (ITEB -INRAP, 1984).
- L'origine du glucose entrant dans le métabolisme est double chez le ruminant :
- L'absorption intestinale du glucose est limitée à 15 % du total.
- La fourniture des 85 % restants est assurée par principalement dans le foie par une synthèse appelée la néo-glucogénèse hépatique et à un moindre degré la néo-glucogénèse (la NGG) rénale, à partir de substances glucoformatrices ; (Preston et al. 1987).

**Tableau n° 11** : Normes physiologiques de la glycémie chez le mouton

	glycémie ( mg/dl)	références
Normes établies au foin	40.7 ± 7.1	Haddad., 1981
Normes bibliographiques	61 ± 10 (brebis)	Smith et al., 1978 (a)
	49 ± 1.8 (adulte)	Tollesrud et al., 1971(a)
	72.5 ± 3.25	Yakup et al., 1999
	55 ± 5	Ndoutamia et Ganda, 2005

(a) cités par Haddad 1981

**I.2.11.1.1. Facteurs de variations de la glycémie**

Des variations peuvent exister :

- Entre les troupeaux de bovins et d'ovins
- L'âge : la glycémie diminue chez l'agneau dès la deuxième semaine et se stabilise au niveau de l'adulte aux environs de quatre mois.
- La saison : le taux augmente en mai et en novembre.
- Chez les femelles ruminants dans les heures qui suivent le vêlage, la glycémie peut atteindre 2 g/l sous l'action des catécholamines (Sauvant, 1980 cité par Haddad, 1981).
- La concentration du glucose sanguin est diminuée en fin de gestation, à la suite de l'utilisation du glucose par l'utérus (Rémond et al., 1996 )
- La concentration du glucose sanguin est minimale au début de la lactation et augmente ensuite chez les vaches laitières.
- Chez la brebis, il a été noté un accroissement rapide de la glycémie juste après le part.(Scott et al,1976 cités par Haddad. 1981)
- L'hypoglycémie de nutrition a pour effet de provoquer des anoestrus et d'augmenter l'incidence d'acétonémie et d'infertilité (Payne et al., 1974 , cité par Haddad 1981).

**I.2.11.2. Métabolisme des lipides**

Au niveau des tissus, il existe simultanément deux phénomènes antagonistes , la lipogénèse ou synthèse des lipides corporels , et la lipolyse ou destruction des lipides corporels . Les acides gras des lipides sont absorbés au niveau de l'intestin grêle sous forme de micelles contenant des lyso-lécithines biliaires ; une partie de l'acide stéarique est désaturée en acide oléique dans l'épithélium intestinal (cités par INRA 1978 , Remesy et al., 1984 ). Les acides gras absorbés sont estérifiés en triglycérides , transportés par la lymphe et déversés dans le sang sous forme de chylomicrons utilisés par les tissus adipeux et la glande mammaire (Aurosseau. 1981).

Une grande partie des lipides est représentée par les triglycérides , le cholestérol , les phospho-lipides et les acides gras estérifiés .Ces fractions sont combinés aux protéides pour former les lipoprotéines. L'autre partie se compose des acides gras non estérifiés qui proviennent de l'hydrolyse du tissu adipeux. Le taux des lipides du sang dépend

essentiellement de la composition des aliments, il y aurait une augmentation de la teneur des lipides sanguins après l'absorption d'un repas riche en graisses.(Haddad 1981)

**Tableau 12:** Normes physiologiques de la lipémie chez le mouton

	lipémie (g/dl)	références
Normes établies au foin	1.79 ± 0.43	Haddad O, 1981
Normes bibliographiques	2.00 2 – 2.5	Sylvie et al., 1982 Sutton, 1992

### I 2.11.2.1. Facteurs de variations de la lipémie

La lipémie dépend :

- De l'âge et du sexe : selon Vermorel (1981) , les femelles sont plus précoces que les males castrés et plus encore que les males entiers dans le développement du tissu adipeux
- Les productions ( la gestation et la lactation ) semblent avoir une influence importante . Chez les vaches laitières , on observe une teneur plus élevée en lipides que chez les autres types de vaches (allaitantes ou tariées). La quantité des acides gras prélevés dans le courant sanguin peut s'accroître quand les lipides circulants augmentent en particulier lors de mobilisation des réserves énergétiques en début de lactation . Cette augmentation porte sur les acides gras non estérifiés [(Enjalbert, 1994 ;; Sauvant et al., 1978 ; Haddad, 1981).

### I 2.11.2.2. Triglycérides

Dans les cellules intestinales, la majorité des acides gras sont unis au glycérol (provenant du sang) pour former des triglycérides. Ces triglycérides, certains acides gras libres, le cholestérol et d'autres substances lipidiques sont couvertes d'une protéine pour former les lipoprotéines riches en triglycérides (LP-TG), aussi appelées chylomicrons ou lipoprotéines de très faible densité. Les lipoprotéines riches en triglycérides sont absorbées dans les vaisseaux lymphatiques. Ils rejoignent la circulation générale au niveau de la jonction thoracique (la jonction entre le système lymphatique et le système sanguin). Contrairement à la plupart des autres nutriments, les lipides entrent dans la circulation sanguine générale et sont utilisés par les tissus du corps sans être d'abord métabolisés par le foie.

En cas de sous alimentation sévère , un des phénomènes essentiels est constitué par la dégénérescence grasseuse du foie , le contenu lipidique total du foie double , le taux des triglycérides augmente vingt fois, celui du cholestérol estérifié huit fois et celui des acides

gras libres trois fois. Le foie est incapable d'augmenter la sécrétion de lipoprotéines capables de transporter cette graisse en dehors du foie (lipotropie).

### I 2.11.2.3 Cholestérol

Dans le sang, le cholestérol est toujours lié à une protéine et à une ou plusieurs molécules de phospho-lipides formant la lipoprotéine. Il se présente sous deux formes estérifiée (70 %) et non estérifiée (30 %). Il a une double origine ; alimentaire et endogène. Il est surtout synthétisé dans le foie et également dans l'intestin, les surrénales, les testicules, les ovaires, la peau et le système nerveux (Haddad. 1981, Sommer H. 1984).

**Tableau 13** : Normes physiologiques de la cholestérolémie chez le mouton

	cholestérolémie ( mg/dl)	références
Normes établies au foin	46.5 ± 9.1	Haddad 1981
Normes bibliographiques	57 ± 8 (brebis)	Smith et al., 1978 (a)
	63 ± 8.2 (adulte)	Popof 1979 (a)
	60 à 150	Sommer, 1984 (b)
	65 à 116	Ndoutamia et Ganda, 2005

a : cités par Haddad (1981)

b : cité par Schmid et al. (1986)

### I 2.11.3. Métabolisme des substances azotées

#### I 2.11.3.1. Protéines totales et albumine

Les protéines fournissent les acides aminés nécessaires pour le maintien des fonctions vitales, la croissance, la reproduction et la lactation. Les animaux non-ruminants ont besoin d'acides aminés préformés dans leur ration. Par contre, grâce aux microbes présents dans le rumen, les ruminants possèdent la capacité de synthétiser les acides aminés à partir d'azote non-protéique (ANP). Des sources d'ANP telles que l'ammoniac ou l'urée peuvent donc être utilisées dans leur ration. De plus, les ruminants possèdent un mécanisme pour conserver l'azote lorsque leur ration est déficiente en azote. L'urée est le produit final du métabolisme des protéines dans le corps et elle est normalement sécrétée dans les urines. Cependant, en cas

de déficit azoté, l'urée retourne de préférence dans le rumen où les bactéries peuvent en faire usage (Payne, 1983 ; Ndibualonji et al., 1997) .

L'albumine est synthétisée dans le foie, elle est formée d'une seule chaîne comportant 610 acides aminés. Elle sert comme molécule de transport pour la bilirubine, les acides gras, les éléments à l'état de trace et plusieurs drogues. Certains de ses sites de liaison sont hautement spécifiques et saturables alors que d'autres le sont beaucoup moins (Kolb, 1975). Ce sont les sérums-albumines qui jouent le rôle principal dans le maintien de la pression oncotique du plasma car elles ont un poids moléculaire plus faible que celui des globulines. La teneur globale en protéines du sérum est en relation avec celle du secteur hydrique, aussi le taux de protéines sériques semble augmenter ou à l'inverse diminuer en cas de déshydratation ou d'hyperhydratation. La teneur en albumine du sérum diminue chez les vaches laitières à la période du vêlage et ne retrouve sa valeur du départ que progressivement au cours des trois mois suivants (corrélation directe avec la lactation) .

**Tableau 14 :** Normes physiologiques de l'albuminémie Chez le mouton.

P'albumine	Albumine ( g/dl)	références
Normes établies au foin	3.25 ± 0.59	Haddad,1981
Normes bibliographiques	4.10 ± 0.6	Smith et al., 1978 (a)
	3.90 ± 0.72	Healy et al., 1974 (a)
	3.70 ± 3.5	Sylvie et al., 1982
	3.50 ± 0.18	Yakup et al., 1999
	2.4 à 3	Brugère – Picoux 2002

**Tableau 15:** Normes physiologiques de l'urée sanguine chez le mouton

	Urémie (mg/dl)	Références
Normes établies au foin	43 ± 8	Haddad. O ,1981
Normes bibliographiques	28 ± 4	Smith et al., ,1978(a)
	36.2 ± 10.5	Popof .M ,1979 (a)
	20 -30	Brugère-Picoux ,2002

(a) cités par Haddad (1981)

**I 2.12. Développement durable**

En Algérie, l'intensification des systèmes d'élevage apparaît comme un objectif incontournable, compte tenu de l'insuffisance de l'offre en produits animaux sur le marché. Mais, cette intensification est-elle conciliable avec un développement durable ?

Quelles que soient leurs caractéristiques propres, on peut admettre avec Gibbon (1981) que leur fonctionnement relève du type d'ajustement « ... de deux cycles principaux : le cycle de l'offre en fourrage, et le cycle de la demande en fourrage, dépendant de l'importance du cheptel, des calendriers de reproduction, des types de produits, des bâtiments d'élevage et des achats d'animaux éventuels ».

La comparaison entre les besoins et l'offre en fourrages permet de constater l'existence d'un énorme déficit que l'on peut considérer aujourd'hui comme une menace pour la durabilité des systèmes d'élevage en Algérie. La problématique du développement durable des systèmes d'élevage en Algérie s'inscrit donc dans le mode de résolution de la question de l'écart grandissant entre offre fourragère et besoins d'un cheptel animal croissant. On peut, cependant, montrer que les activités d'élevage, au lieu d'être vecteurs d'une dégradation de l'environnement, peuvent devenir les activités pilotes d'une reconstruction des paysages et des territoires sous réserve de l'adoption d'une approche intégrée, d'une modification en profondeur des pratiques d'élevage.

**I 2.12.1. Qu'est-ce que le développement durable des systèmes d'élevage ?**

Selon le rapport de la commission mondiale « Environnement et Développement » (ONU, 1987), "Le développement durable est celui qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs".

Si l'on appliquait cette définition, largement admise, aux systèmes d'élevage, on devrait en déduire que le développement durable des productions animales s'organise autour de trois axes fondamentaux :

- la croissance continue et suffisante de la production afin de faire face aux besoins exprimés par le marché. Cette croissance reposera essentiellement sur la nature et la qualité des initiatives et des choix opérés par les éleveurs eux-mêmes.
- l'utilisation raisonnée des ressources naturelles afin d'assurer leur préservation pour garantir la poursuite de la croissance dans le futur. Cette option renvoie à des choix de nature politique et éthique qui supposent un consensus de l'ensemble de la collectivité.

- la protection de l'environnement contre les impacts négatifs occasionnés par la croissance de la production ce qui constitue un choix impérieux pour la survie de l'ensemble de l'humanité.

### **I.2.12.2. Les potentialités inégales d'écosystèmes et pratique de l'éleveur**

De par leurs superficies et conditions naturelles respectives, le Tell, les Hauts Plateaux, l'espace steppique et le Sahara offrent des potentialités et des ressources naturelles très inégales et des vulnérabilités spécifiques. Privilégiée au plan climatique, la frange tellienne qui n'occupe que 4% du territoire national, se trouve confrontée à la limitation de ses plaines.

Les Hauts Plateaux qui s'étendent sur 9% du territoire national, constituent l'ensemble le plus défavorisé en termes de ressources hydriques, alors qu'ils disposent avec 5 millions d'hectares, des deux tiers (66%) de la SAU du pays. Une forte proportion de jachère et de faibles rendements agricoles caractérisent ainsi l'agriculture des Hauts Plateaux dont l'essentiel des superficies appartient au domaine steppique du fait de l'aridité.

Le recours à la complémentation sous forme d'aliments concentrés est la solution la plus couramment pratiquée. C'est ainsi qu'aujourd'hui la quasi-totalité de la production d'orge est destinée aux cheptels ce qui explique l'effort constant d'extension des superficies ensemencées, y compris dans les zones les plus méridionales du pays, les moins propices à la culture de cette céréale.

## **CONCLUSION**

La problématique du développement durable des systèmes d'élevage en Algérie s'inscrit dans le mode de résolution de la question de l'écart grandissant entre offre fourragère et besoins d'un cheptel animal croissant. L'hypothèse que l'on peut formuler est que les activités d'élevage, au lieu d'être vecteurs d'une dégradation de l'environnement, peuvent devenir les activités pilotes d'une reconstruction des paysages et des territoires sous réserve de l'adoption d'une approche intégrée, d'une modification en profondeur des pratiques d'élevage et d'une réelle insertion de la production fourragère dans les systèmes de production. Il est clair que la nouvelle démarche ne peut être le fait des seuls éleveurs. Il est clair également que les pouvoirs publics doivent avec des moyens et des mécanismes qui restent à mettre au point, accompagner les éleveurs dans cet effort de modernisation de leurs pratiques et contribuer à la réalisation des grands travaux nécessaires à la réhabilitation de l'environnement là où il est le plus fortement dégradé.

Les principales conclusions sont les suivantes :

- Les disponibilités fourragères en Algérie restent insuffisantes et déficitaires tant par les ressources naturelles que par les aspects production des fourrages et production des aliments du bétail. Cet état de fait s'implique par l'impact sur la dégradation des milieux naturels fragilisés par une surexploitation à l'image des parcours steppique, mais surtout par l'effet pervers des recours massifs aux importations des aliments du bétail.
- L'absence d'une évaluation sérieuse des ressources fourragères en Algérie sur le plan de la diversité, des quantités produites et surtout de leurs valeurs alimentaires. L'absence de technicité et surtout de l'application d'itinéraires techniques en matière d'alimentation des cheptels se confirment par le recours à des rations déséquilibrées, basées essentiellement sur les aliments concentrés au détriment des fourrages grossiers.

**En conclusion :** Il en ressort qu'en matière d'élevage, les systèmes le plus productifs sont basés essentiellement sur les recours abusifs en aliments concentrés. Situation qui conduit à plusieurs effets négatifs tant sur les plans économiques, techniques et de santé animale et même de santé publique. Dans un souci de développement durable nous recommandons la préservation des bioressources naturelles locales et nous insistons sur la mise en place d'une politique nationale de recherche agronomique, afin de permettre l'inventaire et la caractérisation des ressources phytogénétiques locales et animales du pays.

Deuxième partie :  
Expérimentations et résultats

## Deuxième partie : Expérimentations et résultats

### II. Matériels et méthodes

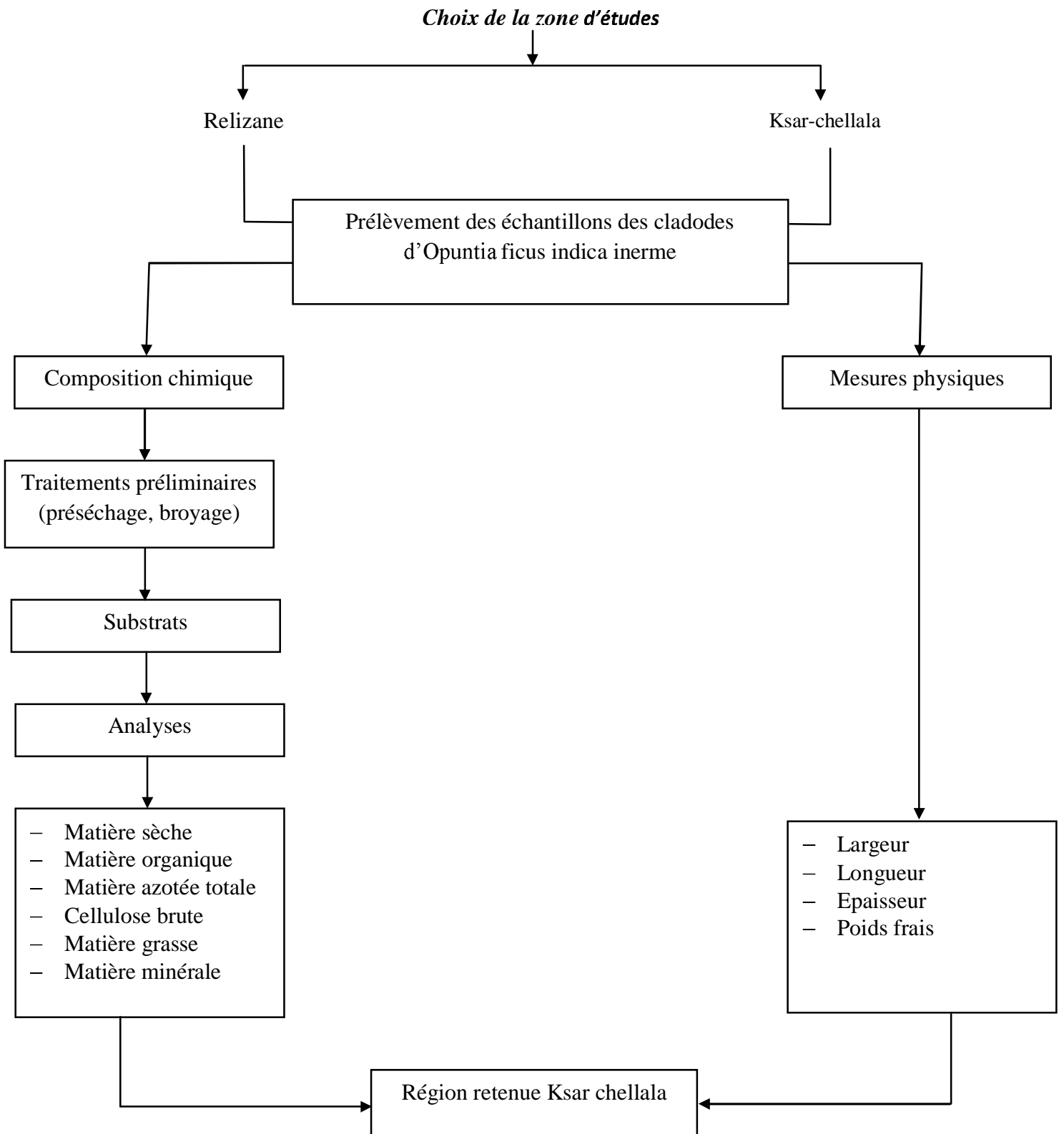
#### II.1 Choix de la région

Au départ 2 régions, étaient proposées à l'étude : les régions de Relizane et de Ksar chellala. Mais au vue des contraintes de logistiques notamment de transport et de récolte d'échantillons et surtout au vue des analyses préliminaires effectuées sur les 2 régions et bien que les caractéristiques biométriques des cladodes jeunes de Relizane étaient plus intéressantes que celles de Ksar chellala.

En revanche, sur le plan caractérisation chimique, la cladode inerme jeune de Ksar chellala s'avère plus conséquente sur le plan dosage de la matière azotée totale 6.03% de la MS contre 3.48% retrouvé à Relizane et que ce taux est influencé par le type de sols où se développe le végétal, parce que, les échantillons des sols prélevés de la région de Ksar chellala, appartenaient à la classe des sols d'apports alluviaux typiques. Cette région est marquée par la présence de quelques dépôts alluvionnaires qui tapissent les fonds d'oueds temporaires. C'est le cas de la ferme privée de Mr Triki où nous avons retrouvé ce taux de 6.03% de la MS. Or le facteur limitant des cladodes est la matière azotée totale. La région de Ksar Chellala est une zone steppique, où l'élevage extensif et transhumant est pratiqué.

Cette activité se trouve limitée par des conditions climatiques et socio-économiques contraignantes. Notre choix est tout simplement justifié par :

- Le rôle économique et social que peut jouer ce type d'introduction d'espèce phylogénétique locale pour la population de cette zone non seulement pour l'élevage mais dans l'option de développement durable de cette région.
- Il faut dire que les disponibilités fourragères en Algérie restent insuffisantes et déficitaires tant par les ressources naturelles que par les aspects de production fourragère et de production en aliments du bétail. Cet état de fait est impliqué sur la dégradation des milieux naturels, fragilisés, par une surexploitation, à l'image des parcours steppiques, mais surtout par l'effet pervers des recours massifs aux importations d'aliment du bétail.

**Figure 1: Choix de la région**

## II.2. Monographie de la région

### II.2 .1. Situation géographique

Elle est située au cœur de la steppe centrale de l'Algérie, précisément dans le sud-est de la wilaya de Tiaret, distante du chef lieu de 116Kms. Elle est limitée par : Tissemsilt au nord, Aflou au sud, Ain-oussera à l'est, et Frenda à l'ouest, de longitude : 02°19'08'' E, et de latitude : 35°12'43'' N. Le djebel Benahmed, revêt, la plus haute altitude, soit 800m, où l'on découvre une végétation à base d'alfa, d'armoïse et d'atriplex, facteurs qui ont mené à une économie basée sur des activités d'élevage ovins, caprins notamment, ce qui a permis à cette zone, d'être dans le passé, un grand couloir d'élevage et de passage des transhumants.

### II.2 .2. Les sols

Les sols qui affleurent cette région, sont de formation miocène, constituée d'argile sableuse, de poudings et conglomérat partiellement couverts de végétation. Nous notons également la présence de quelques dépôts alluvionnaires qui tapissent les fonds d'oueds temporaires.

### II.2 .3. Données climatologiques

#### II.2.3.1. pluviométrie

La région de Ksar-chellala est marquée par une pluviométrie très faible et mal répartie dans le temps. Elle varie entre 5.7 et 38.9 mm durant l'année. Les fortes précipitations sont marquées durant les mois de Mai, Septembre et Octobre Comme le montre le tableau 1 de la période (2000-2008).

**Tableau 1** : Pluviométrie moyenne mensuelles et annuelles, période (2000-2008), Ksar-chellala (O.N.M, 2009)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	année
Pluviométrie (mm)	18	19.7	13.8	21.3	32.0	9.5	5.7	9.2	37.5	38.9	23.3	24.5	253.4

### II.2.3.2. température

Cette région se caractérise par une amplitude thermique de 40.22 °c, la valeur moyenne la plus basse est enregistrée au mois de Janvier : 2.2°c, et la plus élevée au mois de Juillet : 42.22°c. Les mois les plus chauds sont les mois de Juillet et Aout, par contre les mois de décembre, janvier et Février sont considérés comme les mois les plus froids comme le montre le tableau2

**Tableau 2 :** Températures moyennes mensuelles, période (2000-2008) Ksar-chellala (O.N.M, 2009)

T (C°)	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
T max	15.22	16.6	21.24	24.67	30.22	37.78	42.22	40.64	33.31	27.86	18.77	13.67
T min	2.2	3.5	6.6	9.1	13.2	13.2	18.4	21.6	16.8	13.2	6.7	3.8
T moy	7.2	8.9	12.8	15.6	20.2	26.1	29.8	28.7	23.2	18.9	11.2	8.4

### II.2.4. synthèse climatique

#### II.2.4.1. Quotient pluviométrique d'Emberger

Les conditions climatiques d'une région sont synthétisées par la valeur du quotient pluviométrique d'Emberger. Ce quotient est déterminé par la relation suivante :

$$Q = 3.43x \frac{P}{M - m}$$

**P** : précipitation annuelle en mm.

**M-m** : amplitude thermique.

**M** : moyenne des maxima du mois le plus chaud.

**m** : moyenne des minima du mois le plus froid.

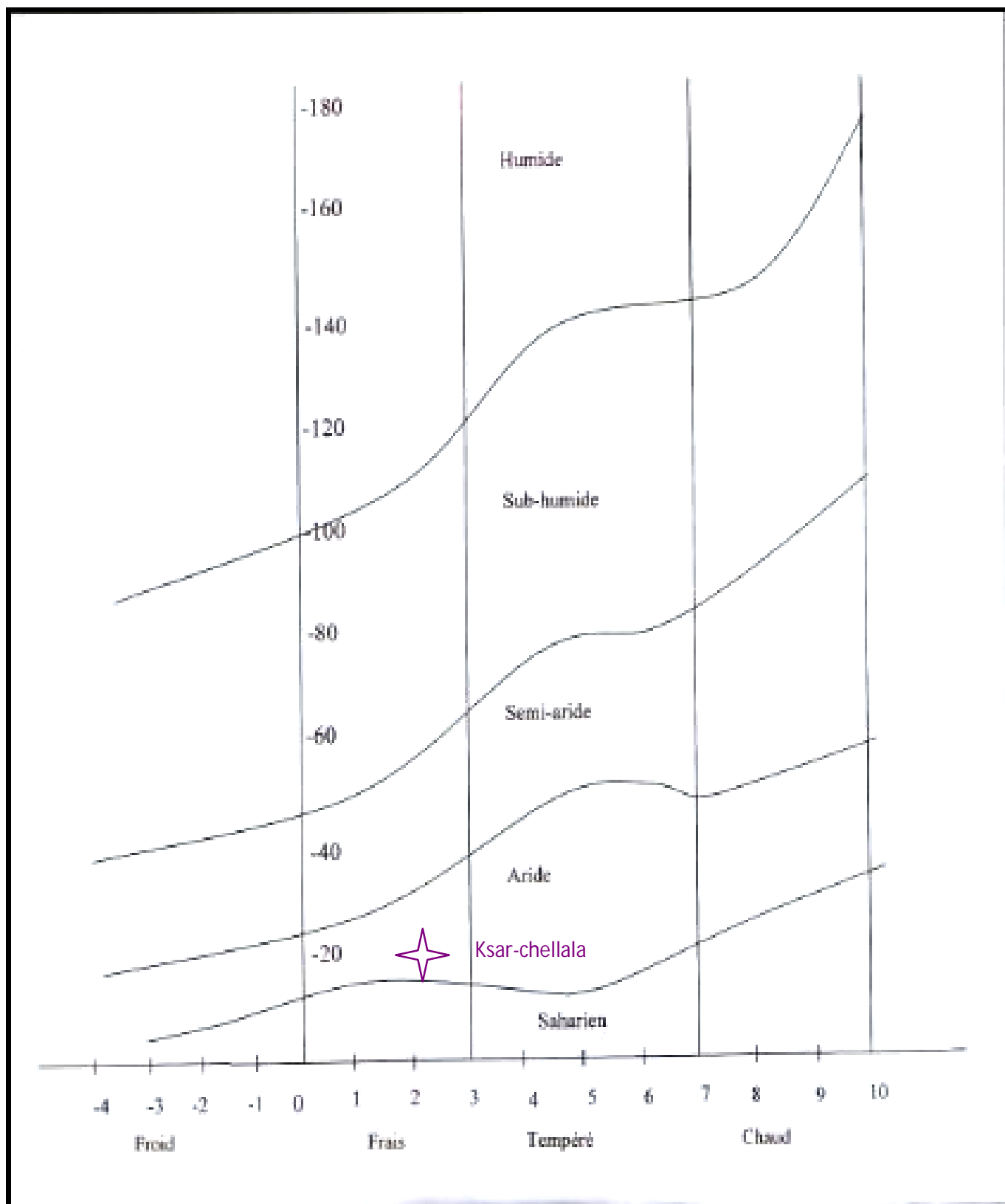
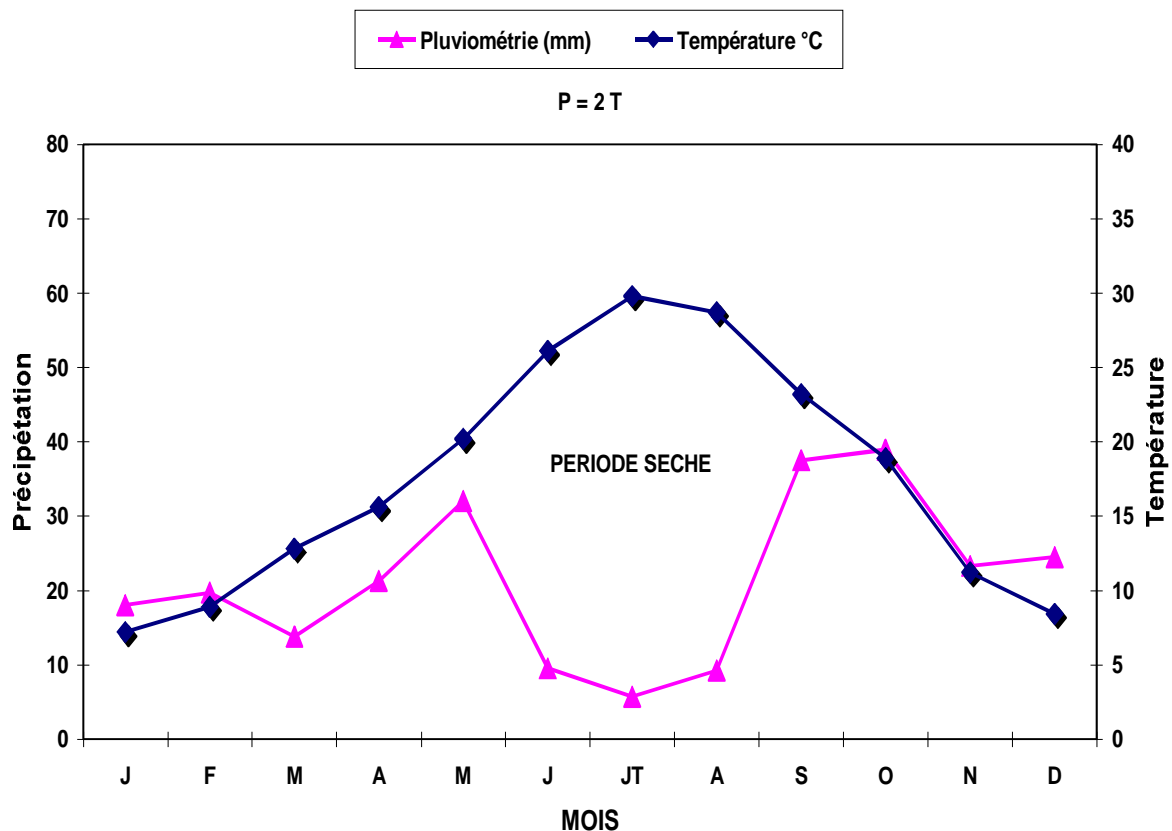


Figure 2 : Climagramme d'EMBERGER

Ce quotient est égale 21.71 ce qui situe cette région à l'étage aride à hiver frais (figure n° 2)



**Figure 3:** Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (2000-2008).

L'observation de ce diagramme montre que le climat de la région se caractérise par deux périodes bien distinctes : l'une froide et humide qui s'étale de mi Novembre jusqu'à fin Février, l'autre chaude et sèche de la fin de mois de Mars jusqu'à mi novembre.

## II.3. Matériels

### II.3.1. Matériel végétal

Dans cette présente étude 4 matières premières ont été analysées en vue de leurs incorporations dans différentes rations de la brebis à l'entretien. Il s'agit de :

- Les cladodes *d'Opuntia ficus indica*, inerme, d'1 an d'âge, proviennent toujours de la région de Ksar-Chellala (wilaya de Tiaret) région de parcours steppique située à 116 Km du chef lieu de la wilaya. Les prélèvements en étaient réalisés durant le mois d'avril 2009, au stade début floraison, et , conservés à  $-5^{\circ}\text{C}$  .

- La paille d'orge : Sous produit local de la ferme expérimentale de l'université de Tiaret. C'est un aliment de lest, sa valeur alimentaire est faible, à l'exception de la paille d'avoine qui est riche en azote (Lamand, 1986,). La digestibilité de la matière organique des pailles d'orge est en moyenne de 40-42 p.100, mais elle peut varier de 32 à 50 p.100 (Dulphy, 1987).

- L'orge en grains : produit local de la ferme expérimentale, considéré comme un aliment riche en énergie et pauvre en azote, il constitue la base des mélanges des aliments concentrés. Les glucides représentent environ 80% de la matière sèche des graines et sont constitués essentiellement d'amidon localisé au niveau du caryopse ou il constitue la principale source d'énergie. La cellulose est principalement concentrée dans les glumelles (50 à 60%), les enveloppes du grain et les parois cellulaires de la couche d'aleurone représente 5 à 8% en moyenne de la matière sèche.

- La féverole en grains : produit local de la région, c'est une légumineuse riche en protéines et pauvre en lipides, ce qui en fait un aliment tout à fait intéressant pour la nutrition des animaux. La féverole cultivée en tant que protéagineux est l'espèce *Vicia faba*, et représente une excellente tête de rotation et un très bon précédent pour céréales.

### **II.3.2. Matériel animal**

Seize brebis, de race Rumbi, d'âge moyen, compris entre 4 et 6 ans, d'un poids moyen de 40 kg ± 2, indemne de pathologie parasitaire, d'état corporel de 2 et placées dans des cages de digestibilité réparties en 4 lots. Le précédent régime a été de la paille de blé tendre associée à un complément d'orge en grains, ou de concentré destiné aux bovins.

## II.4. Méthodes

### II.4.1. Analyses végétales

#### II.4.1.1. Mesures physiques des cladodes

Les cladodes prélevées ont été préalablement mesurées afin de connaître leurs biométries à savoir : la longueur, la largeur, l'épaisseur et le poids frais, permettant une identification de leurs caractères physiques, comme l'indique **la photo1**



A : Mesure de la longueur



B : Mesure de la largeur



C : Mesure de l'épaisseur



D : Mesure du poids

#### II.4.1.2. Préparation et conservation des échantillons

L'analyse des constituants de chaque matière première a été faite selon les méthodes conventionnelles :

La teneur en eau a été déterminée par dessiccation des échantillons, jusqu'à obtention d'un poids constant.

Le taux de fibres brutes a été déterminé selon la méthode de Weende.

L'azote total, selon la méthode de Kjeldhal.

La matière grasse brute a été déterminée par un solvant organique : l'hexane selon le dispositif de Soxhlet pendant 9 heures.

La composition chimique des acides gras par chromatographie en phase gazeuse.

NDF et ADF par la méthode décrite par Van soest et al (1991).

Les minéraux (Ca, P, K, et Mg), ont été déterminés par spectrophotométrie à absorption atomique à l'INRA de Rabat (Maroc), pour la cladode d'*Opuntia ficus indica inerme*.

Ces analyses ont été effectuées selon les normes (AFNOR Paris, 1985) et établies par l'INRA. Pour chaque échantillon, quatre répétitions ont été réalisées, les résultats sont rapportés par rapport à la MS en pourcentage ou en gramme.

L'étude des échantillons a comporté trois étapes :

Récolte des échantillons sur terrain et conservation en chambre froide à -5°C pour la cladode, la paille est stockée dans une bâche imperméable à l'eau, l'orge en grains et la féverole dans des sacs et conservés à température ambiante ;

Analyses chimiques des échantillons au laboratoire ;

Traitement des données.

#### **II.4.1.2.1. Echantillonnage et conservations des matières premières**

L'échantillonnage constitue une phase préalable essentielle à l'analyse des aliments de l'étude. L'échantillon analysé doit être représentatif de l'ensemble du stock sur lequel l'information est à rechercher.

Pour cela, l'échantillonnage a été réalisé en plusieurs phases :

Prélèvements d'échantillons répartis de façon régulière dans le volume (selon le schéma en Z pour les cladodes sur une distance de 1 km, et en cône pour les concentrés)

Regroupement et mélange des échantillons primaires et réalisation d'un nouvel échantillon

Prélèvement d'un échantillon, de l'échantillon secondaire, pour l'envoi et le stockage au laboratoire

Stockage : les échantillons sont stockés de manière à ce que leurs caractéristiques restent inchangées entre le moment de l'échantillonnage et celui du dosage proprement dit (échantillon à analyser au laboratoire)

Broyage : le broyage s'est effectué sur l'échantillon secondaire dont la grille a des ouvertures de diamètre compris entre 0.8 et 1mm. Dans le cas de la paille nous avons procédé à un premier broyage grossier (grille de diamètre compris entre 5 et 10mm) suivi d'un broyage fin.

Prise de l'échantillon destinée à l'analyse : le poids de la prise d'essai varie entre 1 et 10 g selon le constituant à analyser. Les échantillons ont été mis dans des boîtes à échantillons et entreposés en un endroit propre et aéré en vue de leurs analyses.

Un échantillonnage est fidèle lorsque l'erreur de l'échantillonnage est peu dispersée autour de la moyenne.

#### II.4.1.2.2. Teneur en matière sèche (MS)

La teneur en MS a été déterminée à partir d'une prise d'essai de 10 grammes, après un séjour de 24 heures à l'étuve à  $103^{\circ} \pm 2^{\circ}$  C, jusqu'à obtention d'un poids constant.

En pesant l'échantillon de matériaux frais  $P_1$  avant de le placer pendant 24 heures dans une étuve chauffée à  $103^{\circ}$ C. Par ce processus, l'eau contenue dans l'aliment s'évapore et il ne reste que la matière sèche. L'échantillon est ensuite à nouveau pesé pour obtenir le poids de la matière sèche  $P_2$ . Le degré de l'humidité est la différence entre le premier et le deuxième poids (Chesworth, Guerin, 1996).

Les résultats sont exprimés par la formule suivante :

$$TE = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$$

$P_1$  : masse initiale en grammes, de la prise d'essai

$P_2$  : masse, en grammes de la prise d'essai sèche.

#### II.4.1.2.3. Détermination des cendres (MM) et de la matière organique (MO)

La teneur en cendres, a été déterminée à partir d'une prise d'essai de 1 gramme de matière sèche, par calcination dans un four à moufle pendant 8 heures à  $550^{\circ}$  C. Les éléments minéraux notamment Ca, Mg et K ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique et le P par spectrophotométrie à absorption moléculaires, comme méthode rapide, fiable et la plus utilisée dans le laboratoire de l'INSID Ksar-chellala et de l'INRA de Rabat(Maroc) La teneur en matière organique est le complément à 100 de la teneur en cendres.

Expression des résultats

$$\%MM = \frac{(P_3 - P_2)}{P_2} \times 100$$

MO = MS – MM

$P_1$  : la tare des creusets.

$P_2$  : masse initiale en grammes, de la prise d'essai.

$P_3$  : masse, en grammes de la prise d'essai et des creusets après calcination.

#### II.4.1.2.4. Détermination de cellulose brute (CB)

La teneur en (CB) des aliments a été déterminée par la méthode conventionnelle de Weende. Les matières cellulosiques constituent le résidu organique obtenue après deux hydrolyses successives : l'une en milieu acide, l'autre en milieu alcalin. Le résidu est lavé, séché, pesé et calciné à 550°C. La perte de poids résultant de la calcination correspond à la cellulose brute de la prise d'essai.

Les résultats sont exprimés par la formule suivante :

$$CB(\%) = \frac{P_1 - P_2}{\text{poids sec de l'échantillon}} \times 100$$

Ou :

$P_1$  : Poids à l'étuvage correspond au poids de la cellulose brute sèche en gramme avant calcination.

$P_2$  : Poids après calcination correspond au poids des cendres de la cellulose brute.

#### II.4.1.2.4. Détermination de la matière grasse (MG)

Les lipides ont la propriété d'être solubles dans un solvant organique, un échantillon de matière sèche est traité à chaud par l'hexane dans l'appareil de Soxhlet. Cet appareillage permet l'extraction aux solvants « en continu » d'espèces chimiques contenues dans une matrice solide. L'échantillon, placé dans une cartouche poreuse à l'intérieur de l'extracteur, est traversé par les vapeurs de solvant. Celles-ci passent du ballon chauffé au tube adducteur puis se condensent dans le réfrigérant. Le condensat s'accumule dans le corps de l'extracteur (figure 4) jusqu'à atteindre le sommet du siphon, entraînant alors le retour du liquide dans le ballon. Au fil des cycles, le solvant s'enrichit en substances extraites jusqu'à épuisement de l'échantillon en substances d'intérêt. Les matières grasses dissoutes peuvent être séparées de l'hexane volatil à l'aide de l'appareil rotavapor et déterminé par simple pesée.

Expression des résultats

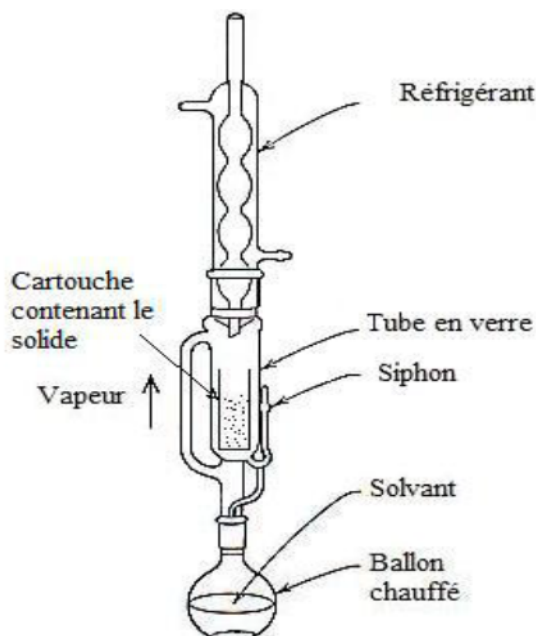
$$\% MG = \frac{(P_2 - P_1)}{P_0} \times 100$$

$P_1$  : la tare en g des ballons

$P_2$  : le poids en g du ballon et de la MG après élimination du solvant

$P_0$  : poids de l'échantillon de départ

Les résultats finaux sont exprimés en (g de MG /100 g MS) (ou g MG/Kg MS).



**Figure 4 :** Schéma d'un extracteur de Soxhlet

#### II.4.1.2.5. Détermination de la composition chimique des acides gras

La composition chimique des acides gras de la raquette a été déterminée, par chromatographie en phase gazeuse, au laboratoire officiel d'analyses et de recherches chimiques (LOARC) de Casablanca (Maroc) ; à l'aide du chromatographe Clarus 580 GC.

C'est une méthode d'analyse par séparation qui s'applique aux composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition.

Cette technique de séparation permet d'effectuer l'individualisation des constituants à partir d'échantillons de l'ordre du milligramme voire du microgramme. La CPG permet une analyse quantitative sur la base de l'aire de chaque pic chromatographique par rapport à l'aire totale des signaux et une analyse qualitative sur la base des temps de rétention.

Les composés à séparer se distribuent entre deux phases, la phase stationnaire contenue dans la colonne va provoquer un phénomène de rétention chromatographique avec les différents composés (appelés *solutés*). Plus le composé a d'affinité avec la phase stationnaire, plus il mettra de temps à sortir de la colonne, et la phase mobile (gaz vecteur) qui est un gaz

inerte le plus souvent l'hélium. La séparation des composés du mélange sera fonction de leur affinité pour la phase stationnaire pouvant avoir différentes polarités et la température appliquée à la colonne, la phase mobile n'ayant quant-à-elle qu'un rôle de transport.

L'injection et la vaporisation des composés se fait dans l'injecteur porté à une température appropriée pour la volatilisation de l'échantillon. Le mélange à analyser est injecté à l'aide d'une micro seringue à travers une pastille appelée septum dans une petite chambre de verre qui se trouve en tête de colonne.

La colonne est placée dans un four qui est un thermostat à bain d'air qui permet soit de fixer la température à une valeur appropriée (isotherme), soit de la programmer en fonction du temps. La détection se fait à l'aide d'un détecteur qui est ici un spectromètre de masse qui permet d'enregistrer des spectres de masse.

L'identification des composés se base sur la comparaison des chromatogrammes des échantillons analysés à ceux de mélanges standards connus, dans notre cas, il s'agit d'une huile d'olives extra vierge. Le temps de rétention des composés et les spectres de masse des composés. Les résultats sont exprimés en pourcentages et en concentrations

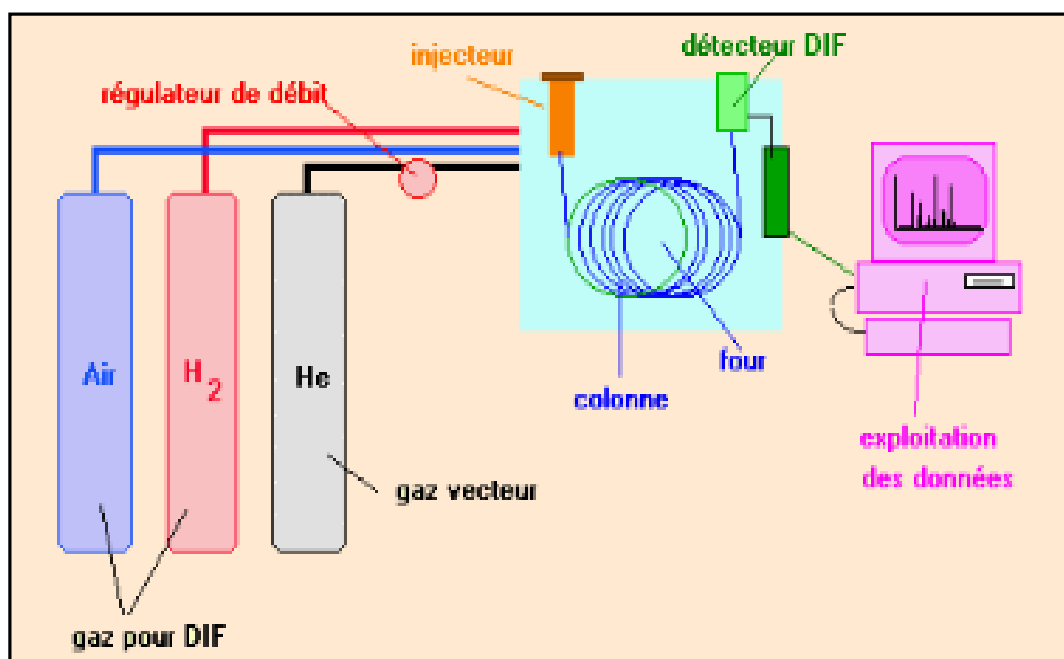


Figure 5 : Principe de chromatographie en phase gazeuse

#### II.4.1.2.6. Détermination de la matière azotée totale (MAT)

L'azote total est dosé par la méthode de KJELDAHL : minéralisation du produit par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur ; l'azote organique est transformé en azote ammoniacal ; on déplace l'ammoniac par la soude et dosage après l'avoir reçu dans une

solution d'acide borique. (Lecoq, 1965). La teneur en matière azotée totale est obtenue en multipliant la teneur en azote totale par le coefficient d'analyse qui est pour les fourrages de 6,25.

#### Expression des résultats :

$$\text{NT : \% azote total} = \frac{m\text{HCl} \times N\text{HCl} \times 1.4007}{p}$$

N : normalité

6,25 : coefficient de conversion de Kjeldahl

#### II.4.1. 2.7. Détermination des fibres neutres, des fibres acides et lignine

L'hydrolyse alcaline, de la méthode de Weende a l'avantage de solubiliser la majeure partie des protéines, mais, a l'inconvénient de dissoudre une fraction variable de la lignine, dont nous connaissons son rôle fondamental dans l'indigestibilité des parois. La méthode de Van Soest utilise des solutions détergentes qui évitent certaines extractions préalables et ses possibilités d'automatisation.

- Les parois cellulaires (NDF : Neutral Détergent Fiber) sont le résidu de l'extraction avec le dodécylsulfate en milieu neutre pendant 1 heure.

- La lignocellulose (ADF : Acid Détergent Fiber) est le résidu de l'hydrolyse pendant 1 heure par H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 0,5 M, associé au détergent cetyltriméthylammonium bromide (CTAB). Le résidu lignocellulosique n'est pas pollué par de l'amidon mais il peut contenir des constituants azotés et des tannins.

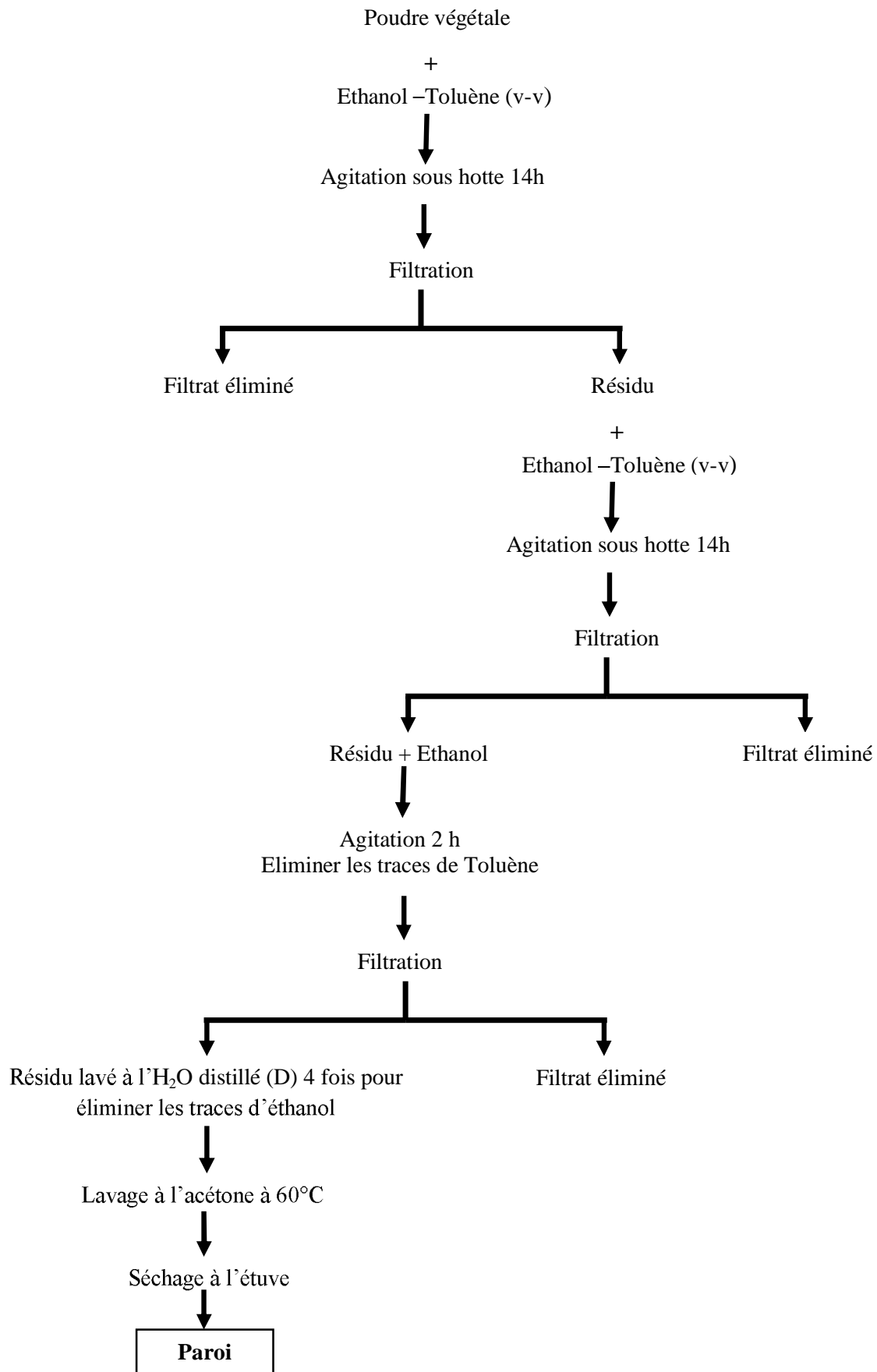
- La lignine (ADL : Acid Détergent Fiber) est le résidu de la destruction par H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, à 72% du résidu lignocellulosique. Ce résidu peut contenir des constituants azotés, des tannins, de la cutine, et de la silice.

Les Parois cellulaires se composent de :

- |                         |   |             |
|-------------------------|---|-------------|
| - Hemicelluloses        | } | = NDF – ADF |
| - Cellulose = ADF – ADL |   | = NDF       |
| - Lignine               |   | = ADL       |
| - Pectines              |   |             |
| - Cendres brutes        |   |             |

**II.4.1.2.8. Détermination des composés pariétaux par voie biochimique**

Dans des études sur la valeur nutritive des aliments, on considère l'ensemble des substances hémicelluloses + pectines sous le terme d'hémicelluloses ou de polysides non celluloses. Mais à des fins thérapeutiques ou cosmétiques, il est nécessaire, de connaître, avec précision, le taux des pectines hautement méthylées (HM) et faiblement méthylées (FM). Seule la voie biochimique peut nous conduire, séparément, aux dosages des hémicelluloses et des pectines. Le protocole de fractionnement des composés pariétaux est illustré par les figures suivantes :



**Figure 6 :** Préparation du résidu pariétal (d'après Harche *et al.* 1991)

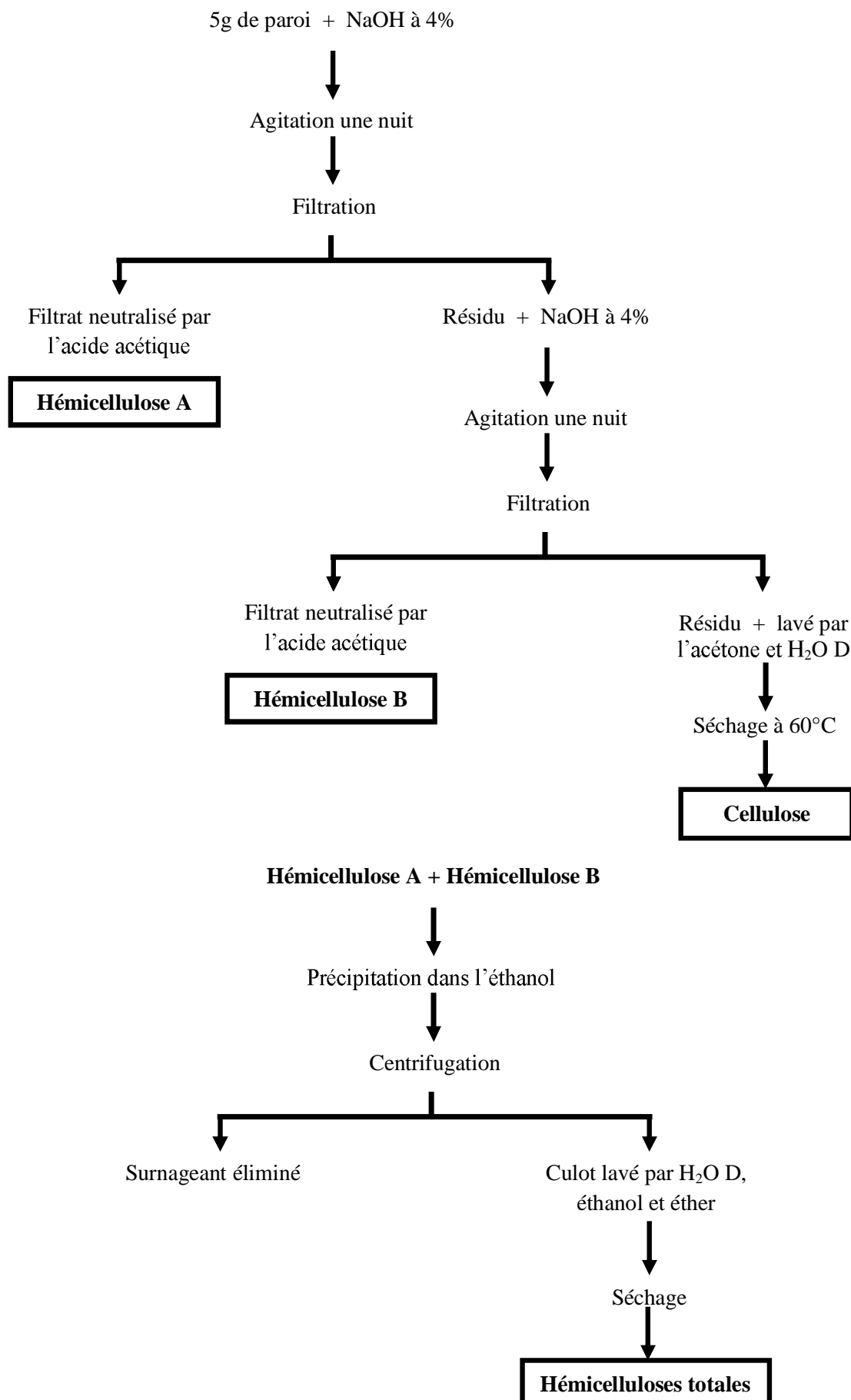


Figure 7: Protocole d'extraction des hémicelluloses (d'après Chanda *et al.* 1950)

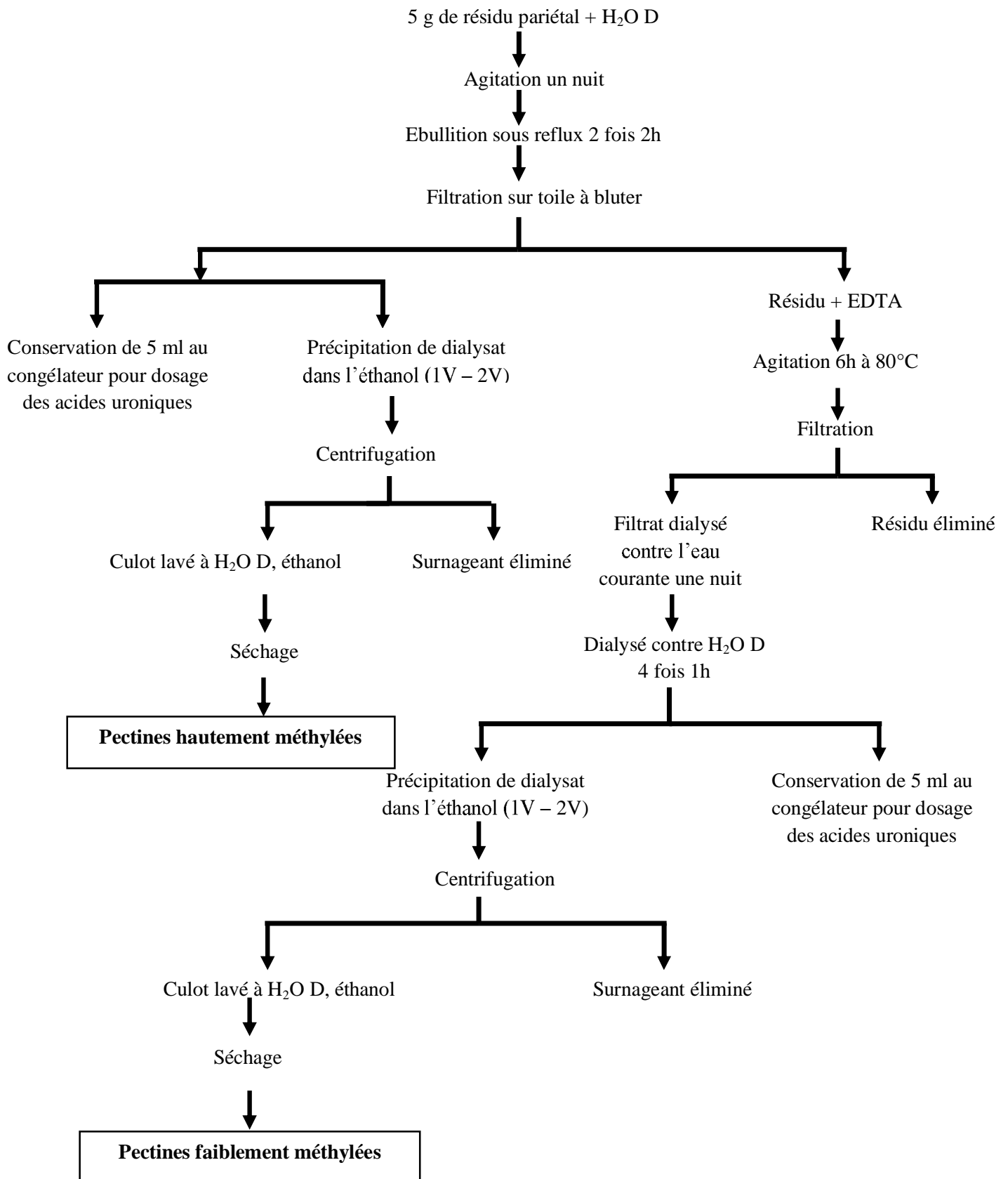


Figure 8 : Protocole d'extraction des pectines (d'après Lamport, 1970 ; Thibault, 1980)

#### **I.4.1.2.9. Détermination des minéraux**

Les éléments minéraux notamment Ca, Mg et K ont été dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique, pour le P par spectrophotométrie à absorption moléculaire, comme méthode rapide, fiable et la plus utilisée dans le laboratoire de l'INSID (Ksar-chellala.) et de l'INRA de Rabat (MAROC).

#### **II.4.1.2.10. Spectrophotométrie d'absorption atomique**

La spectrophotométrie d'absorption atomique est un procédé de dosage quantitatif, principalement destiné à la détermination des faibles teneurs, généralement en suspension ou en solution. Elle repose sur la propriété (loi de Kirchhoff) selon laquelle, un élément métallique, peut absorber les radiations qu'il est lui-même susceptible d'émettre. L'absorption d'une énergie lumineuse par un atome métallique à l'état fondamental le fait passer à un état excité.

Une spectrophotométrie d'absorption atomique est constituée par:

##### **1-Le générateur d'absorption :**

Le plus souvent c'est une lampe à cathode creuse dont la nature varie suivant l'élément à doser. Elle est constituée, d'une cathode cylindrique, recouverte avec l'élément de recherche, d'une tige de métal, appelée encore anode et d'un gaz de remplissage (Néon ou Argon).

##### **2- Une source d'atomisation :**

On utilise habituellement la flamme produite par la combustion d'un mélange (air- acétylène) ou tout autre mélange. L'échantillon, aspiré, à travers un tube capillaire très fin, par de l'air, le comburant et le carburant sont mélangés dans une chambre après le passage dans la tête du brûleur. L'atomiseur permet de pulvériser le mélange contenant l'élément à doser dans la flamme qui dissocie alors les molécules en atomes libres.

##### **3- Un sélecteur de radiation :**

On utilise un monochromateur à prisme (ou réseau), son rôle principal est, la séparation de la ligne de résonance de l'élément recherché, des lignes non absorbables émises par la lampe à cathode creuse.

#### 4- Un dispositif de mesure :

L'énergie lumineuse est alors transformée en tension électrique proportionnelle à l'énergie incidente, et sera amplifiée avant d'être enregistrée automatiquement.

### II.5. Méthodes d'analyses biochimiques sur l'animal (brebis)

#### II.5.1. Prélèvements sanguins

Les prélèvements sanguins ont été réalisés par ponction de la veine jugulaire à 7h du matin (Annexe 3), avant la prise alimentaire, dans des tubes stériles héparinés, puis centrifugés à 3600t /mn, pendant 5 minutes. Les plasmas correspondants ont été conservés dans des microtubes à -30°C Jusqu'à leurs analyses.

Les dosages ont porté sur les constantes biologiques (glucose, urée, cholestérol, triglycérides, albumine) et ce avant introduction de la cladode d'*Opuntia* dans les différents régimes et en fin d'expérimentation. (Après introduction de la cladode dans les régimes). Soit 16 prélèvements pour chaque constante biologique pour les 4 lots et ce avant introduction de la cladode, et 16 prélèvements en fin de l'essai (période 1). A la 2<sup>ème</sup> période et ce, après une phase d'adaptation de 7 jours, 16 prélèvements ont été effectués pour chaque constante biologique. De même à la fin de l'essai ,16 prélèvements ont été réalisés pour chaque constante, soit un total de 64 prélèvements, durant toute la période expérimentale soit 56 jours, car l'expérimentation a été menée en cross over (R1 versus R4) et (R2 versus R3).

#### II.5.2. Méthodes de dosage

##### II.5.2.1. Les constantes biologiques

L'analyse biochimique a été effectuée à l'aide d'un autoanalyseur le COBAS C111 au niveau du laboratoire d'analyses biomédicales (Ali MAACHI). Cet automate fait recours à la spectrophotométrie d'absorption pour déterminer le volume d'absorbance d'un fluide. Il est utilisé pour calculer la concentration dans une solution. Dans notre étude, nous avons utilisé le principe de photométrie d'absorption, pour le glucose, l'urée, le cholestérol et les triglycérides et le principe de turbidimétrie pour l'albumine. Les résultats sont obtenus selon la formule de Lambert Beer, par rapport à une courbe de calibration obtenue au préalable. Le dosage du glucose est réalisé à l'aide d'une méthode enzymatique à l'hexokinase, celui de l'urée à l'uréase, celui du cholestérol à la cholestérol oxydase et celles des triglycérides à la lipoprotéinelipase, enfin, l'albumine a été mesurée par immunoturbidimétrie.

## II.6. Analyse statistique des résultats

L'ensemble des résultats ont fait l'objet d'analyses statistiques en rapport avec les réponses recherchées :

- Analyse descriptive : moyenne, écart-type, quartiles, coefficient de variation
- ANOVA à un facteur selon le modèle :

$Y_{ij} = \mu + \alpha_{ij} + e_{ij}$  où  $Y_{ij}$  est la variable expliquée;  $\mu$ : la moyenne générale  $\alpha_i$  : l'effet facteur et  $e_{ij}$  : l'erreur résiduelle du modèle. Puis, le test de Student compare les facteurs deux à deux

- Liaisons entre variables : A chaque fois qu'il nous paraissait nécessaire, des régressions linéaires simples ou multiples répondant à l'écriture sont calculées :

- $Y_i = a_0 + a_1X_{1i} + a_2X_{2i} + a_3X_{3i} + \dots + e_i$  où
- $Y_i$  est la variable expliquée
- $X_{1i} + X_{2i} + X_{3i}$  les variables explicatives.

### III. Résultats et discussions

#### III.1. Expérimentation 1 : Etude de biométrie comparée de la cladode inerme jeune et âgée et de la cladode armée jeune et âgée de Ksar Chellala.

**Tableau 3:** Biométrie des cladodes selon l'âge et la variante inerme et épineuse (n = 14)

Variante	Age	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Long / larg	Epaisseur (cm)	Poids frais/kg
inerme	Jeune 1an	32.85±2.5	16.78±3.12	1.95±0.8	0.74±0.35	0,37± 0.11
	Agée ≥3ans	37.9±4.06	18.7±2.01	2.02±2.01	1.39±0.25	0.818± 0.23
épineuse	Jeune 1an	35 ± 3.03	18±2.9	1.94±1.04	2.4±0.5	0.465 ± 0.19
	Agée≥3ans	37 ± 2.65	20 ± 2.3	1.85 ± 1.15	2.6 ± 0.49	1.08 ± 0.36

#### III.1.1 Biométrie comparée

Il en ressort du tableau 3, que la cladode âgée est plus longue que la cladode jeune, et cela, quelque soit la variante, inerme ou armée. Pour la largeur, la raquette âgée est plus large que la raquette jeune, et cela, quelque soit l'espèce inerme ou armée. La raquette âgée inerme est plus épaisse que la raquette jeune inerme et ceci est vrai pour la cladode armée dans la même catégorie d'âge .Cela est due, en générale, au vieillissement des tissus et des concentrations de la cellulose et de la lignine qui augmente avec l'âge de la plante.

Les valeurs suivantes : longueur : 34 cm ; largeur : 17cm ; épaisseur : 1.7cm ; sont données comme moyennes par les chercheurs marocains. (Arba M., 2000). Nous allons les comparer avec les moyennes obtenues sur terrain en utilisant le test de student. Où :

$$t = \frac{\bar{X} - m}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$\bar{X}$  : moyenne théorique

$m$  : moynne obtenue

$\sigma$  : écart type

$n$  : nombred'individus

La comparaison entre les deux longueurs, donne  $t=1,064 < à 2.145$  : il n'existe pas de différence significative entre les deux longueurs.

La comparaison entre les deux largeurs, donne  $t=0,40 < à 2.145$  : il n'existe pas de différence significative entre les deux largeurs.

La comparaison entre les deux épaisseurs, donne  $t=17,54$  avec un diamètre de 1.7cm.> à 2.145 : il existe une différence significative entre les deux populations. Les cladodes Marocaines inerme jeune, présentent les mêmes longueurs et largeurs, que celles étudiées, mais elles sont plus charnues que les nôtres.

Néanmoins, il est souhaitable de compléter cette étude biométrique, par la forme et la couleur des cladodes, par la forme et la couleur des fruits, par la forme et la couleur des épines pour entreprendre une étude des écotypes de la cladode algérienne. En l'état actuel des choses, il n'existe pas une étude approfondie des écotypes algériens.

**Tableau 4 :** Composition chimique des cladodes de la région de Ksar Chellala

Variante et âge constituants		inerme jeune	inerme âgée	armée jeune	armée âgée
% de PF	Eau	90.55±1.6	87,44±1.54	88,12±1.57	86,24±1.8
	MS	9.45±1.3	12,56±1.5	11,88±1.39	13,76±1.3
% de MS	MM	13.12±1.14	18.61±1.7	20.48±1.9	26.32±2.01
	Ca	9.66±0.51	12.44±0.6	10.6±0.47	12.9±0.7
	P	0.075±0.01	0.04±0.01	0.33±0.02	0.06±0.03
	Mg	2.04±0.38	1.45±0.29	1.45±0.32	1.99±0.04
	K	2.38±0.43	2.3±0.41	1.98±0.31	1.69±0.21
	MO	86.88±1.26	81.39±1.5	79.52±1.3	73.68±1.52
	CB	11.7±1.93	15.23±2.05	14.81±2.47	17.1±2.35
	MAT	6.03±1.2	3.24± 0.9	6.27±1.4	4.37±1.84
	MG	1.52±0.39	1.92±0.51	1.7±0.31	2.1±0.54

Chaque valeur est la moyenne de 4 observations ± écart type

### **III.1.2 Composition chimique de la cladode**

La teneur en matière sèche connaît une augmentation avec l'âge de la cladode, et cela quelque soit l'espèce armée ou inerme. Ceci est vrai entre les cladodes inermes et armées dans la même catégorie d'âge. Les jeunes cladodes sont riches en eau, avec une moyenne de 90.55%. Selon (Rivière, 1978), les proportions d'eau varient en fonction de la phase végétale, de l'organe (feuille, tige, fruit), de la saison et de la nature du sol. A l'état jeune, les plantes fourragères peuvent contenir 88 à 90% d'eau.

Le taux de la matière organique diminue de la cladode jeune à la cladode âgée, et cela quelque soit l'espèce armée ou inerme. Ceci est vrai entre les cladodes inermes et armées dans la même catégorie d'âge.

Les résultats de la composition chimique obtenus, montrent une forte teneur en cendres (MM), qui varie entre 13.12 % à 26.32% de la MS. Sur la base de la composition minérale, nous considérons les cladodes d'*Opuntia* comme une bonne source d'éléments minéraux (Tegegne et al ; 2006). L'analyse de la composition minérale met en évidence la prédominance du calcium : il atteint 12.9 % à la forme épineuse âgée. Les cladodes d'1an d'âge sont riches, en calcium, magnésium, potassium mais possèdent une faible teneur en phosphore. La teneur en calcium et magnésium, est, quelque soit la variante inerme ou épineuse, plus élevée que celle retrouvée dans les feuilles d'épinards avec 1. et 0,62g/100g PF et de la carotte 0,3g et 0,14g /100g. (Tirilly et Bourgeois, 1999).

La teneur en minéraux, d'une plante fourragère, reflète la teneur et la disponibilité de ces mêmes éléments dans le sol qui la produit (Jean Blain et al, 1992).

La teneur en cellulose brute connaît une augmentation régulière avec l'âge chez les deux variantes. Elle est en moyenne de 11.7% chez les cladodes jeunes et de 17.1 % chez les cladodes âgées. D'après (Jarrige et al 1995), la teneur en cellulose augmente de façon importante et régulière avec l'âge de la plante. Elle peut, également, être influencée par les facteurs agro-climatiques, en particulier la température élevée. En comparant les deux valeurs entre les cladodes de la même catégorie d'âge, nous remarquons aussi une augmentation allant de la catégorie inerme à la catégorie armée.

Les teneurs enregistrées, en MAT des cladodes, indiquent, que le figuier de barbarie présente une faible teneur en MAT et que ce taux en MAT diminue, suivant l'âge, chez les deux catégories de cladodes. Selon Nefzaoui et Chermiti. (1993), la teneur en MAT diminue après un an et dépend de la nature des sols et de la fumure apportée. La diminution de la

teneur en MAT est accompagnée par l'augmentation simultanée des parois cellulaires avec l'âge. Quant la plante est jeune, elle met en place des mécanismes qui lui permettent de se développer : c'est ainsi, qu'elle véhicule des quantités plus importantes d'azote. Ces quantités diminuent avec la diminution de la vitesse du développement, autrement dit avec l'âge. Cependant, la valeur de 6 % attribuée à la catégorie jeune, est supérieure à celle retrouvée par le (CIHEAM, 1990). Ce taux est en concordance avec le taux de la matière sèche et la nature des sols où la plante se développe. D'autre part, cette valeur diminue chez la catégorie âgée à 4,37%, ce qui montre un déficit en MAT.

L'*Opuntia* présente une faible teneur en matière grasse, durant son cycle de développement avec des valeurs comprises entre 1.52 % à 2.1% de la MS. Ce taux évolue sensiblement avec l'âge et diminue dans le sens cladode armée à cladode inerme. Selon Jean Blain et al. (1992), la teneur en matière grasse des fourrages, varie très peu au cours du stade de végétation.

### **III.1.3.Conclusion**

De l'étude de biométrie, il en ressort que la cladode inerme âgée, est plus longue, plus large, plus épaisse et plus lourde, que la cladode inerme jeune, cela est dû au vieillissement des tissus et aux concentrations, de cellulose et de lignine qui augmente avec l'âge.

Les résultats de la composition chimique montrent que les jeunes cladodes sont riches en eau, la composition minérale met en évidence la prédominance du calcium, chez les 2 variantes. La teneur en cellulose brute connaît une augmentation régulière avec l'âge. Une faible teneur en MAT et un faible taux en MG. A l'état actuel des choses, il n'existe pas une étude approfondie sur les écotypes algériens.

De ce fait il est impératif d'utiliser des outils moléculaires pour étudier le patrimoine génétique de la figue de Barbarie, car il est certain à des variantes identiques : *Opuntia inermis* ou *Opuntia amyclae*, (armée) il existe des divergences au niveau de l'ADN et doivent être préservées dans une collection de référence. Cette préservation de ces différentes variantes aiderait tout d'abord la mise en place d'un tri taxonomique définitive, qui pourrait être d'un grand intérêt pour les éleveurs et, deuxièmement, la sélection d'écotypes qui intéressent l'alimentation humaine.

### III.2. Expérimentation 2 : Prédiction de la valeur alimentaire des matières premières incorporées dans la ration

#### III.2.1. Composition chimique des matières premières de l'étude

La caractérisation de chaque matière première, c'est-à-dire l'aliment en question, dans l'étude de la ration, (se référer expérimentation 3), s'est faite à l'aide d'analyses chimiques destinées à connaître la composition de chaque aliment. L'analyse classique de chaque aliment a consisté à mesurer ses teneurs en eau, en matières organiques, en matières azotées totales, en matières grasses brutes, en cellulose brute, et en parois (NDF.ADF). Certes la détermination de la valeur nutritive d'un aliment, peut se faire, à l'aide de tables de référence (INRA, 1988). Mais si nous recherchions une bonne précision, il conviendrait de faire l'analyse de l'aliment et de prévoir sa valeur nutritive à l'aide d'équations de prédiction basées sur ces résultats.

**Tableau 5** : Composition chimique des matières premières en (%) de MS

	<i>Opuntia</i>	Paille d'orge	Orge en grains	Féverole
MS	9.45±1.3	94.5±0.3	93.68±1.24	90.13±1..51
MO	86.88±1.26	93.05±0.8	96.07±0.27	97.2±2.72
CB	11.7±1.93	42.01±2.4	5.9±0.6	9.1±1.9
MAT	6.03±1.2	3.4±0.61	9.8±1.18	25.3±1.17
MG	1.52±0.39	-	1.69±0.33	2.4±1.08
NDF	29.42±2.5	65.4±4.9	18,5±0.9	14.7±1.21
ADF	17.1±2.2	46.7±2,1	6,9±0.69	9.1±083
PR	52±4.2	-	-	-
HCSE	32±2.7	18,7±1,8	12,5±1,23	5.2±1.34
PEC	34±1.87	-15%FM et 19% HM	-	-

Chaque valeur est la moyenne de 4 observations ± écart type

Pour la valeur nutritive, une démarche séquentielle a été adoptée, centrée sur l'estimation de la digestibilité de la matière organique et/ou sur la composition chimique. Pour le calcul des valeurs UFL et MAD nous avons utilisé la séquence d'équations proposées par l'INRA (1978, 1988) relatives à chaque groupe d'aliments. Cette valeur nutritive, nous a permis d'évaluer la contribution de chaque aliment à la couverture des besoins nutritionnels

de la brebis, par contre l'ingestibilité, nous a permis d'évaluer la quantité de chaque aliment que l'animal peut ingérer.

Pour la valeur énergétique de la paille, la démarche a consisté, essentiellement, à estimer la d(MO), et la composition chimique, les UFL ont été calculées de façon séquentielle à partir des estimations de l'énergie brute, de l'énergie digestible, de l'énergie métabolisable et enfin de l'énergie nette. Quant aux concentrés : orge en grains et féverole, l'estimation des UFL ont pris en considération la composition chimique seulement.

Pour l'*Opuntia*, nous avons utilisé, les équations de la luzerne en vert, compte tenu de sa teneur en CB < 20%, et d'après Bentlidja (1987) et Araba et al (2009), la valeur énergétique de l'*Opuntia* est comparable à celle de la luzerne en vert 1<sup>er</sup> cycle.

**Tableau 6:** Equations de prédiction de la valeur nutritive des aliments

Aliments	Equations	Reference	R <sup>2</sup>	SR	Expression
<i>Opuntia</i>	$UFL=0,632+191.10^{-5}MATg/kg(MO)-188.10^{-8}CB/kg(MO)^2$	INRA, 1978	0.882	± 0.06	kg(MO)
	MAD= MAT .da(MAT) avec da MAT 0.7	Araba, 2009			kg(MS)
Paille d'orge	EB = 4531+1,735MAT+ Δ. Δ: terme correctif paille =±11	INRA, 1988	0.945	-	Kcal/Kg MO
	ED= EB × dE	idem	0.96	-	Kcal
	dE=1.0087dMO-0.0377	idem	0.99	-	Kcal
	$EM/ED= 0.8417-9.9 \times 10^{-5}CB -1.96 \times 10^{-4}MAT+0.0221NA$	idem	0.9	-	
	EN=EM-Q Q = EM/EB	idem		-	Kcal
	Km= 0.287Q + 0.554	idem		-	Rendement
	UFL= EM*km/1720	idem		-	UFL/KgMS
	MAD=-27.5+ Δ +0.891MAT±3.5 Δ= 0 .3 (terme correctif)		0.93	-	g/kgMO
Orge grains	$UFL=121.8+ 0.11MAT- 1.81 CB+1.26MG$ (MG, CB, MAT en %)	INRA, 1978	0.96	±0.05	100kg(MO)
	MAD= 0.914MAT – 22.3	idem	0.97	±12.9	g/kg(MO)
Féverole grains	$UFL=121.8+0.11MAT- 1.81 CB+1.26MG$	INRA,1978	0.96	±0.05	100kg MO
	MAD= 0.914MAT – 22.3 ou 0.917 MAT -0.055CB -17.6	idem	0.97	±12.9	g/(kgMO)

Tableau 7 : Valeur nutritive en kg de MS (n =4).

	<i>Opuntia</i>	Paille d'orge	Orge en grains	Féverole
<b>UFL</b>	<b>0.63±0.03</b>	<b>0.4±0.04</b>	<b>1,09±0.04</b>	<b>1.07±0.02</b>
UFL	0.71	0.44	1.12	1.07
E Min Moy Max	- 0.11, - 0.08, - 0.05	-0.08, - 0.04, 0	-0.07, - 0.03, + 0.01	- 0.02, 0, +0.02
<b>MAD</b>	<b>42.8±11.2</b>	<b>4.9±3.9</b>	<b>70.4±15</b>	<b>223.2±34</b>
MAD	43	3	86	251
E Min Moy Max	11.4, - 0.2, +11	-2, + 1.9, +5.8	-30.4, - 15.6, -0.6	-52.2, -18.2, +15.2

**NB : En caractères gras nos résultats**, en caractères maigres normes (INRA, 1978, 1988).  
*Opuntia* : (CIHEAM, 1990). Ecart par Kg de MS.

### III.2.1.1. Teneur en eau

La composition chimique montre que le cladode d'*Opuntia* est riche en eau. Cette proportion d'eau du cactus peut atteindre les 90% (Felker, 1995), (Nefzaoui et Bensalem, 2001), (Tegegne, 2001). Aussi sur le plan physiologique, l'*Opuntia ficus indica* est une plante de type CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*). Elle a la particularité de fixer le dioxyde de carbone, de libérer l'oxygène pendant la nuit, et, de fermer ses stomates pendant le jour. Ce dispositif permet une moindre perte d'eau par évapotranspiration pendant les heures les plus chaudes. D'autant plus, les constituants pariétaux sont formés de pectines qui ont un rôle important dans les propriétés physico-chimiques de la paroi cellulaire des végétaux, notamment dans la rétention de l'eau (Cun et Lescards, 1993). Des expériences ont montré que les ovins, gardés en enclos, peuvent survivre plus de 500 jours sans eau, s'ils ont quotidiennement accès à des quantités suffisantes de cactus (Araba et al.2000). En revanche, lorsque le taux d'incorporation dépasse les 60%, l'utilisation de la raquette dans l'alimentation des moutons a un effet laxatif causé par le passage trop rapide dans l'intestin selon Nefzaoui et al(1993).

**III.2.1.2. Teneur en MAT**

Le taux de MAT est faiblement à modérément élevé : ce taux est de l'ordre de 3 à 6%, selon (Nefzaoui et Bensalem 2001). Il peut atteindre, selon Gregory et Felker (1992), plus de 11% de teneur en protéines dans différentes classes d'âge : il s'agit du clone (1270, cv IE. Palma Redonda). Les travaux de Caballero-Mellado (1990) et Mascarua-Esparza *et al.* (1988), ont inoculé des racines de cactus avec les bactéries fixatrices d'azote *Azospirillum* sp ; ont observé, une augmentation du contenu en protéine des raquettes, soit une augmentation de 63% d'azote dans la racine, d'autant plus *Azospirillum* inhibe la pourriture des raquettes causés par *Erwinia* sp lors des plantations.

Ce taux est influencé par de nombreux facteurs tels que le type de sols, l'âge de la plante, la composition botanique. Il répond à la même variation d'un fourrage cultivé. La teneur azotée varie dans le sens contraire du cycle de végétation d'une plante que ce soit pour une graminée ou pour une légumineuse. Il varie d'un stade à l'autre de la même plante, et diminue avec l'âge quand la teneur en parois augmente. (Jarrige, 1988). Le taux de 6,03 % de MAT retrouvé, peut être expliqué par l'âge de la plante (stade jeune, début floraison) d'une part, et d'autre part, par la classe des sols peu évolués de type alluvial de la zone d'études en question, où, nous avons retrouvé, un taux de matière organique de 1.52 %. De même, la digestibilité de la matière organique, diminue quand la teneur en composés pariétaux augmente. Ce paramètre dépend à la fois de la composition morphologique et de l'âge de la plante.

**III.2.1.3. Teneur en constituants pariétaux : *Opuntia***

La composition des constituants pariétaux montre que la cladode est riche en pectines totales 34% de la paroi dont 15 % de pectines faiblement méthylées et 19% de pectines hautement méthylées. Pour les pectines HM, le degré d'estérification (DE) conditionne la rapidité de la prise du gel : plus il est élevé plus la formation du gel est rapide. Alors que les pectines faiblement méthylées (LM) (DM<50) sont capables de fixer fortement les ions divalents tels que le calcium. Ces propriétés gélifiantes sont entérosorbantes, c'est-à-dire, qu'elles peuvent adsorber certains métaux lourds et radionucléides lors de son passage dans le tube digestif. Cette propriété pourrait être liée à sa capacité à échanger des ions. Elles semblent aussi pouvoir limiter l'absorption de toxiques absorbés dans l'alimentation.

---

#### III.2.1.4. Teneur en constituants pariétaux : Paille

La paille est riche en paroi : un taux de NDF de 65 % de MS. C'est un aliment de lest : sa valeur alimentaire est faible, à l'exception de la paille d'avoine qui est riche en azote (Lamand, 1986, Gooneratne et al., 1991). Les pailles, bien récoltées, peuvent remplacer une partie du foin. La digestibilité de la matière organique des pailles d'orge est en moyenne de 40-42 %, mais elle peut varier de 32 à 50 % (Dulphy, 1987). Elle n'apporte pas de nutriments à la population microbienne pour qu'ils aient une activité normale et ne contient pas un taux important de pectines : elles sont de l'ordre de 6 à 7 % de la MS pour les légumineuses vertes mais seulement de 2 % pour les graminées.

#### III.2.1.5. Teneur en constituants pariétaux : grains

D'une manière générale, les grains de céréales et de légumineuses possèdent un taux riche à moyennement riche en MAT et les légumineuses sont plus riches que les graminées. En revanche les grains de céréales sont plus riches en énergie que les légumineuses.

Les grains de céréales ou de graminées possèdent un faible taux de pectines : ils représentent seulement 1 à 2.5% de la MS.

#### III.2.2. Valeur nutritionnelle

Les résultats de la valeur nutritionnelle, de chaque aliment incorporé dans cette étude, sont de l'ordre de :  $0.63\text{UFL} \pm 0.03$  / kg de MS pour l'*Opuntia*. Selon la (FAO, 1989), cette valeur est comprise entre 0.6 et 0.7UFL / kg de MS. Le CIHEAM, (1990) indique une valeur UFL de 0.71. Les MAD sont de l'ordre de  $42.8 \pm 11.2$  g / kg de MS, 43 g / kg de MS par rapport aux normes de (CIHEAM, 1990).

Les valeurs UFL de la paille sont de  $0.4 \pm 0.04$  UFL / kg de MS et  $4.9 \pm 3.9$  g de MAD / kg de MS

L'orge en grains  $1.09 \pm 0.04$ UFL /kg de MS et  $70.4 \pm 1.5$  g de MAD / kg de MS.

Les résultats de la féverole sont de  $1.07 \pm 0.02$  UFL / kg de MS et  $223.2 \pm 34$ g de MAD / kg de MS respectivement.

#### III.2.3. Conclusion

Les caractéristiques chimiques, des différents aliments, se rapprochent des normes établies par (INRA, 1978 et 1988). D'une manière générale, nous constatons un taux de MS en hausse chez les aliments étudiés comparativement à ceux de l'INRA.

Ceci peut être expliqué par des conditions édapho-climatiques différentes, du stade de coupe, du nombre d'échantillons important et de la méthodologie d'analyse de la MS ; dans notre cas, il s'agit d'une matière sèche élevée.

Les résultats de la prédiction de la valeur nutritionnelle de chaque aliment incorporé dans cette étude, sont de l'ordre de :  $0.63\text{UFL} \pm 0.03$  / kg de MS pour l'*Opuntia*, la paille  $0.4 \pm 0.04$  UFL / kg de MS, l'orge en grains  $1.09 \pm 0.04\text{UFL}$  /kg de MS et la féverole sont de  $1.07 \pm 0.02$  UFL / kg de MS.

Cette bioressource phytogénétique locale : *Opuntia ficus indica inermis* pourrait être une nouvelle niche supplémentaire en unités fourragères. Dotée de fibres d'un intérêt biotechnologique certain, comme le montre la composition des ses constituants pariétaux, 34 % de pectines totales.

### **III.3. Expérimentation 3.**

#### **III.3.1. Ingestibilité, digestibilité des rations, et coût de la ration.**

L'expérimentation a porté sur quatre lots constitués chacun de quatre brebis, de race Rumbi de poids moyen ( $40 \pm 2$  kg de poids vif), d'âge moyen compris entre 4 à 6 ans et un état corporel de 1,5 à 2, alimentées selon quatre types de régimes prédéterminés :

- Régime 1 : (témoin) paille d'orge + orge en grains
- Régime 2 : paille + Opuntia
- Régime 3 : paille + Opuntia + féverole en grains concassés
- Régime 4 : Opuntia seulement

Cet essai a été mené, au niveau de la bergerie de l'institut des sciences vétérinaires de Tiaret, durant une période allant du 14 mai 2009 au 8 juillet 2009.

Il s'est déroulé en deux étapes et en 2 périodes de 28 jours chacune, en cross over c'est-à-dire avec changement de régime et ce, pour annuler l'effet animal sur la digestibilité des régimes.

La première étape a consisté à adapter l'animal à l'aliment à tester, elle a duré (20) jours et une étape de mesure, qui a duré (8 jours).

La première période s'est étalée du 14 mai 2009 au 10 juin 2009 et les régimes distribués par lot sont indiqués ci-dessus.

La seconde période, qui s'est étalée, du 11 juin 2009 au 8 juillet 2009, a eu recours aux changements de régimes soit : régime 1 versus régime 4 et régime 2 versus régime 3.

Le schéma expérimental comprend :

Le calcul des quantités distribuées et ingérées aux besoins de l'entretien de la brebis.

La digestibilité in vivo de la MS, MO, CB, MAT, de chaque régime. (Voir figures 9 et 10, protocole expérimental).

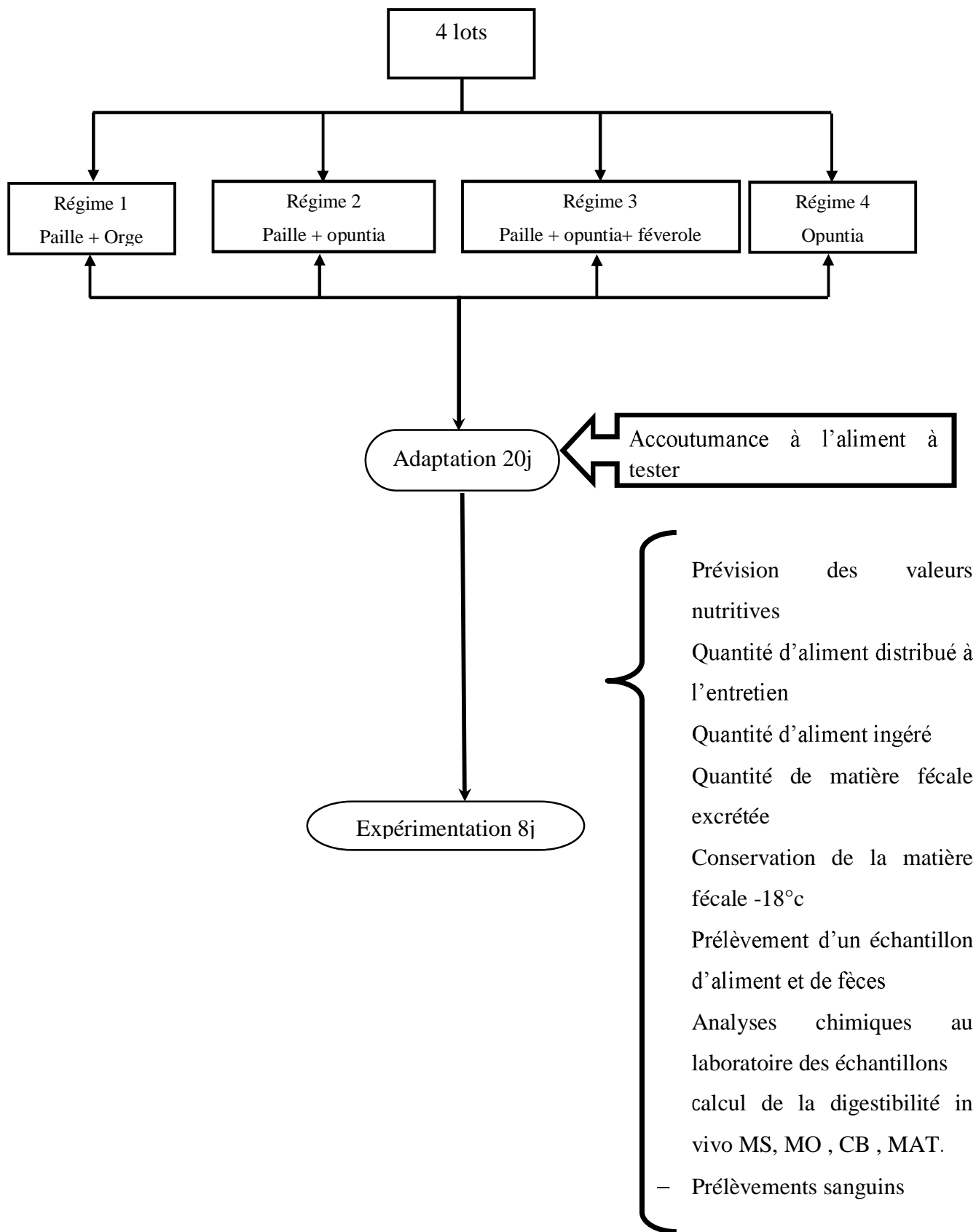


Figure 9 : protocole expérimentale période 1

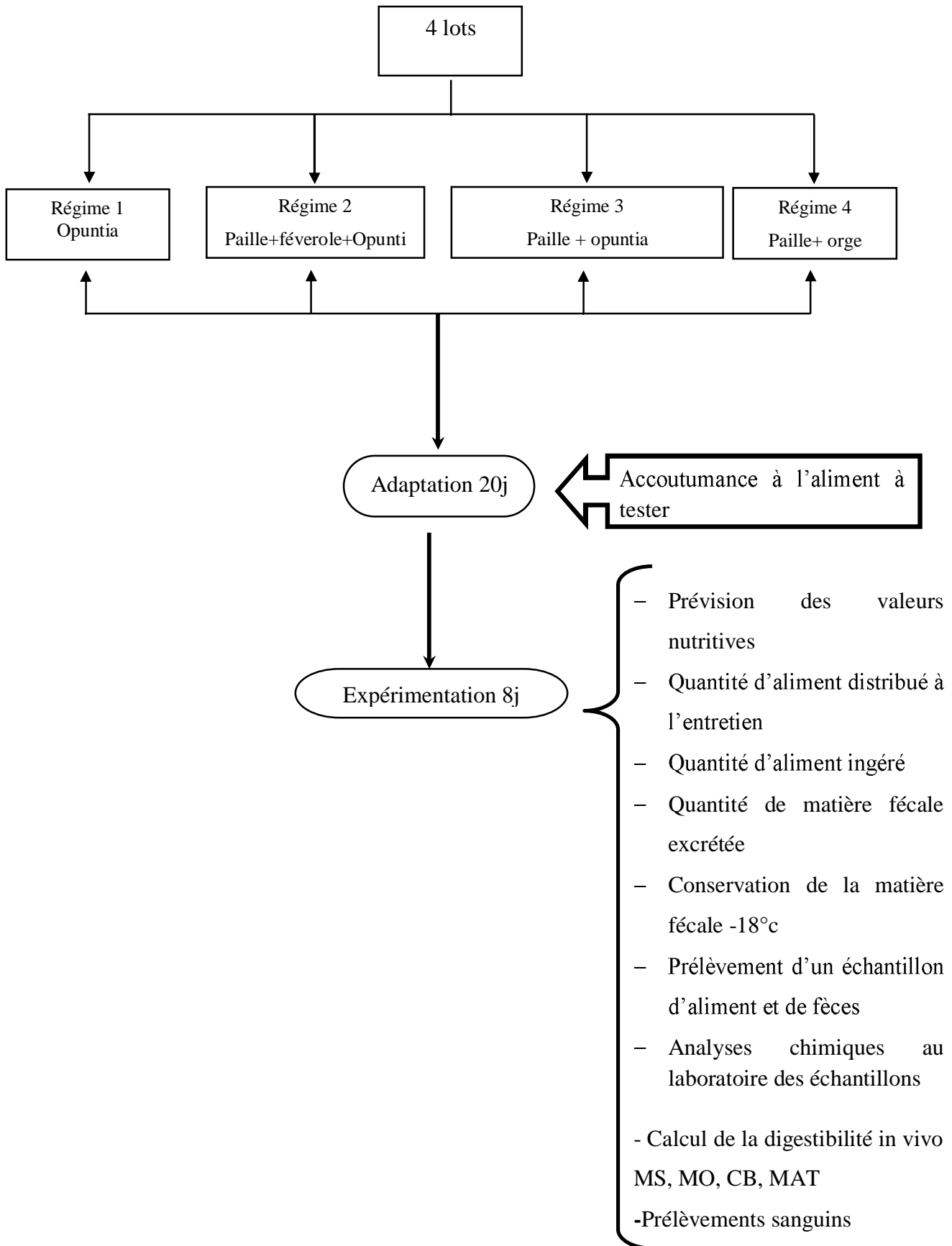


Figure 10: Protocole expérimentale période 2

### **III.3.2. Animaux**

- Etat sanitaire (absence des parasites)
- Indemne de pathologies
- Calendrier de vaccination respecté
- Les brebis ont été placées, dans des cages individuelles de digestibilité, permettant la mesure de l'ingéré et la collecte des fèces (voir annexe B)

### **III.3.3. Aliment**

Le précédent régime alimentaire des animaux a été la paille de blé tendre + un complément d'orge ou de concentré VLB17, car les animaux étaient à proximité de l'élevage bovins.

Les brebis ont reçu différents aliments en quantité limitée, à la couverture des besoins d'entretien. Les matières premières principales à savoir : Opuntia, paille, orge en grain, et féverole en grain, ont fait l'objet d'une caractérisation chimique en vue de prévoir la valeur énergétique et azotée pour permettre le calcul du distribué. (Se référer expérimentation2).

### **III.3.4. Cage de métabolisme**

Ce sont des cages individuelles, de dimensions suivantes : 1.10 m de longueur, 0.70m de largeur et 1m de hauteur, conçues à l'institut des sciences vétérinaires, équipées de mangeoires à remplir manuellement, destinées à l'aliment grossier (paille et Opuntia), d'un abreuvoir constitué d'un seau en matière plastique , d'un deuxième seau pour l'aliment concentré (orge en grains et féverole) et d'une plaque située derrière l'animal pour collecter la matière fécale (voir annexe B).

### **III.3.5. Déroulement de l'essai**

Le régime 1 est considéré comme une ration classique de l'espèce ovine. Nous avons volontairement incorporé la féverole dans le régime 3, pour évaluer le taux de matière azotée que peut apporter cette légumineuse.

La quantité distribuée a été effectuée à la couverture des besoins d'entretien des brebis. Elle a tenu compte des caractéristiques de la brebis à savoir : son poids vif  $40 \text{ kg} \pm 2$ , ses UFL à l'entretien =  $0.033.p^{0.75}$ , de ses MAD =  $2.52 p^{0.75}$ , (INRA.1988), sa capacité d'ingestion de 1.4 UEM d'une brebis à l'entretien (INRA.1988).

La valeur d'encombrement de la paille, a été calculée à partir de l'ingestibilité, estimée directement à partir de la quantité de matière sèche distribuée (QMSD) (g) – quantité de matière sèche refusée (QMSR) (g). Elle est exprimée, par grammes de matière sèche, par jour par animal, et, par kilogramme de poids métabolique, telle que la valeur d'encombrement de la paille =  $75 / QIM$ , évaluée à 2.33UEM/kg de MS.

La quantité ingérée de matière fraîche d'Opuntia est de l'ordre de 2,5 à 9 kg, Lehouerou (1996) et Tegegne (2005). Les quantités ingérées de chaque régime ont été déterminées par pesées quotidiennes des quantités distribuées et refusées. Chaque matin, les refus sont pesés et desséchés à l'étuve en partie. Après établissement du taux de matière sèche, ils sont conservés dans des sacs en plastique étiquetés au jour et au numéro de l'animal et conservés jusqu'à la fin de l'expérience.

Deux repas / jour ont été distribués :

L'aliment grossier paille, le matin et à la même heure (8heures) ; pour les régimes 1, 2, et 3.

La distribution des concentrés, (2eme repas) s'est effectuée 05 heures après la prise de la paille, pour éviter tout phénomène de substitution des concentrés par la paille.

Le régime 4 n'a reçu que l'Opuntia seulement.

La cladode a été présentée à l'animal, sous forme de carré, de 3 à 4 cm à l'état frais. La féverole a été concassée. La paille et l'orge en grains ont été présentées selon leur nature physique.

Le taux de refus des régimes ayant reçu la paille est de l'ordre de 21%, 40% et 25% respectivement.



Photo 2 : régime1 (paille + orge)



Photo 3 : régime 2 (paille +Opuntia)



Photo 4 : régime3 (paille + Opuntia + féverole)



Photo5 : régime 4 (Opuntia seulement)

### **III.3.6. Conditions générales nécessaires à la validité des mesures**

#### **III.3.6.1. Période d'adaptation ou pré expérimentale**

C'est une période d'adaptation au régime d'une durée suffisante (8 jours), mais pouvant être portée dans certains cas à 2 ou 3 semaines. Cammel. (1977) et Wainman (1977) en cas de changement important de régimes, de fourrages de mauvaises qualité, ou d'introduction d'un nouvel aliment. Dans notre cas, la période d'adaptation au régime a duré 20 jours

Et cela pour deux raisons :

- la flore du rumen doit être adaptée à l'alimentation étudiée, bien que cette adaptation semble être très rapide (5 jours) dans le cas d'animaux alimentés au niveau de l'entretien (Potter et Dehoryti, 1973) ; et que la composition des fèces doit correspondre uniquement au régime étudié ;
- dans notre situation, il s'agit de changement important du régime par rapport à un régime dit classique (paille + céréales).

---

### **III.3.6.2. Période expérimentale**

L'excrétion fécale discontinue, responsable des erreurs dites de début et de fin de période, et les différences de capacité digestive d'un animal à l'autre, obligent à effectuer la mesure durant un minimum de jours (variant de 5 à 14 jours suivant les auteurs et le plus souvent de 10 jours). Sur un nombre minimum d'animaux (variant de 3 à 8 suivant les auteurs et le plus souvent de 4 animaux). En fait ces nombres sont différents, suivant le type d'aliment étudié, le mode d'alimentation (en quantité limitée ou à volonté) et surtout la précision recherchée pour la mesure. Cette précision dépend, bien sur, à la fois du nombre de jours et du nombre d'animaux.

Les mangeoires sont remplies chaque jour avec l'aliment pesé. Le reste de la raquette gaspillée, hors de la mangeoire est remis dans la mangeoire, si elle est exempte de toute souillure. La 1<sup>ère</sup> collecte a eu lieu le lendemain matin, la dernière, le 9<sup>ème</sup> jour le matin toujours à la même heure.

Les crottes sont introduites en totalité dans un sac en plastique identifié pour chaque animal, par cages, et conservées à -18°C. Les crottes récupérées chaque jour, sont ajoutées, dans le même sac de fèces collectées les jours précédents. A la fin de la période de récolte, la totalité est pesée. La matière sèche de l'aliment, du refus et des fèces sont est déterminée par étuvage ; alors que celle de la matière organique se fait par calcination en utilisant un four à 550° C pendant 5 heures. (Voir annexe B).

Dans notre cas les conditions générales nécessaires à la validité des mesures ont été respectées.

### **III.3.7 Mesure de la digestibilité**

La digestibilité est l'aptitude d'un aliment à être dégradé a travers le tube digestif d'un animal. Elle représente la quantité digérée d'un aliment donné. Elle est en faite, appréciée par différence entre la quantité de nutriment ingérée (poids total aliment ingéré x concentrations de ce nutriment dans l'aliment) et la quantité de nutriment excrétée dans les fèces qui échappe à la digestion (poids total des fèces excrété x les concentrations de ce nutriment dans les fèces) pendant une période déterminée, dans notre expérimentation : 8 jours.

Pour chaque nutriment, nous avons calculé la quantité ingérée I et excrétée E sachant que :

$E = (\text{concentration en nutriment dans les fèces en g/kg de MS}) \times (\text{quantités totales des fèces excrété en g de MS})$

$I =$  (concentration en nutriment dans l'aliment en g/kg de MS) x (quantités totales d'aliment ingéré en g de MS).

La digestibilité apparente d'un aliment est exprimée par un coefficient :

$$\text{CUDa (\%)} \text{ ou } D = (I-E) / I \times 100$$

La digestibilité a été évaluée par le coefficient d'utilisation digestive apparente (CUDa), dénommé usuellement, par le terme digestibilité (D) d'un nutriment. Il correspond à la proportion de cette quantité de nutriment digérée sur la quantité ingérée. Pour réaliser cette mesure, les brebis sont placées dans des cages dites (cage à métabolisme).

### **III.3.7.1. Enregistrement**

Chaque cage a une fiche technique sur laquelle sont notées toutes les observations utiles journalières et individuelles à savoir :

- La date.
- Le poids vif (kg) : déterminé par la pesée individuelle de chaque brebis avant la distribution de l'aliment, cette pesée s'est effectuée chaque semaine avec un pèse animal d'une portée de 100 Kg  $\pm$  50 g.
- La quantité d'aliment distribuée en (g) : représente la quantité d'aliment versée dans la mangeoire chaque matin.
- La consommation quotidienne (g) : distribuée – refusée
- La température ambiante en ( $^{\circ}$ C) a été contrôlée à l'aide d'un thermomètre placé au centre du bâtiment.
- L'entretien des animaux et l'hygiène des enclos étaient assurés par deux ouvriers.
- La pesée des crottes quotidiennes, par animal et par poids frais. (voir annexe B)

*NB : Concernant l'expérimentation 3, les protocoles ainsi que le déroulement de l'essai sont intégrés dans le chapitre 3 : résultats et discussions, nous l'avons délibérément inclus et ce pour donner une meilleure clarté et suivi aux lecteurs.*

III.3.8. Résultats et discussions

**Tableau 8 :** Quantité distribuée et ingérée de MS (g/animal/ jour). Composition chimique par régime, et coût de la ration.

Aliment distribué	Régime 1(P+O)	Régime 2 (p+Op)	Régime 3 (P+Op+F)	Régime 4 (Op)
Paille	650 (68%)	661.5 (60%)	661.5 (67%)	-
Orge	300 (32%)	-	-	-
Féverole	-	-	125 (13%)	-
Opuntia		425.2(40 %)	195 (20%)	825 (100%)
Total MS distribuée	950	1086.7	981.5	825
Total UFL	0.52	0.52	0.52	0.52
Total MAD	24	22	39	35
Ration ingérée	Régime 1	Régime 2	Régime 3	Régime 4
Paille	511	393	490	-
Orge	300	-	-	-
Féverole	-		125	
Opuntia	-	425	189	
Total MS ingérée	811.5 ± 50.7 <sup>a</sup>	818 ± 46.8 <sup>a</sup>	804 ± 50.9 <sup>a</sup>	460 ± 46.2 <sup>b</sup>
MSVI / Kg p <sup>0.75</sup>	52.32 ± 3.27	50.49 ± 2.5	50.56 ± 3.2	28.39 ± 2.85
MO	764.2 ± 47.5	734 ± 34	735 ± 51.7	403 ± 46.7
CB	235.6 ± 17.8	212 ± 16.4	234.4 ± 26	53 ± 6.8
MAT	47 ± 02	39 ± 2	59 ± 2.1	30.6 ± 3.5
T <sup>x</sup> ingestion Op (%)	0	52	23	55
Coût ration en (DA / euros	15.8/ 0.14	12.5 / 0.11	23.3/0.21	7.5/0.07

Régime 1 : Paille d'orge + orge en grains. Régime 2 : Paille d'orge + Opuntia, Régime 3 : Paille d'orge + Opuntia + Féverole, Régime 4 : Opuntia.

Le prix en DA / MS d'Opuntia : 17.3DA /kg, Paille orge : 12.7DA/Kg de MS, orge en grains : 31DA, féverole : 110DA/kg de MS. (DA : dinar algérien 1euro = 110DA)

ab, bc, dans une même ligne, lorsque les lettres sont différentes, les différences sont statistiquement significatives à ( $p < 0.05$ ).

### **III.3.8.1. Choix des régimes proposés**

Au départ, les régimes proposés ne sont pas isoénergétiques et isoazotés et ne répondent pas aux critères d'une ration dite équilibrée (tableau 8) ; mais l'objectif de notre étude est de constituer un régime de remplacement au système classique ; c'est-à-dire, le régime à base de paille et orge en grains, en supposant que cet essai se déroule dans des conditions d'extrême disette, où l'orge peut compromettre l'alimentation humaine. D'autant plus, si nous avons proposé un régime à base de cladodes d'Opuntia à 100% (régime 4) ; il est certain que ce régime aurait été déséquilibré. Mais il nous a paru intéressant de calculer la digestibilité différentielle de la paille car les données du régime 4, nous permettent de le faire, et cela, préciserait l'effet de l'apport de la cladode dans le régime 2 et confirmerait l'hypothèse : est ce que la cladode peut causer des troubles digestifs ?

### **III.3.8.2. Ingestibilité**

L'ingéré de la MS entre le régime 1 témoin, et le régime 2, est sensiblement égal, suivi par l'ingéré du régime 3, et joint par le régime 4. Les régimes 1 et 3 enregistrent les quantités de paille ingérées les plus importantes par rapport aux régimes 2, car l'introduction des concentrés dans la ration, accroît la vitesse d'ingestion de l'aliment grossier, par conséquent, son ingestion (INRA, 1988).

L'ingéré de la paille du régime 2 est le plus faible par rapport aux régimes 1 et 3, or (Bensalem et al, 1996) indique que l'association (Opuntia- paille) augmente l'ingéré de la paille. Dans notre étude, nous n'avons pas trouvé de liaison positive entre l'ingéré de l'Opuntia et l'augmentation de la paille.

L'observation constatée, l'animal délaisse la paille difficilement dégradable et oriente son ingestion vers l'Opuntia appétible car, les conditions d'expérimentation, sont différentes, dans notre situation : le distribué de la paille était en quantité limitée, or dans les travaux de Bensalem et al. (1996), la quantité de paille et d'Opuntia était distribuée à volonté. L'analyse statistique montre qu'il n'existe pas de différence entre l'ingéré des régimes à base de paille.

### III.3.8.3. Digestibilité

La digestibilité in vivo de la D(MS), la D(MO), D(CB), D(MAT) est calculée après la détermination de la MS des fèces (l'excrété sec) et de l'aliment (MS).

**Tableau 9:** digestibilité des différents constituants en (%) de MS, n = 8 (régimes en cross over R1 vs R4 et R2 vs R3).

Digestibilité en % de MS	R1	R 2	R3	R4
D(MS) régime	69.55 ± 2.28 <sup>a</sup>	58.48 ± 5.3 <sup>b</sup>	62.56 ± 3.5 <sup>c</sup>	70.5 ± 1.65 <sup>a</sup>
D (MS paille)	45 ± 11 <sup>A</sup>	45 ± 11 <sup>A</sup>	45 ± 11 <sup>A</sup>	45 ± 11 <sup>A</sup>
D (MO) régime	72.44 ± 2.21 <sup>a</sup>	63 ± 4.75 <sup>b</sup>	67.88 ± 3.7 <sup>c</sup>	74.6 ± 1.06 <sup>a</sup>
D (MO paille)	51 ± 9 <sup>B</sup>	51 ± 9 <sup>B</sup>	51 ± 9 <sup>B</sup>	51 ± 9 <sup>B</sup>
D(CB) régime	64.55 ± 2.65 <sup>a</sup>	46.86 ± 5.12 <sup>b</sup>	61.52 ± 3.31 <sup>a</sup>	84.75 ± 1.3 <sup>c</sup>
D (CB paille)	35 ± 6 <sup>C</sup>	35 ± 6 <sup>C</sup>	35 ± 6 <sup>C</sup>	35 ± 6 <sup>C</sup>
D (MAT) régime	80.33 ± 2.23 <sup>a</sup>	71.66 ± 6.2 <sup>b</sup>	86.11 ± 1.38 <sup>c</sup>	89.7 ± 1.05 <sup>c</sup>
D (MAT (paille))	36 ± 16 <sup>D</sup>	36 ± 16 <sup>D</sup>	36 ± 16 <sup>D</sup>	36 ± 16 <sup>D</sup>

<sup>ab, bc,</sup> dans une même ligne, lorsque les lettres sont différentes, les différences sont hautement significatives à (p <0.01) pour les régimes.

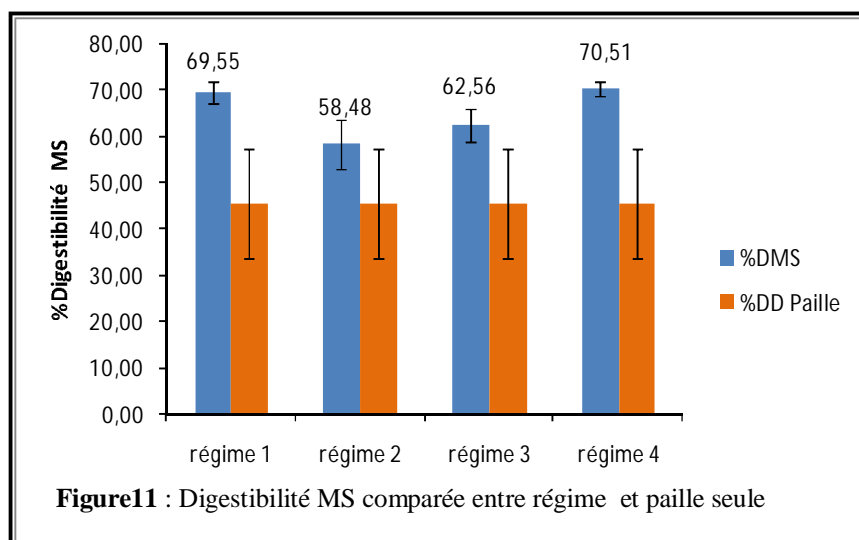
<sup>A, B,C</sup> dans une même colonne, lorsque les lettres sont différentes, les différences sont hautement significatives à (p <0.01) pour les régimes.

#### III.3.8.3.1. Détermination de la digestibilité de la MS

D'après les résultats obtenus, nous constatons que la D (MS) des différents régimes, s'est améliorée, quelque soit le régime par rapport à un régime à base de paille seule. Le régime 1 (témoin), qui a reçu une ration classique pour l'espèce ovine, montre une D (MS),) supérieure à celle des régimes 2 et 3 (paille +Opuntia) et (paille + Féverole + Opuntia). A l'exception de la D(MS) du régime 4, ceci peut s'expliquer par l'apport insuffisant de fibres

dans le régime, car l'incorporation exclusive d'Opuntia, riche en constituants intracellulaires, améliore la digestibilité de la MS, ce qui se traduit statistiquement par une différence non significative entre le régime 1 et le régime 4.

Ce régime 1, ration classique de l'espèce ovine, révèle une bonne digestibilité de ses différents constituants. En effet Jarrige (1988) rapporte, que l'adjonction d'aliments concentrés dans une ration, améliore la digestibilité de cette ration. Comparativement à des régimes à base de paille seule, la D (MS) de R1, R2 et R3, a augmenté de 24, 13, et 17 points respectivement par rapport à la digestibilité différentielle calculée (voir tableau 9). Par conséquent, l'apport de l'Opuntia a amélioré la D (MS), notamment du régime 2. Les travaux de Degu et Solomon (2009) en Ethiopie et d'Abidi et al (2009) en Tunisie ont retrouvé une digestibilité in vivo d'un régime à base d'Opuntia et de paille de céréales, de l'ordre de 60 à 65 % pour la MS. Nos résultats sont en conformité avec les auteurs suscités.



### III.3.8.3.2. Détermination de la digestibilité de la MO

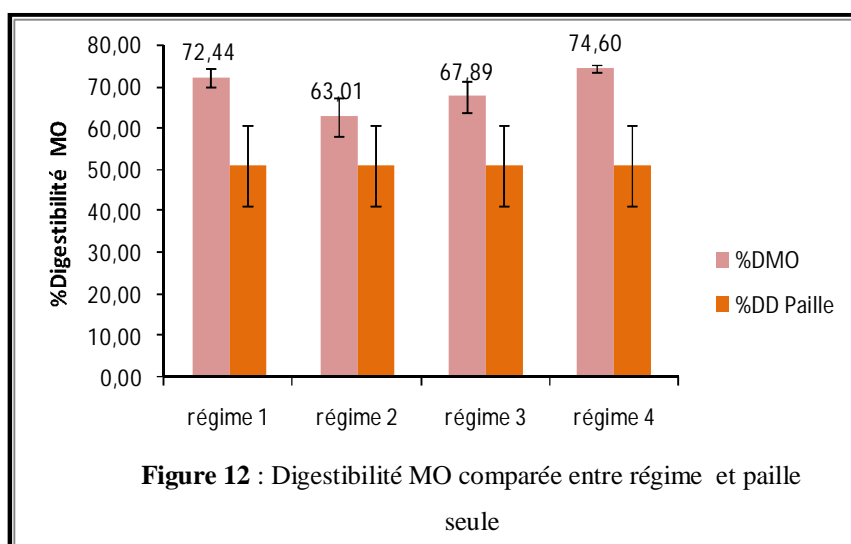
De la même manière que la MS, la D(MO) du régime 2 (paille +Opuntia), s'est nettement améliorée 63 %, contre une digestibilité de la matière organique de 40 % pour un régime à paille seule (INRA, 1988) soit une augmentation de 23 points.

Les travaux de Chehma et al. (2003) ont retrouvé une D(MO) in vivo de la paille d'orge de l'ordre de 53.46% soit, une augmentation de 10 points. Comparativement à la digestibilité différentielle, la D(MO) des R1, R2 et R3 a connu une croissance de l'ordre de 21, 12 et 16 points respectivement. La digestibilité différentielle de la MO de la paille a varié

de 42% minimum 60% maximum, soit un écart de +7 % minimum à + 9% maximum et un écart moyen évalué à +8%.

La digestibilité, in vivo de la MO du régime 2, oscille entre 58% à 68%, passant par une digestibilité moyenne de 63%, soit, une augmentation minimale de + 8% à +16% passant par un écart moyen de +12%.

Nos résultats de la D (MO) se rapprochent à ceux de Chehma et al. (2003). En revanche, les travaux de (H. Yakhlef, S. Triki, 2007) montrent que la digestibilité in vivo de la (DMO), a atteint une valeur de 54,4% et 62,4% pour la paille traitée en balles ou préalablement hachée contre 48,3% pour la paille non traitée. De même, les travaux de Degu et solomon. (2009) en Ethiopie et de Abidi et al (2009) en Tunisie ont retrouvé une digestibilité in vivo d'un régime à base d'Opuntia et de paille de céréales, de l'ordre de 60 à 70% pour la MO. Nos résultats sont en conformité avec les auteurs suscités.



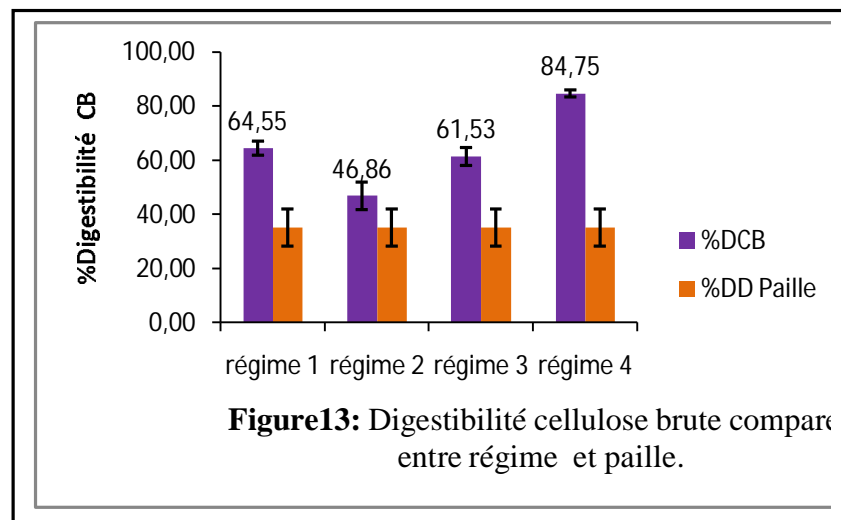
### III.3.8.3.3. Détermination de la digestibilité de la CB

Le faible taux de la D(CB) du régime 2, peut s'expliquer par l'augmentation du niveau d'ingestion de l'Opuntia, dans la ration qui peut avoir un effet dépressif sur les bactéries cellulolytiques du rumen, compte tenu de la forte teneur en glucides solubles, selon Abidi et al (2009). Ces résultats, mettent en évidence aussi, l'effet de la protection de la fraction lignocellulosique, que la cellulose brute exerce sur la dégradation de la matière organique, et par conséquent, la matière azotée et les glucides liés à la fraction lignocellulosique des parois, se trouvent protégés de l'action des enzymes bactériennes. Il est bien connu, que les niveaux élevés de la lignocellulose et la lignine, sont responsables de la faible digestibilité des

aliments et que, la teneur en cellulose brute est un bon critère de l'ingestibilité pariétal d'une espèce donnée, en raison de sa liaison positive à la teneur en parois et à la teneur en lignine (Demarquilly et Jarrige, 1988).

Les travaux de Degu et Solomon. (2009) en Ethiopie et de Abidi et al (2009) en Tunisie ont retrouvé une digestibilité in vivo, d'un régime à base d'Opuntia et de paille de céréales, de l'ordre de 40% à 50 % pour la CB. Aussi, lorsque le niveau de l'Opuntia ficus indica inerme augmente dans la ration, la concentration des acides gras volatils, le nombre de protozoaires et la concentration d'ammoniac dans le rumen, augmente ; par contre, la consommation d'eau, et l'activité cellulolytique du rumen et le rapport acide acétique / acide propionique diminuent selon les études de Ben Salem *et al.* (1996).

Quant au pH du rumen, il reste maintenu dans la fourchette de 6,80 à 7,13, même lorsque les animaux ont reçu un haut niveau de cactus inerme, le pH n'a pas été affecté, malgré sa richesse en hydrates de carbone, hautement fermentescibles, et, aucune différence n'a été observée. Bien au contraire, il active une salivation accrue, en raison du niveau élevé de sels minéraux et l'abondance de mucilage dans sa cladode, ce qui pourrait expliquer le maintien du pouvoir tampon du rumen. Nos résultats sont en accord avec les auteurs suscités.



#### III.3.8.3.4. Détermination de la digestibilité de la MAT

La D (MAT), nous constatons, toujours que le régime 4 enregistre une D (MAT) la plus importante comparativement aux régimes 1, 2 et 3, compte tenu de sa teneur en fibres de l'ordre de 11 %, et de sa richesse en glucides hydrosolubles et une D(MO) de 74%, et affecte

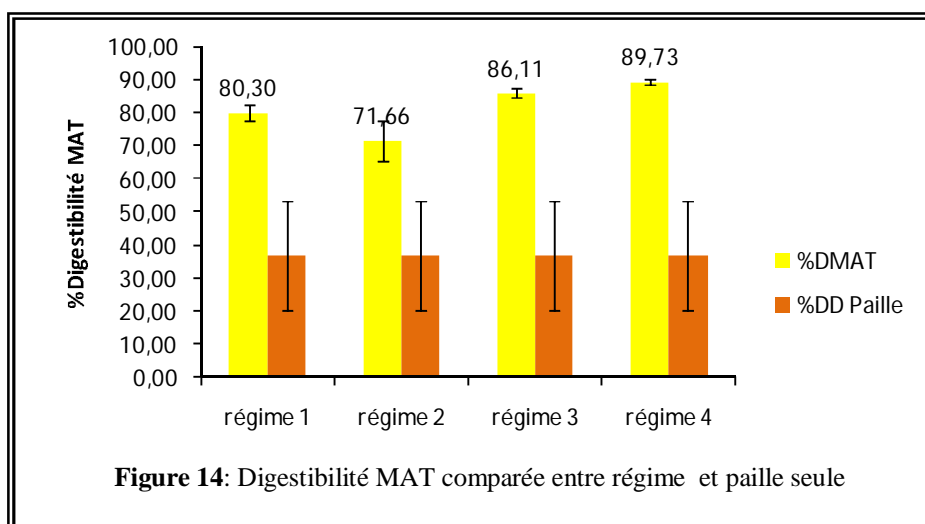
la digestibilité de la paille seule, enregistrant une différence hautement significative à  $p \leq 1\%$ , pour la D(MAT) avec une valeur de l'ordre de 89%.

L'augmentation de la D(MAT) des régimes 1, 2 et 3, peut s'expliquer par une meilleure disponibilité de l'énergie apportée par l'orge en grain pour le régime 1, et l'interaction féverole - Opuntia pour le régime 3, et l'apport d'Opuntia pour le régime 2. D'une manière globale, Nobel. (1988) et Nefzaoui et al. (1996) ont montré, un régime à base de paille et d'Opuntia, la digestibilité in vivo est de l'ordre 35 à 70% pour la D(MAT).

Nos résultats sont supérieurs à ceux donnés par Degu et Solomon. (2009) et de Nopal. Nobel(1995). Cette différence peut être liée que par la nature de la paille encore plus fortement lignifiée que la notre.

Le régime 4, bien qu'il soit très digestible pour tous ses constituants étudiés (Tableau 8), par rapport aux autres régimes, ne peut constituer une ration entière. Il a montré ses limites : perte de poids et un transit digestif très rapide, compte tenu de sa richesse en eau, supérieure à 90 %, et de son taux de potassium de l'ordre de 2.38 % de la MS.

Un effet laxatif, apparaît, lorsque le volume de cactus dans la ration est élevé plus de 60% de MS. Ce problème est facile à résoudre, par l'apport de petites quantités de paille ou de foin avant la distribution du cactus suffisante pour avoir un transit normal.



D'une manière globale, Nobel, (1995) et Nefzaoui, et al. (1996) ont montré qu'un régime à base de paille et d'Opuntia, la digestibilité in vivo est de l'ordre de 60 à 65% pour la D(MS), 60 à 70%, pour la D(MO), 40 à 50 % pour la D(CB) et 35 à 70% la D(MAT). Nos résultats, où, nous avons incorporé l'Opuntia sont de  $58.4 \pm 5.3$  D(MS),  $63 \pm 4.75$  D(MO),  $46.86 \pm 5.1$  D(CB),  $71.66 \pm 6,2$  D(MAT), pour un taux d'ingestion de la raquette d'Opuntia de

l'ordre de 52 %. Nous avons enregistré une digestibilité de  $62.56 \pm 3.5$  D (MS),  $66.8 \pm 3.7$  D(MO),  $61.52 \pm 3.31$  D(CB), et  $86.11 \pm 1.38$  D(MAT), pour un taux d'incorporation de 23%. Nos résultats sont en conformité avec les auteurs sus cités, et que ces différentes digestibilités sont similaires aux cultures fourragères communes (Nefzaoui et Bensalem. 1998).

Les résultats de l'excrétion fécale en g de MS sont respectivement de l'ordre de  $246.56 \pm 20.93$  pour le régime1,  $372.31 \pm 68.48$  pour le régime2,  $302.16 \pm 49.01$  pour le régime3 et  $133.4 \pm 3.56$  pour le régime 4 et se rapprochent des résultats de (Carle et Dulphy 1980) qui sont de l'ordre de 455g brebis taries de poids 59 kg, 560g pour un mouton de 73 kg, 390g pour une chèvre de 46 kg. (Voir annexe B).

#### **III.3.8.4. Calcul de la digestibilité différentielle de la paille d'orge**

La digestibilité différentielle, est une méthode qui permet d'obtenir une approximation de la digestibilité des aliments qui ne peuvent constituer à eux seuls, une ration, soit en raison de leur composition, soit à cause de leur faible appétence.

Le schéma type de cette digestibilité est le suivant :

Soient A et B, 2 composants de la ration dont B (Opuntia) ne peut être administré seul à l'animal.

Une deuxième expérience, utilise la ration (A + B) : A : paille, B : Opuntia, c'est à dire le régime 2, dans ces proportions connues. A partir des ces derniers résultats et par différence, et en utilisant les données de B de la première expérience nous obtenons les coefficients de A.

Le calcul de ce type de digestibilité a été utilisé pour apprécier les valeurs de la paille et de l'Opuntia. (Voir annexe B).

**Tableau 10:** Digestibilité de la paille seule en (%) de MS

	MS	MO	CB	MAT
paille distribuée	661.5±46.8	615.5±34	178.54±16.4	32.41±2
Opuntia distribuée	425±0	369.24±0	49.72±0	181.9
Paille ingérée	393±46.8	362.5±34	162.6±16,4	13.35±2
Opuntia ingérée	425±0	369.24±0	49.72±0	25.63±0
paille refusée	268.5±34.7	253±34	128.81±16.4	6.78±2
Opuntia refusée	0	0	0	0
paille excrétée	215.±52.8	177.15±41.2	105.34±15	8.44±2.9
Opuntia excrétée	125.34±7.02	93.8±41.2	7.58±0.65	2.63±0.27
digestibilité paille	45±11%	51±9%	35± 6%	36 ± 16

#### II.3.8.4.1. Digestibilité différentielle de la paille d'orge

Les résultats, de la digestibilité différentielle de la paille seule, sont de l'ordre de 45 ±11% pour la MS ; 51 ± 9% pour la MO ; 35±6% pour la CB et de 36 ±16% pour la paille. Selon les travaux de Chehma et al. (2003) ; la digestibilité in vivo des régimes à paille d'orge sont de l'ordre de 45.06 ± 2.05 pour la D (MS), 53.46±2.66 pour la D (MO), 40.41± 2.17pour la D(CB) et 55.8±1.68 pour la D (MAT).

La variation de la digestibilité de la MO selon (l'INRA, 1988) varie de 35 à 51 ; par contre la digestibilité différentielle de la MO de la paille a varié de 42% minimum à 60% maximum, soit un écart de +7 % minimum à + 9% maximum et un écart moyen évalué à +8%. La digestibilité in vivo de la MO du régime 2 oscille entre 58% à 67% passant par une digestibilité moyenne de 63% soit une augmentation minimale de +16 à +8% qui passe par un écart moyen de +12%.

Les résultats présentés dans le tableau 10 semblent donc attribuer une digestibilité appréciable du régime 2 le situant au niveau d'un fourrage de bonne qualité. Donc, il est certain que l'incorporation de l'Opuntia améliore la digestibilité de la matière organique du régime à base de paille.

Il faut dire, que toutes les causes de variation de la digestibilité des pailles, sont malheureusement encore difficiles à prédire, ainsi que celles de l'aptitude propre, des animaux

à digérer des régimes à base de fourrages très lignifiés, et doivent être prises en considération pour la conception de systèmes alimentaires, permettant d'optimiser les pailles dans les régions où les fourrages classiques sont déficitaires.

La digestibilité des pailles, varie suivant leur proportion respective en tiges plus gaines et en limbes et selon la proportion et la composition des constituants pariétaux et cellulaires de ces organes. Les principaux facteurs responsables de la variation de la composition morphologiques et chimiques sont :

- ceux du milieu dans lequel la plante donnant la paille a été cultivée : lumière, température, fourniture, en eau, fertilisation, présence d'adventices ;

- le mode de récolte : type et réglage de la machine de la machine entraînant des pertes de limbes plus ou moins importantes teneur, en matière sèche et degré de maturité de la plante lors du battage, hauteur de coupe, temps de séjour en andains au sol ,

- l'espèce et la variété de la plante et l'interaction génotype X milieu

#### **II.3.8.5. Conclusion**

Les résultats obtenus de la digestibilité in vivo, montrent que la D (MS) des différents régimes s'est améliorée quelque soit le régime par rapport à un régime à base de paille seule et que l'apport de l'Opuntia a amélioré la D (MS) notamment du régime 2.

La D(MO) du régime 2 (paille +Opuntia), s'est nettement améliorée 63 %, contre une digestibilité de la matière organique de 40 % pour un régime à paille, soit une augmentation de 23 points. Suivi d'un coût économique le plus bas évalué à 12.5 DA soit 0.11 euros la ration, pour le régime 2. Les résultats présentés dans le tableau 10 semblent donc attribuer une digestibilité appréciable du régime 2 le situant au niveau d'un fourrage de bonne qualité.

### III.4. Expérimentation 4. : Niveau d'alimentation, apport de la ration, GMQ ration et GMQ théorique en g par régime en cross over et par lot (n=8.)

#### III.4.1 Calcul des niveaux d'alimentation

Les niveaux d'alimentation ont tenu compte de la MSI, de MODI et de MADI.

NA pour l'énergie = Quantité de MODI (g/kg  $P^{0.75}$ )/ 23g. 23 étant la quantité de matière organique digestible à apporter par Kg de  $P^{0.75}$  pour couvrir les besoins d'entretien du mouton. MODI= MO ingéré\*D(MO).

NA pour l'azote = Quantité de MADI (g/kg  $P^{0.75}$ )/2.52. 2.52 étant la quantité de matière azotée digestible à apporter par Kg de  $P^{0.75}$  MADI= MAD ingéré\* D(MAT).

(MSI : matière sèche ingérée, MOI : matière organique ingérée, MODI : matière organique digérée, MADI: matière azotée digérée, NA : niveau d'alimentation.)

L'évolution du poids vif, les brebis ont été pesées à jeun, une fois par semaine tout au long de l'essai pour l'observation de l'évolution du poids vif, et le gain moyen quotidien ou la perte de poids. (Voir annexe D)

#### III.4.2. Calcul des besoins d'entretien en UFL et en MAD

Les besoins d'entretien en UFL =  $P^{0.75} * 0.033$  ; 0.033 étant la quantité d'UFL par Kg de  $P^{0.75}$  pour couvrir les besoins d'entretien du mouton.

Les besoins d'entretien en MAD =  $P^{0.75} * 2.52$  ; 2.52 étant la quantité de MAD par Kg de  $P^{0.75}$  pour couvrir les besoins d'entretien du mouton.

Les besoins d'entretien et les quantités d'UF ingérées, tenant compte du GMQ réalisé et théorique ; il en est découlé le calcul du niveau alimentaire atteint par les animaux sur les 4 régimes prédéterminés : régime1 (paille + orge en grains ; régime 2 (paille + Opuntia) ; régime 3(paille + Opuntia + féverole) ; régime 4 (Opuntia seulement). Les résultats sont consignés dans le tableau 11.

Les résultats des niveaux d'alimentation (NA) permettent d'évaluer si ce niveau est susceptible de couvrir les besoins d'entretien de la brebis. Les apports de la ration ont permis de confronter le GMQ permis par l'énergie et l'azote de la ration et le GMQ théorique.

Pour un gain de poids de 100g nécessite la fourniture de 0.32 UFL INRA. (1988). Pour une perte de poids de 100 g correspond à la couverture de 0.25UF, INRA. (1978). Le GMQ

permis par les MAD supplémentaires ou déficitaires sachant pour un gain ou perte de poids, il correspond à la couverture de 24 g de MAD. , INRA. (1978).

**Tableau 11** : Niveau d'alimentation, apport de la ration, GMQ ration et GMQ théorique en g par régime en cross over et par lot n=8.

$p^{0.75}$	15.5±1.1	16.25±0.68	15.9±0.8	16.5±0.8	T
BE en UFL	0.51± 0.03	0.53 ± 0.02	0.52 ± 0.02	0.54± 0.02	
MODI g / $p^{0.75}$	35.63 ± 2.5	28.4± 2.2	31.3± 1.8	18.5 ± 4.15	
NA énergie =M ODI / 23	1.54 ±0.05 <sup>a</sup>	1.23 ± 0.11 <sup>b</sup>	1.36 ± 0.13 <sup>b</sup>	0.80 ± 0.08 <sup>d</sup>	**
UFL totales ingérées BE*NA	0.78 ± 0.06	0.65 ± 0.05	0.70± 0.04	0.42 ± 0.05	
GMQ énergie mesuré en g	75 ± 22 <sup>a</sup>	26 ± 7.2 <sup>b</sup>	93 ± 19 <sup>c</sup>	-83 ± 13.2 <sup>d</sup>	**
GMQ théorique en g	84	68	56	- 44	
BE en MAD	38.05 ± 2.7	40.8 ± 1.51	40 ± 2	40.8 ± 2.7	
MAD totales ingérées en g	37.9 ± 2,32	27.7 ± 1,83	50.8 ± 2.73	26.94 ± 3.2	
MAD totales ingérées - BE MAD	0	-13.1	+10.8	-13.86	
NA azote = MADI / 2.52	1 ± 0 .02 <sup>a</sup>	0.67 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.26 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.65 ± 0.03 <sup>b</sup>	**
<sup>ab, bc,</sup> dans une même ligne, lorsque les lettres sont différentes, les différences sont hautement significatives à (( $p < 0.01$ )).					

### III.4.3. Niveau d'alimentation régime 1 (témoin)

Concernant le niveau d'alimentation, le régime1 indique un NA de 1.54±0.05, pour l'énergie et 1±0.02 pour l'azote, cette augmentation du niveau énergétique s'explique par la richesse de la ration en glucides fermentescibles qu'apporte l'orge en grains.

En effet pour la couverture des besoins d'entretien le NA devrait être égal à 1, or cette situation d'entretien est difficile à réaliser, car il n'existe pas sur le plan nutritionnel, des dépenses d'entretien et des dépenses de production séparées : puisque ces dépenses ne correspondent pas à des métabolismes distincts (Jarrige 1980).

Ce régime a enregistré un GMQ mesuré de 75g ± 22g. Certes il couvre les besoins d'entretien des animaux tant énergétique qu'azoté Cependant ce régime ne peut être un régime d'extrême disette compte tenu de la non disponibilité de l'orge en grains en condition d'aridité. (Voir Introduction).

### III.4.3. Niveau d'alimentation régime 2

Le régime 2 révèle un niveau d'alimentation de  $1,23 \pm 0,11$  pour l'énergie, cela s'explique par l'élévation de la proportion de glucides hydrosolubles apportée par l'Opuntia en revanche le niveau azoté est de l'ordre de  $0,67 \pm 0,09$ , Il a enregistré un gain de poids de l'ordre de  $26 \text{ g} \pm 7$ , par contre les MAD de la ration indique un déficit de 13.1g, dans ce cas les apports en MAD sont trop faibles pour être complétés par une mobilisation modérée des réserves, mais notre objectif est atteint, il couvre les besoins énergétiques des animaux.

Les études de Degu et Solomon. (2009) ont enregistré un gain de poids de 20g à base d'un régime de (paille d'eragrostis + 172g de MS d'Opuntia) alors que Tegegne et al.(2005) ont noté une perte de poids de 27g sur un régime de (paille de blé + Opuntia), et chaque animal a son propre gain moyen quotidien.

Les travaux de Nefzaoui et Bensalem. (1998) ont affirmé qu'il est possible de couvrir les besoins d'entretien pour l'énergie en utilisant des régimes à base d'Opuntia inerme avec 300g de MS de paille, Nos résultats sont compris entre ceux révélés par Tegegne et al. (2005), Degu et Solomon. (2009) et Nefzaoui et Bensalem. (1998). Bien que le régime 2 n'ait enregistré un gain de poids conséquent,  $26 \pm 7 \text{ g}$  ; il est en mesure de couvrir ses besoins énergétiques d'entretien, avec 393 g de MS de paille et 425g de MS d'Opuntia. (Tableaux 8 et 11).

### III.4.4. Niveau d'alimentation régime 3

Le régime 03, c'est le régime le plus équilibré sur le plan énergétique et azoté comme le montre ses NA :  $1,36 \pm 0,13$  pour l'énergie et  $1,26 \pm 0,03$  pour l'azote. L'augmentation du niveau azoté s'explique par l'élévation de la proportion d'azote apportée par la féverole dans la ration. Un GMQ mesuré de l'ordre de  $93 \text{ g} \pm 17$  59g. Ce régime couvre largement ses besoins d'entretien.

Néanmoins le coût de la ration est élevé, et la féverole ne peut être incorporée dans une ration d'entretien, par contre, son remplacement par une source azotée moins onéreuse de type *Atriplex canescens* espèce largement répandue en milieu steppique, s'avère un choix judicieux. Les résultats de Tegegne (2005) en Ethiopie ont indiqué un gain de poids quotidien de 41.5g sur un régime constitué de (paille non traitée+ Opuntia +son de blé), les résultats de Degu et Solomon (2009) ont enregistré un gain de poids de 69g avec un régime composé de (paille d'eragrostis + 172 g d'Opuntia et 145g de tourteaux de coton).

Les travaux de (Bensalem et Nefzaoui 1996) en Tunisie ont obtenu un GMQ de 55 g avec une ration composé de (241g de MS d'Opuntia inerme + 308g de MS de paille d'orge + 149g de foin +08g d'urée). Une étude menée par (Fuentes 1991) au Mexique sur vaches en pâturage libre recevant un complément de drèches de maïs et 15 kg d'Opuntia, le gain quotidien a atteint les 600g/jour. Nos résultats sont de l'ordre 93 g de GMQ avec (485g de MS de paille d'orge + 189g d'Opuntia + 125 g de fèverole),

#### **III.4.5. Niveau d'alimentation régime 4**

Le régime 4 indique un NA faible de l'ordre de  $0.80 \pm 0.03$  pour l'énergie et  $0.65 \pm 0.03$  pour l'azote, suivi d'une perte de poids de 83g/jour (tableau 11).

Les travaux de (Terblanche et al 1971) qui ont étudié l'influence d'un régime, basé exclusivement d'Opuntia sur la perte de poids d'ovins Mérinos, ont enregistré, une chute de poids de 620g / animal/semaine, avec un taux de 10% de MS.

Nos résultats ont montré la plus forte baisse de poids avec 9.45% de MS d'Opuntia, cette chute de poids et l'effet laxatif sont dues probablement à un rapport énergie / protéines inadéquat (Santana 1992).

Néanmoins son association dans une ration améliore la digestibilité, peut améliorer l'ingéré de la paille (Bensalem et Nefzaoui 1996). En revanche, sa teneur en eau peut être considérée comme un facteur positif, car elle contribue à résoudre le problème d'abreuvement dans les zones arides. Une ration qui contient 300 g de MS d'Opuntia sa consommation d'eau est nulle ( Nefzaoui et Bensalem 1998).

Il est à rappeler, que l'étude s'est réalisée dans un contexte bien déterminé d'aridité; la priorité est de faire sortir les animaux d'une situation alimentaire sévère, or pour la couverture des besoins d'entretien des ovins à l'énergie métabolisable, (EM) à base d'un régime de foins et/ou de paille, les niveaux d'alimentation observés sont en moyenne de 1.35 et peuvent varier de (0.6 à 2.4) pour les foins et de (0.7 à 0.8) pour les pailles distribués seules (INRA, 1988). Nos résultats sont dans l'intervalle (0.7-1.35). Bien que ce régime n'ait enregistré un gain de poids conséquent de  $26 \pm 7.2$ , nous le rappelons encore une fois qu'il est en mesure de couvrir ses besoins énergétiques d'entretien, avec 393 g de MS de paille et 425g de MS d'Opuntia (tableau 8).

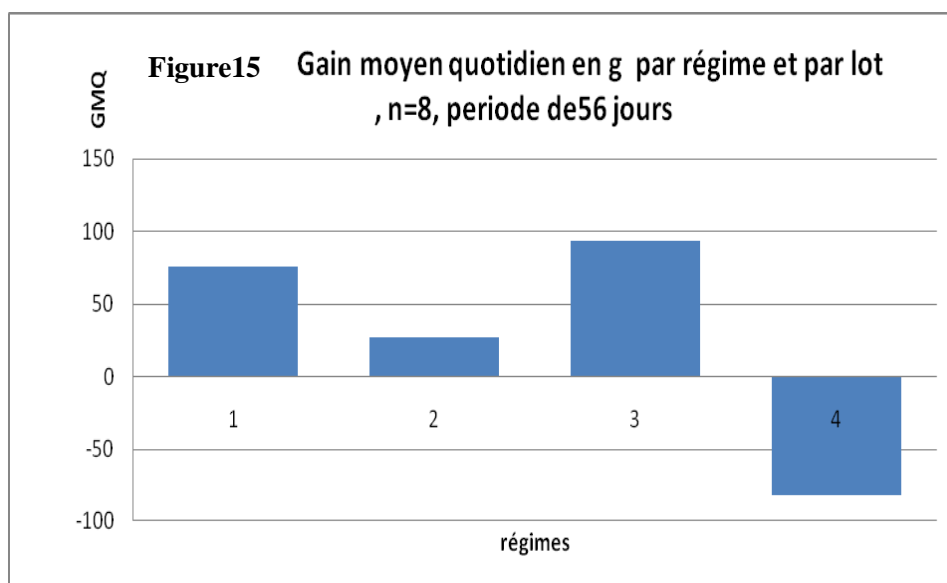
Plus précisément au NA énergie 1.23, la cladode d'Opuntia couvre 80% de l'orge en grains au NA = 1.54 (régime 1) par contre au NA énergie = 1, c'est à dire aux besoins d'entretien, l'Opuntia remplace largement la ration d'orge en grains. Le résultat du niveau

énergétique montre que le régime 2 (paille + Opuntia) est, le plus adéquat à couvrir les besoins d'entretien dans un contexte de sécheresse.

L'analyse de la différence entre 2 moyennes montre qu'il existe une différence hautement significative entre les NA énergie, pour les couples 4 et 1, 4 et 3, 4 et 2, 2 et 1, et entre le couple 3 et 1, par contre il n'existe pas de différence hautement significative entre 2 et 3, mais une différence significative entre 2 et 3.

L'analyse de la différence entre 2 moyennes montre qu'il existe une différence hautement significative entre les NA azote, pour les couples 4 et 1, 4 et 3, 4 et 2, 2 et 1, et entre le couple 3 et 1, par contre il n'existe pas de différence hautement significative ni significative entre 2 et 4.

Au taux d'ingestion 23 % et 52 %, l'Opuntia ne compromet pas le métabolisme de la brebis. Nos résultats sont en accord avec ceux de (Nefzaoui et Bensalem,1998), qui affirment qu'une ration à base de paille associée à 500g d'Opuntia ne présente aucun problème de digestion. Les résultats sont consignés dans le tableau 11.



#### III.4.6. Conclusion

Le régime 2 révèle un niveau d'alimentation de  $1.23 \pm 0.11$  pour l'énergie, cela s'explique par l'élévation de la proportion de glucides hydrosolubles apportée par l'Opuntia en revanche le niveau azoté est de l'ordre de  $0.67 \pm 0.09$ , mais il est en mesure de couvrir ses besoins énergétiques d'entretien, avec 393 g de MS de paille et 425g de MS d'Opuntia, et les 300 g d'orge en grains du régime témoin, peuvent être aisément remplacé par les 425 g d'Opuntia pour couvrir les besoins énergétiques d'entretien de la brebis, le régime 2 (paille +

Opuntia) est le plus adéquat à couvrir les besoins d'entretien dans un contexte de sécheresse, suivi d'un coût économique le plus bas. (Voir tableau n° 8).

Au taux d'ingestion 23 % et 52 %, l'Opuntia ne compromet pas le métabolisme de la brebis.

### **III.5 Expérimentation 5 : Effets de la cladode sur les paramètres biochimiques de la brebis**

L'objet de cette expérimentation, est de répondre aux questionnements suivants :

- Est-il possible d'évaluer un profil biochimique d'un régime à base de cladode, sans que la physiologie de l'animal ne soit compromise ou perturbée ? (le maintien des paramètres aux normes de l'espèce ovine).

- Y'a-t-il d'autres domaines d'applications?

#### **III.5. 1. Rappel normes physiologiques**

##### **III.5. 1.1. Les normes physiologiques de la glycémie**

La glycémie est normalement comprise entre 0.4 et 0.7 g / l chez l'espèce ovine et d'après Haddad. (1981) elle est de l'ordre de  $0.4 \pm 0.07$  pour des régimes à base de foin, elle est de  $0.61 \pm 0.1$  selon Smith et al. (1978) et de  $0.55 \pm 0.05$  selon Ndoutamia et Ganda. (2005) chez l'espèce ovine arabe.

##### **III.5.1.2. Les normes physiologiques de l'urémie**

Les valeurs usuelles de l'urémie sont de l'ordre de  $0.28 \pm 0.04$  g / l selon Smith et al. (1978),  $0.36 \pm 0.04$  g / l Popof. (1979), et de  $0.43 \pm 0.08$  selon Haddad. (1981) pour un régime à base de foin, et  $0.32 \pm 0.17$  selon Ndoutamia et Ganda. (2005) et de 0.2 à 0.3 selon Brugere – Picoux (2002)

##### **III.5.1.3. Les normes physiologiques de la cholestérolémie**

Les normes physiologiques de la cholestérolémie en (g / l) sont de  $0.57 \pm 0.08$  Smith et al.(1978) ,  $0.63 \pm 0.082$  l Popof. (1979), et de  $0.65 \pm 0.51$  Ndoutamia et Ganda. (2005) pour l'espèce ovine arabe, elle est de  $0.73 \pm 0.35$  pour l'espèce ovine peulhs cités par Ndoutamia et Ganda. (2005).

##### **III.5.1.4. Les normes physiologiques des triglycérides**

Quant aux valeurs usuelles de triglycérides sont de  $0.59 \pm 0.19$  pour l'espèce ovine arabe, et de  $0.33 \pm 0.12$  pour l'espèce Kirdimi du Tchad Ndoutamia et Ganda, (2005) et de 0.2 à 0.4 g / l chez la brebis vide, Brugere Picoux, (2002).

**III.5.1.5. Les normes physiologiques d'albuminémie**

Les normes bibliographiques d'albuminémie sont de l'ordre de 41 à 60 g / l d'après Smith et al. (1978) ,39 ± 7.2 selon Healy.(1979) et de 31.5 ± 1.5 chez Ndoutamia et Ganda. (2005) l'espèce ovine arabe. Nos résultats sont consignés dans le tableau 12.

**Tableau 12:** Paramètres biochimiques avant et après l'incorporation d'Opuntia par régime en cross over R1 VS R4 et R2 VS R3 et par lot n = 8

		R1	R2	R3	R4	T
<b>Glycémie</b>	Avant	0.77±0,009 <sup>A</sup>	059±0.04 <sup>B</sup>	0.73±0,05 <sup>A</sup>	0.67±0.04 <sup>C</sup>	**
	Après	0.52±0,059 <sup>a</sup>	0.48±0,06 <sup>a</sup>	0.398±0,09 <sup>a</sup>	0.6±0.05 <sup>b</sup>	*
<b>Urémie</b>	Avant	0.24±0.035 <sup>a</sup>	0.35±0.1 <sup>a</sup>	0.31±0,03 <sup>a</sup>	0.33±0.02 <sup>a</sup>	DNS
	Après	0.23±0.035 <sup>a</sup>	0.14±0.04 <sup>b</sup>	0.33±0.02 <sup>c</sup>	0.04±0.009 <sup>b</sup>	*
<b>Cholestérol</b>	Avant	1.11±0.24 <sup>a</sup>	1.02±0.14 <sup>a</sup>	1.07±0.17 <sup>a</sup>	1.07±0.17 <sup>a</sup>	DNS
	Après	0.55±0.05 <sup>a</sup>	0.44±0.2 <sup>a</sup>	0.25±0.07 <sup>b</sup>	0.38±0.04 <sup>b</sup>	*
<b>triglycérides</b>	Avant	0.66±0.09 <sup>a</sup>	0.59±0.03 <sup>a</sup>	0.63±0.03 <sup>a</sup>	0.6±0.05 <sup>a</sup>	DNS
	Après	0.4±0.02 <sup>A</sup>	0.08±0.01 <sup>B</sup>	0.06±0.01 <sup>B</sup>	0.08±0.01 <sup>B</sup>	**
<b>Albuminémie</b>	Avant	32.32±2.86 <sup>a</sup>	29.63±3.76 <sup>a</sup>	29.4±5.7 <sup>a</sup>	30±3.56 <sup>a</sup>	DNS
	Après	29.75±2.21 <sup>a</sup>	30.5±5.19 <sup>a</sup>	28.2±6.15 <sup>a</sup>	22±2.58 <sup>a</sup>	DNS

\*\* : différence hautement significative à p < 0.01

\* : différence significative à p < 0.05

### III.5. 2. Résultats et discussions glycémie

Les résultats de la glycémie en (g / l) de (R1), (R2), (R3) et (R4) sont respectivement  $0.52 \pm 0.059$ ,  $0.48 \pm 0.06$ ,  $0.398 \pm 0.09$ ,  $0.6 \pm 0.05$ , et demeurent aux normes de l'espèce, quelque soit le régime, chaque animal a sa propre moyenne glycémique.

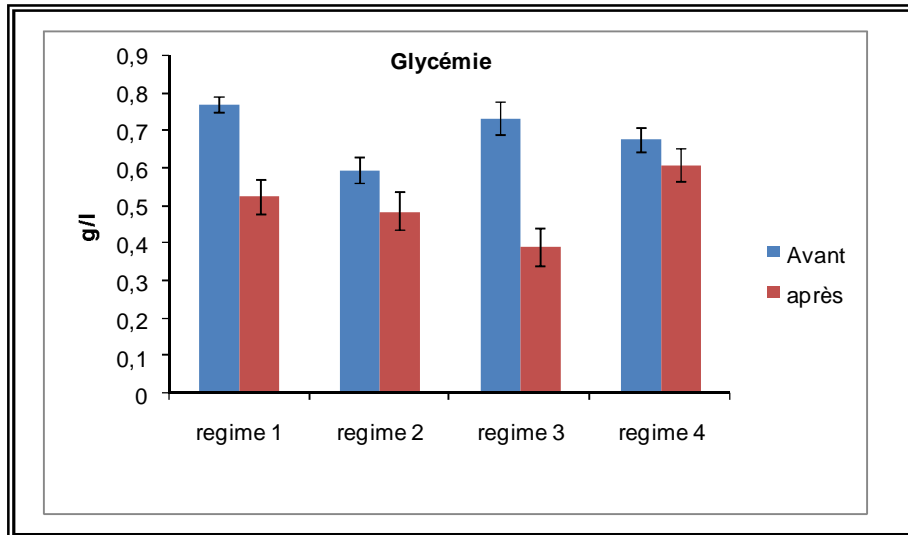
Cependant, la glycémie avant incorporation de l'*Opuntia* est en hausse (tableau 12), mais reste aux normes : ceci peut s'expliquer par l'apport de concentré ingéré avant introduction de l'*Opuntia*, elle s'est abaissée sensiblement après incorporation de l'*Opuntia*, car la ration distribuée est en quantité limitée à l'entretien de la brebis, mais cette réduction de la glycémie chez le ruminant à faible production ou nulle peut être maintenue sans aucun problème, d'après Steel.(1973), c'est l'exemple du régime (4) où l'animal a ingéré seulement l'*Opuntia* arrive à entretenir sa glycémie, voir même supérieur à celle du régime 1 (témoin).

Ceci confirme que l'*Opuntia* est riche en glucides hydrosolubles (Nefzaoui ; 1998) et récemment Ayadi et al ( 2009) ont déterminé que la concentration d'amidon est de 130.9 g / kg de MS et 60.1g de sucres solubles / kg de MS dont 90 % de fructose, donc la glycémie est un bon indicateur du degré de satisfaction des besoins énergétiques des animaux. Ces faits montrent que le ruminant soumis à un régime d'extrême disette est capable de couvrir ses besoins énergétiques à base de régime d'*Opuntia*.

Bien que la glycémie ne soit pas un critère valable, car de nombreux résultats expérimentaux relèvent des interprétations contradictoires selon l'auteur Fisher. (1975) observe des variations de la glycémie allant dans le même sens que bilan énergétique alors que d'autres n'observent pas de variation malgré des chute importante des niveaux d'ingestion.

Cependant, sur des études effectuées sur des rats Wistar et les résultats de Brett (1974) montrent que la glycémie a augmenté 20 minutes après l'ingestion de l'*Opuntia* sur des rats sains, les travaux de Mathews. (2002) ont indiqué que 03 heures après l'ingestion de l'*Opuntia* la glycémie s'est équilibrée que ce soit chez des rats sains, ou diabétiques. Le régime 4, tout en maintenant sa glycémie aux normes a enregistré une perte de poids de l'ordre  $83 \text{ g} \pm 19.2$  (figure 15).

Les études de Hernandez. (2002) ont montré que l'incorporation la cladode a un effet négatif sur la perte de poids sur des rats, de même les travaux de Terblanche. (1971) ont relevé qu'un régime basé exclusivement d'*Opuntia* a enregistré une chute de poids de 620 g / par semaine sur des brebis mérinos. Il semble alors que l'*Opuntia* a un effet régulateur sur le taux de glycémie suivi d'une perte poids.



**Figure 16 :** Glycémie avant et après incorporation de la cladode

### III.5.3. Résultats et discussions urémie

Les résultats de l'urémie sont en concordance avec les auteurs pour les régimes (1) et (3),  $0.23 \pm 0.035$  et  $0.33 \pm 0.02$ , respectivement, car l'apport des concentrés, orge en grains et féverole, sont moyennement, à riches, en azote fermentescible, tandis que les régimes (2) et, (4), le taux d'urémie est nettement en baisse,  $0.14 \pm 0.04$  et  $0.04 \pm 0.009$ , respectivement, cela signifie que les régimes indiqués confirment le faible apport des MAT par l'*Opuntia* relaté par Nefzaoui. (1998) (Tableau 12), car l'urémie augmente avec le taux protéique (Ayadi, 2009) et il peut constituer un critère valable de l'état de nutrition azotée des animaux.

En conséquence les régimes (2) et (4) doivent être complétés par une source azotée de type paille traitée à l'ammoniac ou par de l'urée, mais malgré son déficit en MAT, le (2) est capable de maintenir son poids initial voir même un gain de poids de l'ordre de  $26 \text{ g} \pm 7 \text{ g}$ , avec seulement 393 g de MS de paille et 425g de MS d'*Opuntia* (Tableau 1).

Tandis que le lot témoin ration classique de l'espèce ovine a enregistré un gain de poids de  $75 \pm 22 \text{ g}$ , avec 516 g de MS de paille et 300 g de MS d'orge en grains, il a été démontré que le GMQ est plus important pour les régimes à base d'orge que les régimes à base d'*Opuntia* 46 g VS 39 g selon Abidi et al. (2009).

Le régime 3 indique un gain de poids de  $93 \pm 18 \text{ g}$  car l'incorporation de la féverole à compenser le déficit azoté enregistré par l'*Opuntia*. Les études de Dégu et Solomon. (2010) en Ethiopie ont indiqué un gain de poids moyen quotidien de 41.5 g sur un régime constitué de paille non traitée associée à l'*Opuntia* et son de blé et 75 g de GMQ pour un régime à base de paille traitée à l'urée associée à l'*Opuntia* et son de blé, toujours dans les mêmes travaux de

Dégu et Solomon. (2010) ont enregistré un gain de poids de 20 g avec un régime composé de paille d'eragrostis associé à 172 g d'Opuntia.

Quant aux travaux de Nefzaoui et Bensalem. (1998) ont affirmé qu'il est possible de couvrir les besoins d'entretien pour l'énergie en utilisant des régimes à base d'Opuntia inermis avec 300 g de matière sèche de paille. Nos résultats se rapprochent des auteurs suscités pour les régimes (2) et (4).

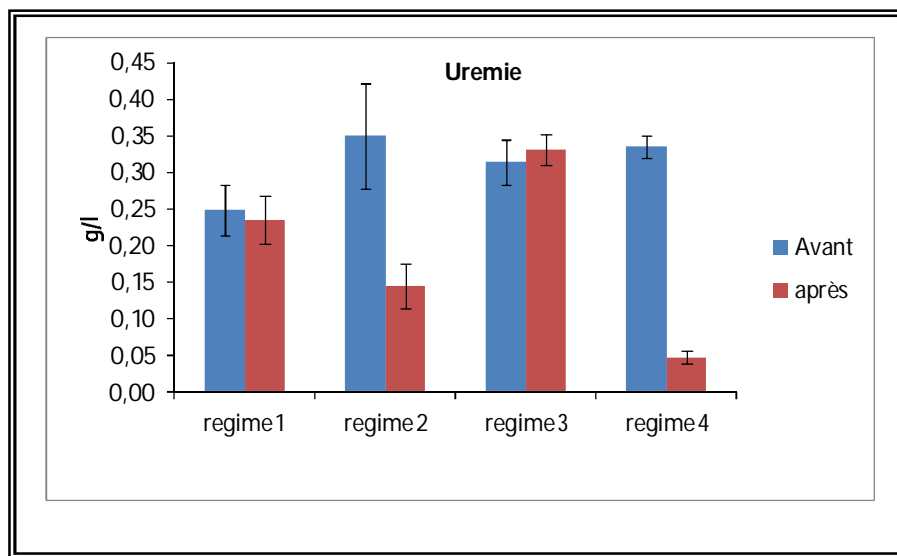


Figure 17 : Urémie avant et après incorporation de la cladode

#### III.5.4. Résultats et discussions cholestérolémie

Les résultats de la cholestérolémie sont en adéquation avec les auteurs pour le régime (1) (témoin) seulement,  $0,55 \pm 0,05$  g / l (tableau 12) or les régimes à base d'Opuntia relèvent une baisse significative à  $p < 0,05$ , 2 interprétations semble plausibles et possibles :

La première montre que l'hypocholestérolémie est rencontrée lors de l'état cachexique de la brebis Haddad. (1981) or les régimes (2) et (3) indiquent un gain de poids de  $26 \pm 7$  et  $93 \pm 17$ .

La seconde interprétation met en évidence le rôle hypocholestérolémiant de la raquette d'Opuntia comme montre les travaux de Frati. (1992) qui a administré des capsules séchées d'Opuntia ficus indica chez des individus sains le taux de cholestérol s'est abaissé d'une manière significative. Les résultats de Wolfram et al. (2002) ont relaté que l'ingestion de la cladode à l'état frais à des individus en bonne santé le taux de cholestérol a diminué. Il est

probable que la pectine d'opuntia interfère dans la biosynthèse du cholestérol d'où sa régulation dans le sang selon Fernandez et al 1992.

Nos résultats représentent  $32\% \pm 2.1$  d'hémicelluloses. Les résultats des pectines hautement et faiblement méthylées sont de l'ordre de  $19\% \pm 1.7$  et  $15\% \pm 1.5$  respectivement soit un total de  $34\% \pm 1.87$  par conséquent un taux de pectines relativement intéressant. De ce fait l'Opuntia est considéré comme un tissu fibreux doté d'un intérêt pharmaceutique et/ou biotechnologique.

D'autres études menées sur les fibres alimentaires ont indiqués une diminution de la lipidémie chez des individus sains Fernandez et al. (1992) ; en revanche le taux de cellulose a montré un effet hypercholestérolémiant ou aucun effet.

Les résultats de Kritchevsky et al (1988) ont montré que la pectine d'*Opuntia* à tendance à réduire le taux de cholestérol en se liant aux acides biliaires et l'augmentation de leurs concentrations activent le catabolisme du cholestérol. Cet effet, hypocholestérolémiant a été observé chez des sujets sains et hyperlipidémiques que rapportent Miettinen et Tarpila. (1977) et que le taux des HDL et LDL a nettement varié chez les humains, le dromadaire, le rat wistar, le lapin, et de même chez les porcs de guinée hyper lipidiques selon Ney et al (1988).

Selon les travaux de Atti, 2006, qui a comparé les acides gras de viande d'une ration à ration à base d'*Opuntia ficus indica* et d'une ration à base d'orge affirme que l'accumulation d'acides gras C18 dans une viande à base de Cactus a augmenté d'une manière significative à ( $p < 0,05$ ) comparativement à une viande provenant d'un régime alimentaire à base d'orge soit une augmentation (+32% pour les ovins et + 43% pour les chèvres). Cette augmentation en acides gras poly insaturés peut exercer un effet favorable sur le système cardio-vasculaire (Roy et al. 2007).

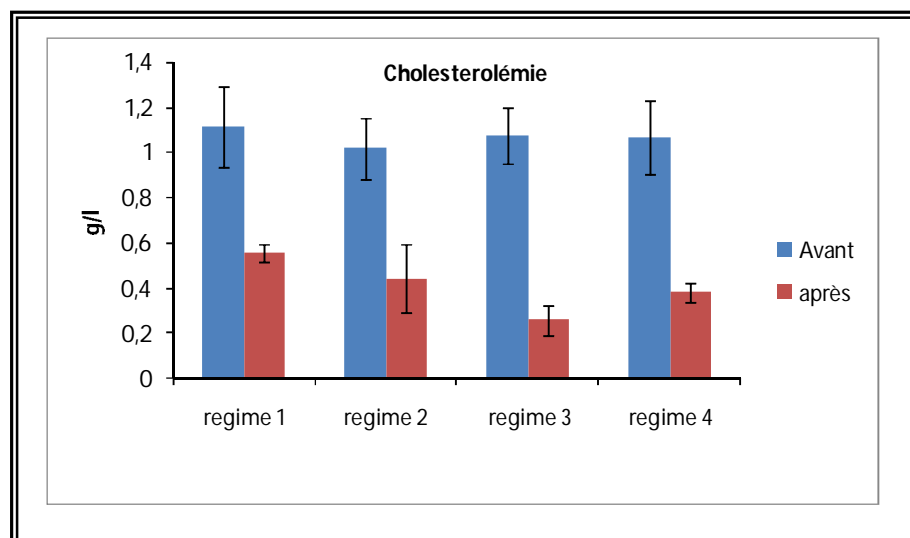


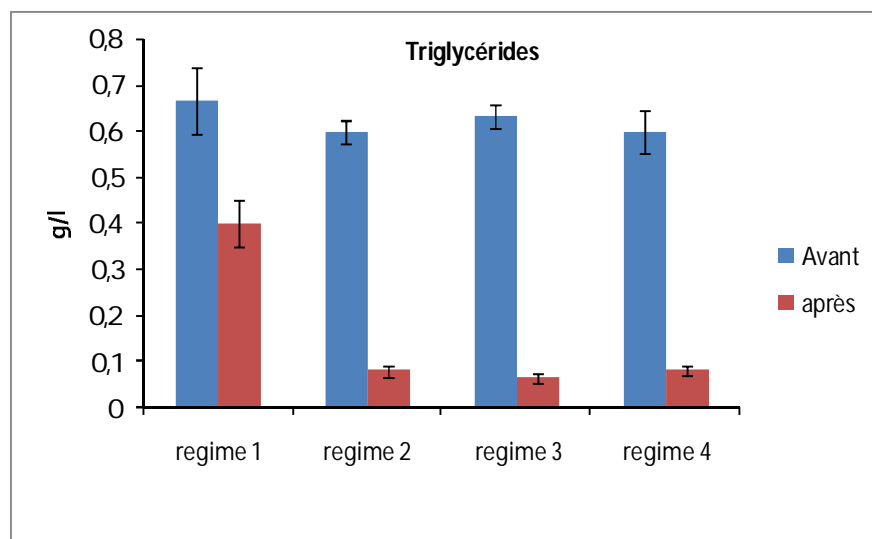
Figure 18 : Cholestérolémie avant et après incorporation de la cladode

### III.5.5. Résultats et discussions triglycérides

Les résultats des triglycérides sont nettement en baisse à l'exception du régime 1,  $0,4 \pm 0,02$ , qui a conservé aux normes son taux de triglycérides, par contre les régimes (3), et (4) à base d'*Opuntia* ont montré une différence hautement significative à  $p < 0,01$  entre le régime témoin et les régimes à base d'*Opuntia*. (Tableau 12).

Les travaux de Chilliard et al.(1998) ont affirmé que l'incorporation de la cladode d'*Opuntia* a modifié de manière très hautement significative à  $p < 0,001$  le taux de triglycérides chez les rats Wistar sains, cependant la concentration élevée de triglycérides chez les rats diabétiques n'a pas diminué de manière très significative avec l'huile de graines du fruit d'*Opuntia*, par contre une diminution de triglycérides a été observé par Suash, (2007) chez les individus diabétiques du type 2 et que cet effet régulateur de la cladode d'*Opuntia* a été recensé chez de nombreuses espèces notamment *Opuntia ficus indica* d'après Frati. (1992) ; *Opuntia Fuliginosa*, Griffith et al. (2003) et *Opuntia Lindheimeri eglem* selon Van Bennekum. (2005).

Ce mécanisme de régulation est encore mal connu il est probable que la pectine de la cladode interfère dans l'absorption des lipides, Van Bennekum. (2005), mais il semble que c'est l'interaction de nombreuses substances telles que les flavonoïdes, les betalaines, et la vitamine E d'après Lee. (2000) qui lui confèrent cette activité hypolépémiant. Statistiquement il n'existe pas de différence significative à  $p < 0,05$  entre les différents régimes à base d'*Opuntia* (tableau 12) (figure 17).



**Figure 19** Triglycérides avant et après incorporation de la cladode

### III.5.6. Profil chromatologique des acides gras de la cladode inerme et âgée

Pour confirmer cette hypothèse, et d'après les résultats de la composition chimique des acides gras de la raquette inerme jeune, le profil chromatographique a révélé la présence d'acide gras saturé C16:0 : l'acide palmitique de l'ordre de 18.29 %, cette présence de C16:0, peut s'expliquer par la cuticule cireuse qui entoure la raquette.

Le montant total des acides gras saturés était plus élevé dans la raquette âgée (21%) que jeune, (voir figure n°22 profil de la raquette inerme âgée). Tandis que les acides gras polyinsaturés (AGPI) sont présents en quantités nettement plus élevés dans la raquette inerme jeune qu'âgée et contiennent des pourcentages élevés de C18:2, acide linoléique de l'ordre de 32.52% et acide linoléique, C18:3 de l'ordre de 19,86% des acides gras totaux) et la somme de C18: 2 et C18: 3, représentaient 52.38, % des acides gras totaux de la raquette inerme jeune contre 35.09% de la raquette inerme âgée et un taux global de C20 acide arachidonique de l'ordre de 6.92%. (Figures n° 20, 21).

Il est connu que les acides gras (C18: 1),(C18: 2 et C18: 3, ) ont des effets sur la santé, y compris la réduction des pathologies cardiovasculaires l'athérosclérose, maladie auto-immune, et le diabète Une augmentation significative du HDL - cholestérol a été observée dans le groupe recevant le régime supplémenté en *Opuntia ficus indica* et il existe une corrélation négative entre les niveaux de HDL-cholestérol et les maladies cardiovasculaires..

Ces résultats montrent qu'*Opuntia ficus indica* peut avoir un effet préventif contre l'athérosclérose. (Ennouri, 2005) et l'acide linoléique est un acide gras essentiel et un

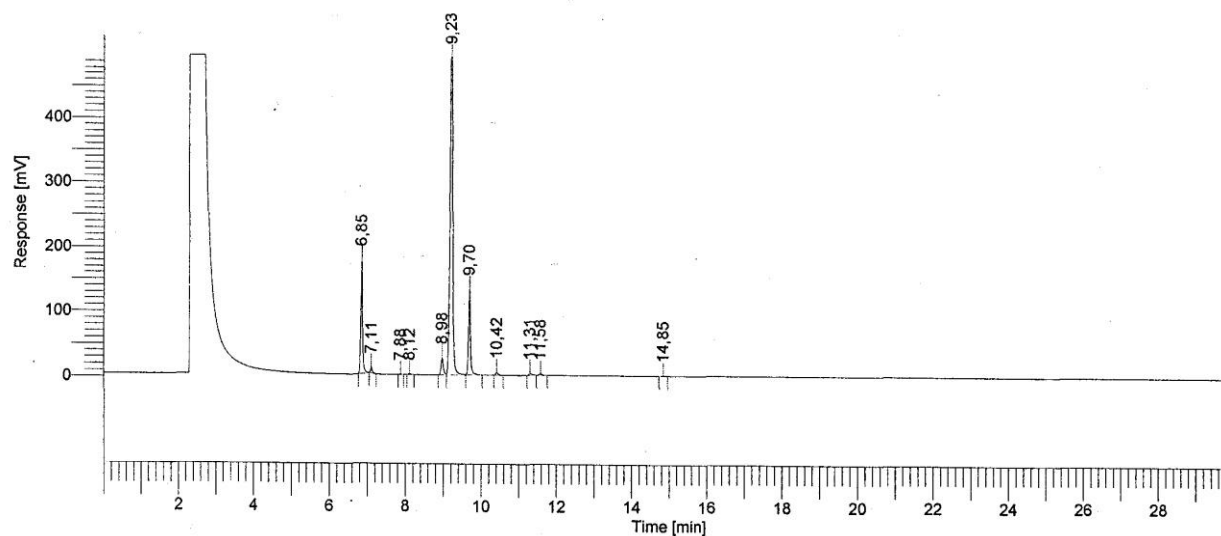
précurseur de biosynthèse de l'acide arachidonique, (Zhou et Nilsson, 2001), a des effets hypocholestérolémiants.

Cependant sur les 19 pics que compte la raquette inerte jeune, nous nous sommes penchés que sur les pics qui intéressent notre étude, mais il est fort probable que les autres pics restants, non identifiés bien qu'ils enregistrent une faible teneur voir insignifiante peuvent avoir un intérêt mais sur un autre aspect biotechnologique, alors que dire pour la raquette inerte âgée qui en compte 32 pics ?

Software Version : 6.3.2.0646  
 Sample Name : REF  
 Instrument Name : CLarus 580 GC\_G12086  
 Rack/Vial : 0/1  
 Sample Amount : 1,000000  
 Cycle : 1

Date : 21/06/2013 14:57:51  
 Data Acquisition Time : 17/06/2013 09:18:06  
 Channel : A  
 Operator : LOARC  
 Dilution Factor : 1,000000

Result File : D:\MGVAG\Resultats\AG\_JUIN\_17\_13\_001-20130617-100815.rst  
 Sequence File : D:\MGVAG\Sequences\Esters\_AVRIL\_24\_2013\_2.seq



### Composition en acides gras

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	6,855	565588,38	177208,85	13,81
2	7,112	28302,98	8955,75	0,69
3	7,882	2163,81	616,21	0,05
4	8,119	4142,01	1029,11	0,10
5	8,981	110427,33	26002,14	2,70
6	9,227	2864314,01	658665,87	69,94
7	9,698	470593,61	132189,12	11,49
8	10,422	18634,46	4287,09	0,46
9	11,305	17347,91	3259,40	0,42
10	11,584	10045,15	1735,98	0,25
11	14,850	3777,32	546,65	0,09
		4095336,95	1,01e+06	100,00

*Handwritten notes:* C16, C18, C18:1, C18:2, C18:3, C18:4, C18:5, C18:6, C18:7, C18:8, C18:9, C18:10, C18:11, C18:12, C18:13, C18:14, C18:15, C18:16, C18:17, C18:18, C18:19, C18:20, C18:21, C18:22, C18:23, C18:24, C18:25, C18:26, C18:27, C18:28, C18:29, C18:30, C18:31, C18:32, C18:33, C18:34, C18:35, C18:36, C18:37, C18:38, C18:39, C18:40, C18:41, C18:42, C18:43, C18:44, C18:45, C18:46, C18:47, C18:48, C18:49, C18:50, C18:51, C18:52, C18:53, C18:54, C18:55, C18:56, C18:57, C18:58, C18:59, C18:60, C18:61, C18:62, C18:63, C18:64, C18:65, C18:66, C18:67, C18:68, C18:69, C18:70, C18:71, C18:72, C18:73, C18:74, C18:75, C18:76, C18:77, C18:78, C18:79, C18:80, C18:81, C18:82, C18:83, C18:84, C18:85, C18:86, C18:87, C18:88, C18:89, C18:90, C18:91, C18:92, C18:93, C18:94, C18:95, C18:96, C18:97, C18:98, C18:99, C18:100.

Operateur : AMAKHMAKH Visa :

Figure 20: profil chromatographique des acides gras d'une huile de référence : huile d'olive



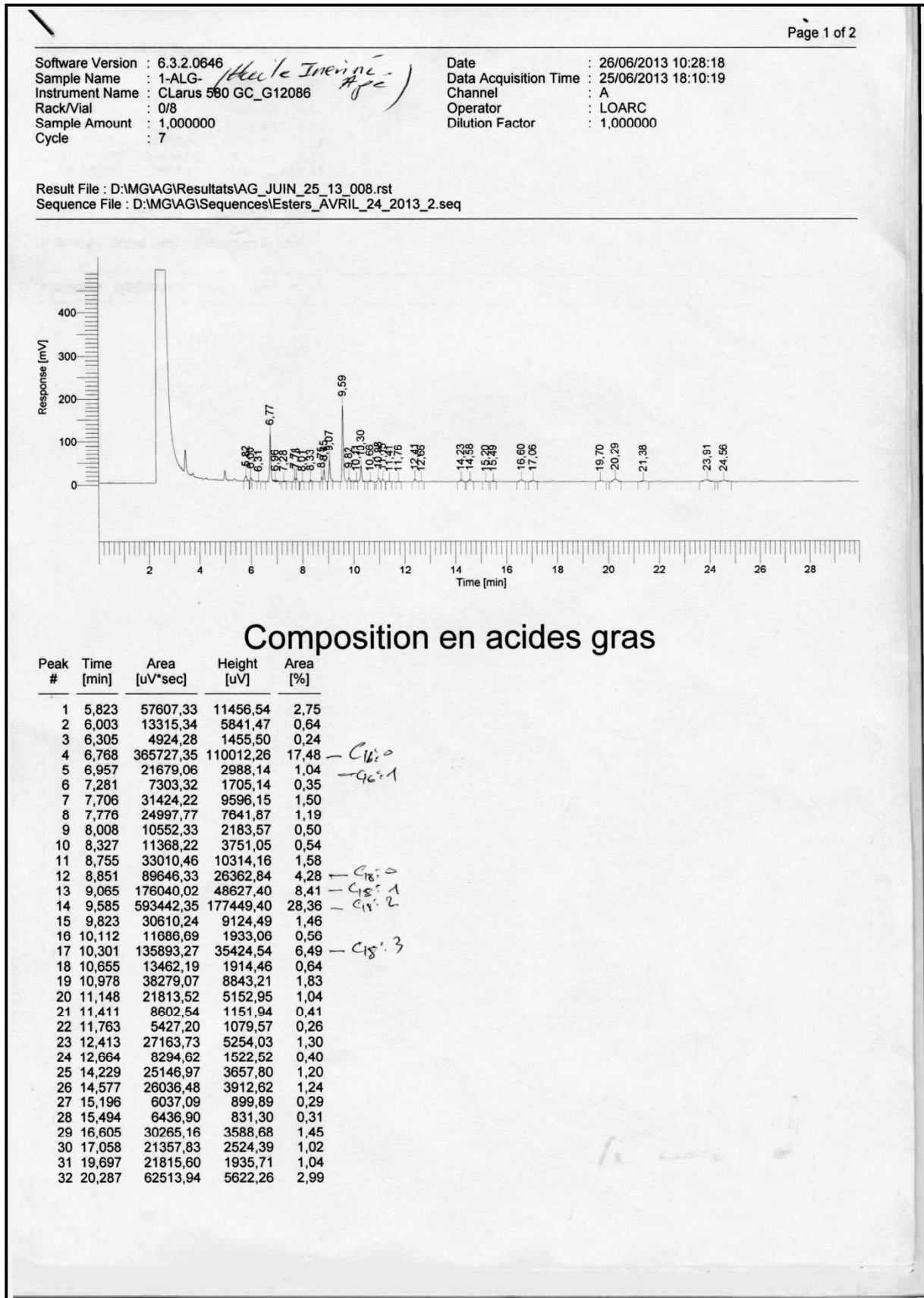
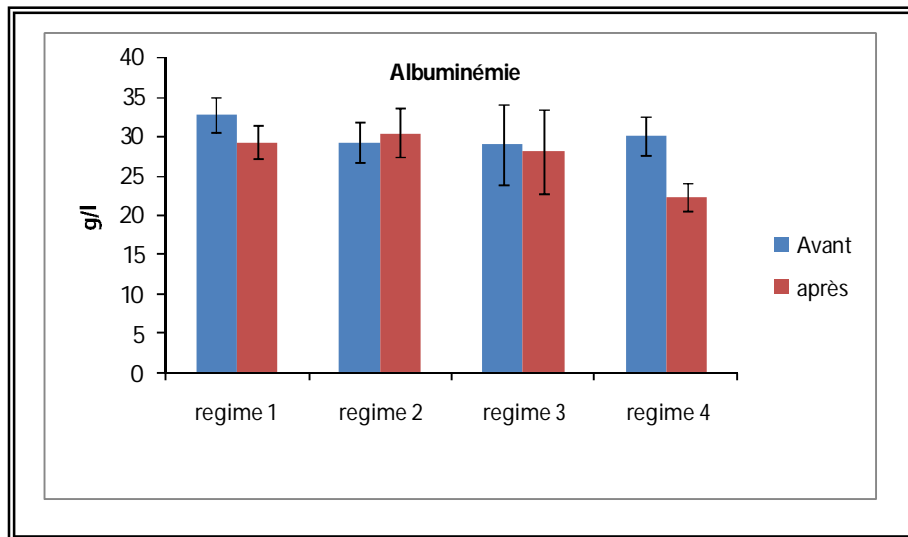


Figure 22 : Profil chromatographique de la raquette inerine âgée

### III.5. 7. Résultats et discussion albuminémie

Le taux d'albuminémie, témoigne de la capacité de stockage des protéines totales, lorsque la ration est pauvre en protéines cas des régimes (2) et (4), l'urée est recyclé dans le rumen est peu d'azote est perdu. En conséquence les acides aminés qui ne sont pas utilisés dans l'anabolisme sont catabolisés dans le foie et sont dégradés soit en CO<sub>2</sub> et en urée, soient fournissent de l'énergie par la voie de la néoglucogenèse, et par conséquence en gain de poids.



**Figure 23:** Albuminémie avant et après incorporation de la cladode

**III.5. 8. Conclusion paramètres biochimiques**

De l'étude biochimique, il en ressort que la glycémie reste aux normes de l'espèce ovine quelque soit le régime et montre le degré de satisfaction des besoins énergétiques des animaux. Un taux d'urémie faible pour les régimes (2) et (4) mais compensé par un taux d'albuminémie stable. Invariablement chez l'animal comme chez l'homme l'incorporation de la cladode, semble montrer l'effet régulateur de la glycémie et hypolépémiant. Les acides gras polyinsaturés (AGPI) sont présents en quantités nettement plus élevés dans la raquette inermee jeune qu'âgée et contiennent des pourcentages élevés de C18:2, acide linoléique de l'ordre de 32.52% et acide linoléique, C18 :3 de l'ordre de 19,86% des acides gras totaux) et la somme de C18: 2 et C18: 3, représentent 52.38, % des acides gras totaux de la raquette inermee jeune contre 35.09% de la raquette inermee âgée.

Il est connu que les acides gras (C18: 1), (C18: 2 et C18: 3,) ont des effets sur la santé, y compris la réduction des pathologies cardiovasculaires l'athérosclérose, maladie auto-immune,et le diabète.

*NB : Des essais cliniques en cours sur l'homme, se réalisent à l'hôpital universitaire de Rabat (Maroc) sur l'effet hypoglycémiant et hypocholestérolémiant de la raquette d'Opuntia, notamment sur le diabète du type 2.Résultats non encore publiés.*

Conclusion

Générale

Dans la chronologie de cette étude, nous pouvons affirmer que la teneur en matière sèche connaît une augmentation avec l'âge de la cladode et cela quelque soit l'espèce armée ou inerme.

Les jeunes cladodes sont riches en eau, avec une moyenne de 90.55%. Le taux de la matière organique diminue de la cladode jeune à la cladode âgée. Les résultats de la composition chimique obtenus montrent une forte teneur en cendres (MM), elle varie entre 13.12 % à 26.32% de la MS. Les cladodes d'âge 1an sont riche en calcium, magnésium, potassium mais possèdent une faible teneur en phosphore.

La teneur en cellulose brute connaît une augmentation régulière avec l'âge chez les deux variantes. Elle est en moyenne de 11.7% chez les cladodes jeunes, et de 17.1 % chez les cladodes âgées.

Les teneurs enregistrées en MAT des cladodes indiquent que le figuier de barbarie présente une faible teneur en MAT et que ce taux en MAT diminue suivant l'âge chez les deux catégories de cladodes et que la diminution de la teneur en MAT est accompagnée par l'augmentation simultanée des parois cellulaires avec l'âge. Ce taux est corrélé avec le taux de la matière sèche et la nature des sols où se développe le végétal .Cette valeur diminue chez la catégorie âgée à 4,37% de la MS.

La composition des constituants pariétaux montre que la cladode est riche en pectines totales 34% de la MS dont 15 % de pectines faiblement méthyles. Pour les pectines HM, le degré d'estérification (DE) conditionne la rapidité de la prise du gel ; plus il est élevé plus la formation du gel est rapide. Alors que les pectines faiblement méthylées (LM) (DM<50) sont capables de fixer fortement les ions divalents tels que le calcium.

Les résultats de la prédiction valeur nutritionnelle de chaque aliment incorporé dans cette étude, sont de l'ordre de : 0.63UFL  $\pm$  0.03 / kg de MS pour l'*Opuntia*, la paille 0.4  $\pm$  0.04 UFL / kg de MS, l'orge en grains 1.09  $\pm$  0.04UFL /kg de MS et la féverole sont de 1.07  $\pm$  0.02 UFL / kg de MS. Cette bioressource phytogénétique locale : *Opuntia ficus indica* inermis pourrait être une nouvelle niche supplémentaire en unités fourragères.

Les résultats obtenus de la digestibilité in vivo, montrent que la D (MS) des différents régimes s'est améliorée quelque soit le régime par rapport à un régime à base de paille seule et que l'apport de l'*Opuntia* a amélioré la D (MS) notamment du régime 2.

La D(MO) du régime 2 (paille +Opuntia), s'est nettement améliorée 63 %, contre une digestibilité de la matière organique de 40 % pour un régime à paille, soit une augmentation de 23 points.

Le faible taux de la D(CB) du régime 2 peut s'expliquer par l'augmentation du niveau d'ingestion de l'Opuntia dans la ration qui peut avoir un effet dépressif sur les bactéries cellulotiques du rumen, compte tenu de la forte teneur en glucides solubles. L'augmentation de la D(MAT) des régimes 1, 2 et 3, peut s'expliquer par une meilleure disponibilité de l'énergie apportée par l'orge en grain pour le régime 1, et l'interaction féverole - Opuntia pour le régime 3, et l'apport d'Opuntia pour le régime 2.

Le régime 2 révèle un niveau d'alimentation de  $1.23 \pm 0.11$  pour l'énergie, cela s'explique par l'élévation de la proportion de glucides hydrosolubles apportée par l'Opuntia en revanche le niveau azoté est de l'ordre de  $0.67 \pm 0.09$ , mais il est en mesure de couvrir ses besoins énergétiques d'entretien, avec 393 g de MS de paille et 425g de MS d'Opuntia, et les 300 g d'orge en grains peuvent être aisément remplacé par les 425 g d'Opuntia pour couvrir les besoins énergétiques d'entretien de la brebis, suivi d'un coût économique le plus bas évalué à 12.5 DA soit 0.7 euros la ration. Au taux d'ingestion 23 % et 52 %, l'Opuntia ne compromet pas le métabolisme de la brebis.

De l'étude biochimique, il en ressort que la glycémie reste aux normes de l'espèce ovine quelque soit le régime et montre le degré de satisfaction des besoins énergétiques des animaux. Un taux d'urémie faible pour les régimes (2) et 4) mais compensé par un taux d'albuminémie stable. Invariablement chez l'animal comme chez l'homme l'incorporation de la cladode, semble montrer l'effet régulateur de la glycémie et hypolépémiant. Aujourd'hui la pratique du consommateur à tendance à ingérer moins de calories et moins de graisses ; d'autant plus que la viande rouge de l'espèce ovine est considérée comme riche en cholestérol ; ceci peut être résolu par l'incorporation de la cladode d'*Opuntia* dans des régimes alimentaires destinés à l'homme et à l'animal. D'autres études sont nécessaires pour mieux cerner les propriétés thérapeutiques de l'*Opuntia ficus indica*.

En conclusion nous pouvons affirmer que le cactus, est une plante fourragère prometteuse :

- Par sa source d'énergie.
- Par sa réduction des coûts d'alimentation.
- Par son amélioration de la digestibilité des régimes.

- Par sa solution comme source d'abreuvement en zones arides.
- Aucun effet néfaste sur le potentiel productif et reproductif.
- Mais doit un complément appropriée avec des sources de protéines locales par l'introduction dans la ration d'espèces steppiques de type *Atriplex canescens* et /ou paille traitée à l'ammoniac

Au terme de notre étude nous proposons quelques perspectives de recherche, dans l'option de développement durable d'une région semi aride en préconisant :

- 1- Une politique nationale en vue de privilégier les fourrages grossiers dans l'alimentation animale et par la mise en place de dispositifs d'encouragement de bio ressources phytogénétiques locales.
- 2- La mise en place d'un dispositif scientifique pour l'étude et l'analyse des ressources fourragères nationales et de leurs valeurs alimentaires.
- 3- Le développement et l'optimisation des itinéraires techniques par la vulgarisation, elle commence dès la prime enfance.
- 4 - La mise en place d'un dispositif d'encouragement des matières premières locales pour la fabrication des aliments du bétail et ce dans l'objectif de diminuer les coûts à la production et surtout pour éviter les risques en matière de santé animale et de santé publique. Ceci est réalisable en augmentant le taux de MS (raquettes déshydratés) compte tenu de sa richesse en énergie et minéraux.
- 5- La possibilité de déterminer à travers la sélection et l'hybridation, un cultivar d'*Opuntia* contenant plus de protéines.
- 6 - Reprendre cette études sur des brebis gestantes et allaitantes afin d'étudier l'effet de l'incorporation de la cladode sur les performances de reproduction et sur la qualité de lait.
- 7- La recherche d'une possibilité de remplacement de la farine des céréales par de la farine issue de la raquette d'*Opuntia* pour la fabrication de pain complet.
- 8- La maîtrise des propriétés thérapeutiques en dosant les flavonoïdes, les betalaines, pour entamer des essais cliniques chez l'homme.

# Références Bibliographiques

- 📖 **Abdelguerfi A., Laouar M., 1999.** Les ressources génétiques en Algérie: un préalable à la sécurité alimentaire et au développement durable. Doc. INESG, 43p.
- 📖 **Abidi S., Ben Salema H., Vastab V., Priolob A., 2009.** Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f.inermis) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats, in small ruminant research.
- 📖 **Anonyme 2007.** Le marché des produits laitiers, carnes et avicoles en 2007. OVINS/MONDE.[http://www.office-elevage.fr/publications/marche2007/Ovins/Ovr résumé.pdf](http://www.office-elevage.fr/publications/marche2007/Ovins/Ovr_résumé.pdf).
- 📖 **Araba A., Collado M., Boutouba A., Sahnoun A., 2009.** Nouvel aliment pour les ruminants à base de fruit de cactus. [http// : www.vulgarisation.net](http://www.vulgarisation.net).
- 📖 **Araba A., El aich., Sarti B., 2000.** Valorisation du figuier de barbarie en élevage. [http// : www.vulgarisation.net](http://www.vulgarisation.net).
- 📖 **Arba M., 2000.** Les Opuntias à fruits comestibles dans certaines régions du Maroc. Dans IIème journée nationale sur la culture du cactus. 2000. El Kelaa Des raghna - Maroc.
- 📖 **Askar, A., El-Samahy., S.K., 1981. Dtsch. Lebensm. - Run dsch., 1981. 77 (8), 279 - 281.**
- 📖 **Atti, N., Mahouachi M., Rouissi H., 2006.** The effect of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. inermis) supplementation on growth, carcass, meat quality and fatty acid composition of male goat kids. *Meat Sci.* 73, 229–235.
- 📖 **Auroseau B., 1981.** Elaboration des lipides corporels et valeur des carcasses des ruminants *Bull. Techn.CRZV .Theix, INRA (45) 43- 50.*
- 📖 **Ayadi M.A., W Abdelmaksoud., M Ennouri and H Attia., 2009.** Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: effect of dough characteristics and cake making. *Ind. Crops Prod.*, [doi:10.1016/j.indcrop.01.003](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.01.003).
- 📖 **Azocar P.C., Rojo H.C., 1991.** Uso de cladodios de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como suplemento forrageros estival de cabras en lactancia en reemplazo de heno de alfalfa. *Avances en Produccion Animal*, 16: 173-182.
- 📖 **Barbera G., Inglese P ., 1993.** La coltura del ficodindia. Edagricole, Bologna: pp. 188. Cité par Mulas M ; Mulas G ; 2004.

- 📖 **Bauchart D., 1981.** Digestion comparée des lipides chez le ruminant et les monogastriques. Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 46, 45 -55.
- 📖 **Ben Salem H., Nefzaoui H., et Abdouli Orskov ER., 1996.** Effet de l'augmentation du niveau de cactus (*Opuntia ficus indica* var. *Inermis*) sur l'ingestion et la digestion par les moutons donné les régimes à base de paille. Anim. Sci., 62: 293-299.
- 📖 **Ben Salem H., Nefzaoui A., Ben Salem L., 1998.** Fodder shrubs as supplements to poor quality roughages fed to sheep. In: Gintzburger G., M. Bounejmate and A.Nefzaoui (eds.). Fodder Shrub. .Development in Arid and Semi-arid Zones.Proceedings of the Workshop on Native and Exotic Fodder Shrubs in Arid and Semi-arid Zones, 27 October-2 November 1996, Hammamet, Tunisia. ICARDA,Aleppo (Syria). Vol. I: 197-202.
- 📖 **Ben Thlija A., 1987.** Valeur nutritive de quelques *Opuntia* espèces. M.Sc. thesis.84 p.
- 📖 **Benaissa R., 2001.** Ministre délégué au développement rural. Rencontre avec les éleveurs de la steppe algérienne.
- 📖 **Benrebiha A., Bouabdellah E., 1992.** Note sur l'état des parcours steppiques en Algérie. Séminaire international du réseau PARCOURS, INES d'Agronomie de CHLEF-Algérie,Num. spéc. pp. 25-32.
- 📖 **Blaxter k.I., Graham Mc C., Wainman F.W., 1961.** Some observations on the digestibility of food by sheep. And on related problems. Br. J. Nutr. 10.65-91.
- 📖 **Bocquier F., Theriez, M., Prache, S., Brelurut A., 1988.** In: Alimentation des bovins,ovins et caprins (R. Jarrige, ed.)I.N RA publications. Paris. p. 249-280.
- 📖 **Bravo H., 1991.** Las cactáceas de Mexico. Univ. Nac. Autónoma de Mexico. 1991. Vol 1:1-743. Vol 3: 1-643.
- 📖 **Brett D.J., Stobbs T.H., 1974.** Australie. Journal.Agriculture.Research.,25,657-666.
- 📖 **Brugere-Picoux, J., 2002.** Maladies métaboliques des ruminants, cours 2002.
- 📖 **Caballero-Mellado J., 1990.** Potentiel de valorisation des *Azospirillum* en association avec les figuiers de Barbarie. p.14-21, en: Proceedings of the First Annual Texas Prickly Pear Conseil, Kingsville, TX.
- 📖 **Cammell S.B., 1977.** Equipment and technique used for research into the intake and digestion of forages by sheep and calves. Grassland Research Institute, report n°24.

- 📖 **Carle B., Dulphy J.-P., 1980.** Comportement alimentaire comparé des ovins et des bovins. Relation avec la digestion des aliments. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 20 (5B), 1633-1639
- 📖 **Carpita N.C., Gibeaut D.M., 1993.** *Plant J.*, 1993, 3 (1), 1 - 30.
- 📖 **Castra J., Pérez S., Riquelme E., 1977.** Evaluation of thornless prickly pear silages as a Feed stuff for ruminants. *Proceedings Western Section American Society of Animal Science*, 28: 127-128.
- 📖 **Chanda S.K., Hirst E.L., Jones J.K.N., et Percival E.G.V., 1950.** The constituents of xylan from esparto grass(*Stipa tenacissima*). *J. Chem.Soc.*, 1289 – 1297.
- 📖 **Cehma A., Longo H.F., BELBEY A., 2003.** Utilisation digestive de régimes à base de rebuts de dattes chez le dromadaire et le mouton. *Courrier du Savoir – N°03*, janvier 2003, pp. 17-21.
- 📖 **Chellig R., 1992.** Les races ovines Algériennes. Office des Publications Universitaires .Alger. 1992, 1-80.
- 📖 **Chemmam M., 2007.** Variation de l'ingestion et des performances chez la brebis « Ouled Djellal » sur pâturage : effet de la saison et de la complémentation. Thèse doctorat (ANNABA) 167p.
- 📖 **Chesworth J., Guérin H., 1996 ;** l'alimentation des ruminants, maison neuve et la rose (cta) technicien d'agriculture tropicale 263 P.
- 📖 **Chilliard Y., Doreau M., Bocquier F., Lobley G., 1998.** Digestive and metabolic adaptations of ruminants to variations in food supply. In : M. Journet, E. Grenet, M.H. Farce, M. Thériez, C. Demarquilly (eds), *Recent Developments in the Nutrition of Herbivores*, 329-360. INRA Editions, Paris.
- 📖 **CIHEAM (centre international des hautes études agronomiques méditerranéennes), 1990.** Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et des sous produits d'origine méditerranéenne. X. Alibes et J. -L. Tisserand (eds), 152pp. CIHEAM, Zaragoza.
- 📖 **Cun C.H. et Lesgards G., 1993.** Aliments: Etude de certaines propriétés physicochimiques des pectines. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 28 (5), pp : 292-297.
- 📖 **Dalibard C., 1995.** Livestock's contribution to the protection of the environment *Wd.Anim.Rev.* (FAO).50ème anniversaire.
- 📖 **De cortazar V. G., Nobel PS., 1992.** *J.Am. Sci.*1992 ,117 (4) 558 -562.

- 📖 **Dedieu B., Gibon A., Roux A. 1991.** Notation d'état corporel des brebis et diagnostics des systèmes d'élevage ovin. *etud. Rech. Sys. Agr. Dév. INRA.*, 22, 48 p.
- 📖 **De Kock G.C., 1983.** Drought resistance of fodder crops (crops in South Africa). In: *Browse in Africa: The Current State of Knowledge* (H. N. Le Houérou, ed.). International Livestock Center for Africa, Addis-Abeba, Ethiopia: 1-30.
- 📖 **Degu A., and M.B. Solomon., 2010.** Supplementation. Cinnamaldehyde-A potential antidiabetic agent. of isonitrogenous oil seed cakes in cactus (*Opuntia J. Phytomedecine*, 14: 15-22. *ficus indica*) tef straw (Eragrostis tef based feeding of 42. Frati Munari, A.C., O. Vera Lastra and C.R. Ariza Tigray highland sheep cactus. 7<sup>th</sup> International Andraca, 1992. Evaluation of nopal capsules in Congress in Morocco, (Agadir), pp: 17 -22.
- 📖 **Degu A.,and Solomon M. B., 2009.** Supplementation of isonitrogenous oil seed cakes in cactus (*Opuntia ficus indica*) tef straw (Eragrostis tef based feeding of Tigray highland sheep cactus. International congress in Morocco October 2010.
- 📖 **Demarquilly C., Andrieu J., 1987.** Digestibilité et ingestibilité des fourrages verts chez le mouton : effets respectifs du niveau d'alimentation et de l'âge ou du poids des animaux. *Reprod. Nutr. Develop.*, 27, 281-282.
- 📖 **Dominguez LA., 1995.** *Food. Sci. Technol.Int.*, 1995, 1(2et3), 65 – 74.
- 📖 **Dudouet C., 2003.** La production du mouton, 2eme édition France Agricole.
- 📖 **Dulphy J.P., Michalet-Doreau B., 1987.** Préviation de l'ingestibilité des aliments des ruminants. In *préviation de la valeur nutritive des aliments des ruminants*. INRA Publications, Route de Saint-cyr, F 78000. Versailles.p 169-187.
- 📖 **Enjalbert F., 1996.** Les constituants des aliments et leur digestion chez les bovins : bases physiologiques. In : SNGTV (ed.).Pathologie et nutrition. Journées nationales des GTV, Angers, Mai 1996,13-34.
- 📖 **FAO 1989 /AGP/AGPC/doc/publicat/cactus Snt/cactus 2.htm.**
- 📖 **Felker P., 1995.** Forage and fodder production and utilization. In Barbera G., P. Inglese and E.
- 📖 **Fernandez M.L., E.C. Lin., A. Trejo and D.J.McNamara., 1992.** Prickly pear (*Opuntia* sp.) pectin reverses low ensity lipoproteinreceptor suppression induced by hypercholesterolemic diet in guinea pigs. *Journal.Nutrition*, *volume* 122, p 2330– 2340.

- 📖 **Fisher I.J., P.E Donnelly., J.B Hutton and D.M. Duganzich., 1975.** .Journal. Agriculture sciences. Cambridge. Volume 84 29-37.
- 📖 **Floret C., Le Floch E., Pontanier R., 1992.** Perturbation anthropique et aridification en zone présaharienne in : l'aridité une contrainte de développement, caractérisation, réponses biologiques et stratégie de sociétés. Eds LE Floch E., Grouzis.
- 📖 **Fonty G., et Chaucheyras-Durand F., 2007.** Les écosystèmes digestifs. (Eds), Technique & Documentation, Paris, pp. 79-94 ; 158-187 ; 204-217 ; 252-265.
- 📖 **Fournier P., 1954.** Les cactacées et les plantes grasses. Le chevalier P. Eds. Paris. 330 p.
- 📖 **Frati A. C., Jimenez E., and Ariza C. R., 1990.** Hypoglycemic effect of *Opuntia ficus indica* in non insulin-dependent diabetes Mellitus patients. *Phytotherapy Research*, 4, 195–197.
- 📖 **Frati AC., 1992.** Medical implication of prickly pear cactus. In: Proc. 3rd Annual Texas pricklypear council. Eds: Felkar P, Moss LR, 24–25July, Kingsville, Texas, 29-34.
- 📖 **Fuentes R.J.M., 1991.** Une enquête sur les pratiques d'alimentation , les couts et la production de bovins laitiers et de viande bovine dans le nord du Mexique .Proc .2 nd Annal Texas Prickly.pear conseil Kingsville .Tx..
- 📖 **Gallo L., Quagliotti L., 1989.** La germinazione dei semi delle piante succulente. *L'Informatore Agrario*, (1): 63-69.
- 📖 **Gibon A., 1981.** Pratiques des éleveurs et résultats d'élevage dans les Pyrénées Centrales. Thèse INA-PG, 106 p.
- 📖 **Gonzales C.L., 1989.** Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (*Opuntia lindheimeri* Engelm.). *Journal of Arid Environments*, 16: 87-94.
- 📖 **Gooneratne S.R., Buckley W.T., Christensen D.A., 1991.** Review of copper deficiency and metabolism in ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* **69**: 819-845.
- 📖 **Gredaal., (2002).** Eléments clés de la stratégie de développement rural en Algérie <http://www.Gredaal.com> / ressources fourragères en Algérie.
- 📖 **Gregory R.A., Felker P., 1992.** Crude protein and phosphorus contents of eight contrasting *Opuntia* forage clones. *Journal of Arid Environments*, 22: 323-331.

- 📖 **Haddad O ., 1981.** Contribution à l'étude des profils biochimiques chez les ovins : influence de l'alimentation .Mémoire de maître Es sciences Vétérinaires .Ecole nationale vétérinaire de Toulouse. France
- 📖 **Hamdi, M., 1997.** Prickly pear cladodes and fruits as a potential raw material for the industries. *Bioprocess Engineering*, 17, 387–391.
- 📖 **Harche M., Tollier M.T., Monties B et Catesson AM., 1991.** Caractérisation comparée des constituants (Polyosides, Lignines et Acides phénoliques) des parois cellulaires de 3 graminées subdésertiques pérennes : *Stipa tenacissima* L., *Lygeum spartum* L., et *Aristida pungens* L. *Cellulose Chem – Technol.*, 25 : 11-17.
- 📖 **Healy P.J., Falk R h., 1979.** Values of some biochemical constituents in the serum of clinically-normal sheep. *AUS.Vet.j.* 50 :302-305 .
- 📖 **Helmuth G.Z.,Granata G., 1997.** Insect Pests and Diseases. Dans *Cacti Biology and Uses*; P.S. Nobel Ed., 1997; pp. 235 - 254.
- 📖 **Hegwood D.A., 1990.** Human health discoveries with *Opuntia* sp. (prickly pear). *Hort Science* 25, 1515 – 1516.
- 📖 **Hernández-Ávila M., Olaíz-Fernández G., 2002.** Diabetes and Mexico: a public health challenge. *Ciencia*, 53(3): 8-17.
- 📖 **Houmani M.In : Nadjraoui 2002.** Evolution de la valeur nutritive des chaumes de blé dur *Recherche agronomique*. 11, 49-56, [http://www.webreview.dz/article.php3?id\\_article=199](http://www.webreview.dz/article.php3?id_article=199).
- 📖 **Inglese P., 1995.** Orchard planting and management. In: Barbera G., P. Inglese and E. Pimienta-Barrios (Eds.). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO. Rome (Italy): 78-91.
- 📖 **INRA 1978.** Alimentation des ruminants. Edition INRA -France. 621pp
- 📖 **INRA 1978.** Prévission de la valeur nutritive des aliments des ruminants .Ouvrage collectif coordonné par C.Demarquilly. Edition INRA publications .Route de St –cyr, 78000 versailles .pp 237-258,279-296.
- 📖 **INRA 1981.** Prévission de la valeur nutritive des aliments des ruminants –Tableau de la valeur alimentaire des fourrages – Ouvrage collectif dirigé par C. Demarquilly.
- 📖 **INRA 1988.** Alimentation des bovins, ovins et caprins. Ouvrage collectif dirigé par Jarrige R. Edition INRA publications-France. 476 pages. pp420-431.

- 📖 **Isogai A., 1994.** Cellul. Polym., Blends Compos., 1994, 1 - 24.
- 📖 **ITEB-INRAP., 1984.** Alimentation des bovins. Ed. ITEB –Paris.
- 📖 **Jarrige R., 1980.** Chemical methods for predicting the energy and protein value of forages. Ann. Zootech., 29 (hors serie), 299 -323.
- 📖 **Jarrige R., 1988.** Ingestion et digestion des aliments .In *INRA 1988: Alimentation des bovins, ovins et des caprins* 29-54.
- 📖 **Jarrige R., Grenet E., Demarquilly C., Besle J.M., 1995.** Les constituants de l'appareil végétatif des plantes fourragères. In *Nutrition des ruminants domestiques*, pp 25-81 Ed, INRA., 1995.
- 📖 **Jean – Blain C., Grancher., Egron G., Alves L., 1992.** Cours de bromatologie. Fascicule 2, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,Chaire de Nutrition et Alimentation,95pp.
- 📖 **Joseleau J.P. Les hémicelluloses.1980.** Les polymères végétaux, polymères pariétaux et aliments non azotés; G. Villars Ed., 1980; pp. 87 - 121.
- 📖 **Kennedy P.M., et Milligan L.P., 1978.** Effects of cold exposure on digestion, microbial synthesis and nitrogen transformations in sheep. Br. J. Nutr., 39, 105 – 117.
- 📖 **Khouri M., 1970.** Opuntias, bilan écologique en Algérie.
- 📖 **Kritchevsky, Tepper S A, Satchithanandasm., Cassidym. M. & Vahouny G. V., 1988.** Dietary fiber supplements:effects on serum and liver lipids and on liver phospholipid composition in rats 1988, Lipids 23: 318-321.
- 📖 **Lamand M., Barley JP., et Rayssiguier Y., 1986.** Particularités de la biologie clinique des minéraux chez les ruminants (1). Recueil de Médecine Vétérinaire, octobre 1986, 1127-1132.
- 📖 **Lamport D.T.A., 1970. In : Benahmed A.,1997.** Analyse qualitative et quantitative des fractions pariétales : cellulose , hemicelluloses et pectines des tissus foliaires d'*Aristida punges* L. Des hauts plateaux Algérien. These de Magister, ISN. Oran
- 📖 **Le Houèrou H. N., 1992.** The role of *Opuntia* cacti in the agricultural development of Mediterranean arid zones. Proceeding 2nd International Congress of Prickly Pear and Cochineal, Santiago, Chile. Cité par Mulas M; Mulas G ; 2004.
- 📖 **Le Coq R., 1965.** Manuel d'analyses alimentaire et d'expertises usuelles. Edition. Doin. Deren et Cie. Tome II. Paris, 241-251.

- 📖 **Lee J.C., Lim K. T., 2000.** Effects of cactus and ginger extracts as dietary antioxidants on reactive oxidant and plasma lipid level. *FoodSci. Biotechnol.* 9, 83-88.
- 📖 **LeHouérou H.N 1996.** The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control,land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. *Journal. Arid. Environnement*, 33, 135–159.
- 📖 **Leuttge U., 1993.** *New Phytologist*, 125 (1), 59 - 71.
- 📖 **Mascarua-Esparza M.A., Villa-Gonzalez R., et Caballero-Mellado J., 1988.** Acetylene reduction and indolacetic acid production by *Azospirillum* isolates from cactaceous plants. *Plant and Soil*, **106**: 91-95.
- 📖 **Mathews KC. Van Holde KE., Ahern KG., 2002.** *Bioquímica*. 3<sup>a</sup> Ed.Addison Wesley. Madrid, p. 1335.
- 📖 **Mathiote 1570. In : Fournier P., 1954.** Les cactacées et les plantes grasses. Le chevalier P. Edition. Paris. 330 p.
- 📖 **May C.D., 2000.** *Hydrocolloids*, 2000, 169 - 188.
- 📖 **McNeil M.,Darvill, A.G., Fry S.C., Albersheim, P., 1984.** *Ann. Rev. Biochem*, 1984, 53, 625 - 663.
- 📖 **Metral J.J., 1965.** Les cactacées fourragères dans le Nord Est du Brésil plus particulièrement dans l'état du Ceara. *Agronomie Tropicale*, 20: 248-261.
- 📖 **Miettinen T. A., and Tarpila S., 1977.** Effect of pectin on serum cholesterol, fecal bile acids and biliary lipids in normolipidemic and hyperlipidemic individuals. *Clinical. Chemical. Acta* 79: 471-477.
- 📖 **Miller.In : Fournier P., 1954.** Les cactacées et les plantes grasses. Le chevalier P. Edition. Paris. 330 p.
- 📖 **Mohamed - Yasseen, Y., Barringer, S.A., Splittstoesser, W.E., 1996.** *J. Arid Environ.*, 32 (3) ,347 - 353.
- 📖 **Monjauze A. et Lehouerou NH. In : Araba A., El Aich A., Sarti B., 2000.** Figuier de barbarie. *Bulletin de transfert de technologie en agriculture, IAV Hassan II Rabat*, 68 : 1- 4.

- 📖 **Monjauze A., Le Houerou H.N., 1965.** Le rôle des *Opuntia* dans l'économie agricole africaine. Bulletin de l'Ecole Supérieure Agricole de Tunis, (8/9): 85-164. cité par Mulas M ; Mulas G ; 2004
- 📖 **More T ., et Sahni K.L., 1981.** Effect of water intake on feed digestibility. World Rev. Anim. Prod., 17, 33 -40.
- 📖 **Mugnier J., 2000.** La nouvelle classification des plantes à fleurs. Pour la science, P52 -59.
- 📖 **Murray N., 2008.** Biologie végétale. Structure, Fonctionnement, Ecologie et Biotechnologie. (Eds), Pearson, Paris, pp. 36-40.
- 📖 **Ndibualonji BB., Dehareng D., Godeau JM., 1997.** Influence de la mise à jeun sur l'amino-acidémie libre, l'urémie et la glycémie chez la vache laitière. Ann.Zootech., 46, 163-174.
- 📖 **Ndoutamia G., Ganda K., 2005.** Détermination des paramètres hématologiques et biochimiques des petits ruminants du Tchad. Revue Méd. Vét., 2005, **156**, 4, 202- 206.
- 📖 **Nedjraoui D., 2001.**Algérie Country pasture / Forage Resource Profiles, URBT, Alger.
- 📖 **Nedjraoui D., Bedrani S., 2008.** La désertification dans les steppes Algériennes : causes, impacts et actions de lutte 8 : [http : // vertigo.revues.org/index 5375](http://vertigo.revues.org/index/5375).
- 📖 **Nefzaoui A., Ben Salem H., Ben Salem L., 1996.** La complémentation azotée du cactus inerme pour les ovins. Effet de la source d'azote. An. Zootech., 45 (Suppl 1): 120.
- 📖 **Nefzaoui A., et Ben Salem H., 1998.** Spineless cacti: a strategic fodder for West Asia and North Africa arid zones. P.58-76, *in*: Proc. Int. Symp. Cactus Pear and Nopalitos Processing and Use. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales/FAO, Santiago, Chile.
- 📖 **Nefzaoui A., Ben Salem H., 2000.** *Opuntia*: a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA Region. CACTUSNET Newsletter: 2-24.
- 📖 **Nefzaoui A., Ben Salem H., 2002.** Cacti: efficient tool for rangeland rehabilitation, drought mitigation and to combat desertification. fourragers dans les parcours de zones arides et semi-arides de la Tunisie. Options méditerranéennes. CIHEAM .Montpellier. Série séminaires n° 16 : 119-125.
- 📖 **Nefzaoui A., Chermiti A., Ben Salem H., 1993.** Spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* var. *inermis*) as a supplement for treated straw. 7th Meeting of the FAO Sub- Network on Mediterranean Pastures and Fodder Crops. April, 21-23, Chania (Greece): 130-133.

- 📖 **Nefzaoui, A., Ben Salem, H., 2001.** Forage, fodder and animal nutrition. In: Nobel Park, S. (Ed.), Cacti Biology and Uses. pp. 199–210.
- 📖 **Nehring K., 1976.** Arch. Tierernähr. 26. 427-451.
- 📖 **Nerd A., et Nobel P.S. 1991.** Effects of drought on water relations and non-structural carbohydrates in cladodes of *Opuntia ficus-indica*. Physiologia plantarum, 81: 495-500.
- 📖 **Ney D.M., Lasekanj B., and Shinnick L., 1988.** Soluble fiber tends to normalize lipoprotein composition in cholesterol-fed rats. Nutrition. 118: 1455-1462.
- 📖 **Nobel S.P., Barbera G. P. Inglese., and E.Pimenta-Barrios., 1995.** Environnement biology. Edition. Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. Rome (Italy): pp36-48.
- 📖 **Oviedoy v., 1535. In: Fournier P., 1954.** Les cactacées et les plantes grasses. Le chevalier P. Edition. Paris. 330 p.
- 📖 **Palevitch D., Earon G., and Levin I., 1994.** Treatment of benign prostatic hypertrophy with *Opuntia ficus indica* (L) Miller. Journal Herbs Spices Medical Plants, 2, 45–49.
- 📖 **Paragon B.M., 1995.** Sel, Minéraux et Alimentation des ruminants, Cie des Salins du Midi et de l'Est, 80p.
- 📖 **Park E.H., Kahng J.H., Sang H.L.K.H., Shin, K.H., 2001.** Fitoterapia, 72 (3), 288 - 290.
- 📖 **Patrick Griffith M., 2004.** The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence1 [http:// www.amjobt.org](http://www.amjobt.org).
- 📖 **Payne J.M., 1983.** Maladies métaboliques des ruminants domestiques .Editions du point vétérinaire .190p.
- 📖 **Payne J.M., Rowlands G.J., Manston R., Dew S.M., and Parker W.H ., 1974.** A statistical appraisal of the results of the metabolic profile tests on 191 herds in the BVA /ADAS joint exercise in animal health and productivity .Br. Vet.J., 130; 34-44.
- 📖 **Petit H.V., Savoie P., Tremblay D., Dos Santos G.T., Butler, G., 1994.** Intake, digestibility and ruminal degradability of shredded hay. J. Dairy Sci. 77: 3043- 3050.
- 📖 **Pictoris B., 2008.** Les filières ovines et caprines dans le monde. Journées défis et opportunités pour l'élevage des ruminants en Europe. [www.instelevage](http://www.instelevage). Les filières ovines et caprines. Pdf.

- 📖 **Pimienta-Barrios E., L. Méndez-Moran and B. Ramírez., 1994.** Effect of the ingestion of xoconostle fruit (*Opuntia joconostle* Web.) on glycemia and serum lipids. In: Felker P, Moss JR (Eds.) Proc Fifth An Texas Prickly Pear Council. Texas, USA, pp: 51-60
- 📖 **Pimienta-Barrios E., Loera-Quezada M., et López-Amezcuca, L.L. 1993.** Estudio anatómico comparativo en colectas del subgénero *Opuntia*. Agrociencia, series Fitociencia, 4: 7-14.
- 📖 **Pimienta-Barrios E., 1990.** El nopal tunero. Edizioni dell'Università di Guadalajara, Mexico: pp. 246. cité par Mulas M ; Mulas G ; 2004.
- 📖 **Popof M., 1979.** Interêt des examens biochimiques urinaires et sanguins en pathologie ovine. 3e partie: étude synthétique. Le Point Vétérinaire, 9: 59-65.
- 📖 **Potter E.L., and Dehority B.A., 1973.** Effects of Changes in Feed Level, Starvation, and Level of Feed After Starvation Upon the Concentration of Rumen Protozoa in the Ovine. Applied and environment microbiology, Nov. p. 692-698.
- 📖 **Poupon J.E., 1975.** Cactus et ressources fourragères. Note technique n°2. Projet PNUD/FAO MOR 73-016. Amélioration et aménagement des parcours forestiers. WANA.
- 📖 **Preston T.R., and Leng R.A., .1987.** Matching ruminant production systems with available resources in the tropics and subtropics. 245 p .Penambul Books Armidale – Australia.
- 📖 **Quezel P. et Santa S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie des régions désertiques méridionales. CNRS Ed. France, 1170p.
- 📖 **Raven P.H., Evert R.F. and Eichhorn S.E., 2007.** Biologie végétale. (Eds), De Boeck, Paris, pp. 53-58.
- 📖 **Raymond W.F., Harris C.E., Kemp C.D., 1954.** Studies in the digestibility of herbage. The effect of level of herbage intake on the digestibility of herbage by sheep. J. Brit. Grassl. Soc., 10, 19-26.
- 📖 **Remesy C., Chilliard Y., Aroeira L., Mazur A., Fafornoux P. et Demigne C., 1984.** Le métabolisme des lipides et ses déviations chez le ruminant durant la gestation et la lactation. Bull. Techn. C.R.Z.V. INRA.(55) 53-71
- 📖 **Remesy C., Demigne C., 1981.** Les principaux aspects du métabolisme du glucose et des acides aminés chez la vache laitière .Bull. Techn. C.R.Z.V. INRA. (45) 27-35.

- 📖 **Rémond D., Meschy F., and Boivin R., 1996.** Metabolites, water and mineral exchanges across the rumen wall: mechanisms and regulation. *Ann. Zoot.*, 45, 97 - 119.
- 📖 **Res D. Vian B. et Bajon C., 2006.** Le monde des fibres. (Eds), Belin, Paris, pp. 17-26, 27-36, 323-334.
- 📖 **Ricoux R., 1880.** La démographie figurée de l'Algérie, Edition Masson ,304 p.[www.inse.fr/fr/ffc/cs112b.pdf](http://www.inse.fr/fr/ffc/cs112b.pdf).
- 📖 **Riviere R., 1991.** Manuels d'alimentation de ruminants domestiques en milieu tropical, 9ème collection, manuel et précis d'élevage, p46-206.
- 📖 **Rook J.S., 2000.** Pregnancy toxemia of ewes, does, and beef cows. *Vet Clin North. Am Food Anim Pract.* 2000; 16: 293–317.
- 📖 **Rosenberger G., 1979.** Examen clinique des bovins. Ed. du point vétérinaire.
- 📖 **Roy.A., Chardigny J.M., Bauchart D., Feraly A., Lorenz S., Durand D., Gruffat, D., Faulconnier, Y., Sebedio, J.L., Chilliard, Y., 2007.** Butters rich either in trans-10-C18:1 or in trans-11-C18:1 plus cis 9, trans- 11 CLA differentially affect plasma lipids and aortic fatty streak in experimental atherosclerosis in rabbits. *Animal* 1, 467–476.
- 📖 **Russel C.E., Felker P., 1985.** *Econ. Bot.*, 1985, 41, 433 - 445.
- 📖 **Saidi M., Ayad A., Boulkaboul A., Benbarek, H., 2009.** Etude prospective du parasitisme interne des ovins dans une région steppique : cas de la région d'Ain D'hab, Algérie. *Méd. Vét.*, 2009, 153, 224-230.
- 📖 **Santana P., 1992.** Tunas Forreras (Opuntia ficus indica y Nopalea Cochellinifera) en el nordeste brasileo. *Actas del II . Congreso Internacional de Tunay cochenille.* Facultad de Ciencis Agrarias y Forestales. Santiago. Chile.
- 📖 **Sarmi- Machado P. et Cleynier V. 2006.** Les polyphenols en agroalimentaire. (Eds), Technique & Documentation, Paris, pp. 3-11.
- 📖 **Sauvant D., Morand - Fehr P. 1978.** In **Haddad 1981 .**, Facteurs de variation du risque de toxémie de gestation et de cétose chez la chèvre laitière. INRA- ITOVIC .Quatrième journées de la recherche ovine et caprine .6-7-Déc.1978.
- 📖 **Sauvant D., Morand - Fehr P.(1978)** . Facteurs de variation du risque de toxémie de gestation et de cétose chez la chèvre laitière. INRA- ITOVIC .Quatrième journées de la recherche ovine et caprine .6-7-Déc.1978.

- 📖 **Scheinvar L., 1995.** Taxonomy of utilized opuntias. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. Barbera G, Inglese P and Pimienta-Barrios E (eds). FAO, Rome, p 20-27.
- 📖 **Scott D., 1986.** Control of phosphorus balance .In « aspects of digestive physiology in ruminants. Proceedings of a satellite symposium of the 30th International congress of the international union of physiological sciences. Edited by Dobson A et Dobson M .J.
- 📖 **Selvendran, R.R., O'Neill, M.A., 1987.** Methods Biochem. Anal., 1987, 32, 153 - 155.
- 📖 **Sepúlveda E., Sáenz C. H., 1988.** Industrializacion de la tuna (*Opuntia ficus-indica*). I. Aceite de la semilla. Alimentos, 13(1): 35-38.
- 📖 **Shoop M.C., Alford E.J., et Mayland H.F., 1977.** Plains prickly pear is good for cattle. Journal of Range Management, **30**: 12-17.
- 📖 **Shuman , 2000. In : Fournier P., 1954.** Les cactacées et les plantes grasses. Le chevalier P. Edition. Paris. 330 p.
- 📖 **Sommer H., 1984 .** Inst.f.Physiol.u.Hygiene d.Haustiere d.Univ.Bonn. Der Prakt.Tierarzt 4, 297-306 .in Schmid et al., (1985)-: Laboratory testing in veterinary medicine diagnosis and clinical monitoring. Boehringer Edition Mannheim. Germany.
- 📖 **Steel J. W., Leng. R.A., 1973.** Brit.J.Nutr. 30,451-473.
- 📖 **Stintzing F.C., Schieber A., Carle R., 2001.** Eur. Food Res. Technol., 2001, 212 (4), 396 - 407.
- 📖 **Suash-au p, prauseennivasan., Ignacimuthu S ., 2007.** Cinnamaldehyde-A potential antidiabetic agent.j.Phytomed., 14:15-22.
- 📖 **Sudzuki Hills F., 1995.** Anatomy and morphology. In: Barbera G., P. Inglese and E.
- 📖 **Sutton B.G., Ting I.P., Sutton R., 1981.** Plant Physiol., 1981, 68 (3), 784 - 787.
- 📖 **Takahisa, H., 1989.** Annuelle Revue. Plant. Physiol. Plant Mol. Biol, 1989, 40, 136 - 168.
- 📖 **Tegegne F., Peters K.J., and Kijora C., 2005.** Effects of increasing levels of cactus pear *Opuntia ficus indica*. International congress in Morocco October 2010.
- 📖 **Tegegne F., 2001.** Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* as a ruminant feeding in Ethiopia. In: Cactus (*Opuntia* spp.) as Forage. Mondragon-Jacobo and Perez-Gonzalez Ed., FAO Plant production and protection papers N°169: 161p. FAO, Rome.

- 📖 **Tegegne F ., Kijora C., Peters K.J., 2006.** Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water, in Small Ruminant Research 72 (2007) 157–164, [http:// www.elsevier.com/locate/smallrumres](http://www.elsevier.com/locate/smallrumres), science.
- 📖 **Terblanche I.L., Mulder A.M., and Rossow J.W., 1971.** The influence of moisture content on the dry matter intake and digestibility of spineless cactus .Agro-animalia ,pp 73-77.
- 📖 **Tien V.D., Ly L.V., Duong N.K., Ogle B., 1993.** The prickly pear cactus (*Opuntia elator*) as supplement for sheep in the Phanrang semi-arid area of central region of Vietnam. National Seminar Workshop on sustainable Livestock Production on Local Feed Resources, Hanoi, Vietnam: 71-74.
- 📖 **Tirilly Y et Bourgeois., 1999.** Répertoire générale des aliments. 1996.
- 📖 **Tresoriere L., D Butera., M Pintaudi., M Allegra. and M.A Livera., 2004.** Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with Vit. C. Am. Journal. Clinique. Nutrition, 80: 391–395
- 📖 **Toussaint G., 2001.** L'élevage des moutons. Vecchi, Paris.
- 📖 **Van Bennekum A., Nguyen DV., Schulthess G., Hauser Hand Phillips MC., 2005.** Mechanisms of cholesterol-lowering effects of dietary insoluble fibers: relation ship with intestinal and hepatic cholesterol parameters. British Journal Nutrition 94, pp 331-337.
- 📖 **Vermorel M., 1981.** Quelques aspects du métabolisme intermédiaire chez les ruminants. Bull.Tech.CRZV Theix, INRA,(46) 73- 79.
- 📖 **Viana S.P., 1965.** El uso del nopal sin espinas en la alimentación del ganado. p.1461, in: Vol. 2 of Anales 9° Congreso Internacional de Pasturas. São Paulo, Brasil.
- 📖 **Van Soest P.J., Robertson, J. B., Lewis, B. A., 1991.** Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74 :3583-3597.
- 📖 **Wackernagel Met Rees W., 1996.** Notre empreinte écologique, Les Éditions Écosociété, Montréal, 1996, (ISBN 2921561433).
- 📖 **Wainman F.W., 1977.** Digestibility and balance in ruminants. Proc. Nutr. Soc., 36, 195-202.

- 📖 **Wattiaux M.A., 1996.** Métabolisme protéique chez la vache laitière.
- 📖 **Willats W.G.T., McCartney L., Mackie W., Knox J.P., 2001.** Plant Mol.Biol. 47 (1 -2), 9- 27.
- 📖 **Wolfram R.M., Kritz H., Schmid P., Efthimiou Y., Stamatopoulos Y., and Sinzinger H., 2002.** Effect of prickly pear (*Opuntia robusta*) on glucose- and lipid-metabolism in non diabetics with hyperlipidemia, *Wr klin Wschr*, 114, pp 840-846.
- 📖 **Wolter R., 1980.** Alimentation de la vache laitière. Ed. France Agricole, Reprint: 1980.
- 📖 **Woodward T.E., Turner W.F., Griffith D., 1951.** Prickly pear feed for dairy cows. *Journal of Agricultural Research*, 4: 405-449.
- 📖 **WWF., 2006.** Une planète vivante, plus pour longtemps : rapport 2006. <http://www.ecolopop.info/2006/10/rapport-wwf-2006-une-planete-vivante-plus-pour-longtemps/791>.
- 📖 **Yakhlef H., Triki S., 2007.** Effet de la saison de traitement à l'urée sur la valeur alimentaire de la paille chez le mouton. *Sciences et Technologie*. 26, 33-39.
- 📖 **Zhou L., Nilsson A., 2001.** Sources of eicosanoid precursor fatty acid pools in tissues. *J. Lipid Res.* 42, 1521–1542.

# Annexes

## Annexes

---

### Annexe A

#### 1-Prédiction de la valeur nutritive des aliments concentrés :

##### 1-1-Prévision de la valeur énergétique des aliments concentrés (INRA 1978)

$$\text{UFL/kg MO} = 121,8 + 0,11 \text{ MAT} - 1,81 \text{ CB} + 1,26 \text{ MG}$$

UFL valeur par 100 kg de MO

#### 1/ L'orge:

$$\text{MAT} = 9,88\% = 98,8 \text{ g}$$

$$\text{MO} = 96,07\% = 960,7 \text{ g}$$

$$98,8 \text{ g} \longrightarrow 960,7 \text{ g MO}$$

$$X \text{ g} \longrightarrow 100 \text{ g MO}$$

$$X = 98,8 \times 100 / 960,7 = 10,28 \text{ g MAT} / 100 \text{ g MO}$$

$$\text{CB} = 5,93\% = 59,3 \text{ g}$$

$$59,3 \text{ g} \longrightarrow 960,7 \text{ g MO}$$

$$X \text{ g} \longrightarrow 100 \text{ g MO}$$

$$X = 59,3 \times 100 / 960,7 = 6,17 \text{ g CB} / 100 \text{ g MO}$$

$$\text{MG} = 1,69\% = 16,9 \text{ g}$$

$$16,9 \text{ g} \longrightarrow 960,7 \text{ g MO}$$

$$X \text{ g} \longrightarrow 100 \text{ g MO}$$

$$X = 16,9 \times 100 / 960,7 = 1,75 \text{ g MG} / 100 \text{ g MO}$$

$$\text{UFL/ 100kg MO} = 121,8 + 0,11 \times 10,28 - 1,81 \times 6,17 + 1,26 \times 1,75 = 113,97 \text{ UFL}$$

$$113,97 \text{ UFL} \longrightarrow 100000 \text{ g MO}$$

$$X \longrightarrow 1000 \text{ g MO}$$

$$X = 113,97 \times 1000 / 100000 = 1,13$$

$$1000 \text{ g MS} \longrightarrow 960,7 \text{ g MO}$$

$$X \text{ g MS} \longrightarrow 1000 \text{ g MO}$$

## Annexes

---

$$X = 1000000 / 960,7 = 1040,90 \text{ g MS}$$

$$1,13 \longrightarrow 1040,90 \text{ g MS}$$

$$X \longrightarrow 1000 \text{ g MS}$$

$$X = 1,13 \times 1000 / 1040,90 = 1,09 \text{ UFL/kg MS valeur moyenne.}$$

### 2/ La féverole :

$$\text{MAT} = 25,3 \% = 253 \text{ g}$$

$$\text{MO} = 97,2 \% = 972 \text{ g}$$

$$253 \text{ g} \longrightarrow 972 \text{ g MO}$$

$$X \text{ g} \longrightarrow 100 \text{ g MO}$$

$$X = 253 \times 100 / 972 = 26,02 \text{ g MAT} / 100 \text{ g MO}$$

$$\text{CB} = 9,1 \% = 91 \text{ g}$$

$$91 \text{ g} \longrightarrow 972 \text{ g MO}$$

$$X \text{ g} \longrightarrow 100 \text{ g MO}$$

$$X = 91 \times 100 / 972 = 9,36 \text{ g CB} / 100 \text{ g MO}$$

$$\text{MG} = 2,4 \% = 24 \text{ g}$$

$$24 \text{ g} \longrightarrow 972 \text{ g MO}$$

$$X \text{ g} \longrightarrow 100 \text{ g MO}$$

$$X = 24 \times 100 / 972 = 2,46 \text{ g MG} / 100 \text{ g MO}$$

$$\text{UFL/kg MO} = 121,8 + 0,11 \times 26,02 - 1,81 \times 9,36 + 1,26 \times 2,46 = 110,8$$

$$110,8 \text{ UFL} \longrightarrow 100\,000 \text{ g MO}$$

$$X \longrightarrow 1000 \text{ g MO}$$

$$X = 110,8 \times 1000 / 100000 = 1,1$$

$$1000 \text{ g MS} \longrightarrow 972 \text{ g MO}$$

$$X \text{ g MS} \longrightarrow 1000 \text{ g MO}$$

$$X = 1000000 / 972 = 1028,80 \text{ g MS}$$

## Annexes

---

1, 10 → 1028,80 g MS

X → 1000 g MS

$X = 1.10 \times 1000 / 1028,80 = 1,07 \text{UFL/kg MS}$  **valeur moyenne**

### 1-2-Prévision de la valeur azotée

MAD en g / kg de MO = 0,914 MAT – 22, 3 en g/kg MO ou 0.917 MAT -0.055CB -17.6, la seconde équation fait intervenir les MAT et la cellulose brute. Notre choix s'est porté sur la seconde équation

1/ L'orge:

MAT = 98, 8 g

98, 8 g → 960, 7 g MO

X g → 1000 g MO

$X = 98, 8 \times 1000 / 960, 7 = 102, 84 \text{ g MAT / kg MO}$

MAD = 0.917 MAT -0.055CB -17.6,

$MAD = 0.917 * 102.84 - 0.055 * 61.72 - 17.6 = 73.3 \text{ g de MAD / kg de MO}$

1000 g MS → 960, 7 g MO

X → 1000 g MO

$X = 1000000 / 960, 7 = 1040,90 \text{ g MS}$

73.31 → 1040,90 g MS

X → 1000

$X = 73.31 \times 1000 / 1040,90 = 70.4 \text{ g / Kg de MS}$  **valeur moyenne**

### 2/ Féverole :

MAT = 253 g

253 g → 972 g MO

X g → 1000 g MO

$X = 253 \times 1000 / 972 = 260, 28 \text{ g MAT / kg MO}$

MAD = 0.917 MAT -0.055CB -17.6,

## Annexes

---

$$1000 \text{ g MS} \longrightarrow 972 \text{ g MO}$$

$$X \longrightarrow 1000 \text{ g MO}$$

$$X = 1000000 / 972 = 1028,80 \text{ g MS}$$

$$260.8 \longrightarrow 1028,80 \text{ g MS}$$

$$X \longrightarrow 1000$$

$$X = 260.8 \times 1000 / 1028,80 = 223..2\text{g de MAD / kg de MS}$$

### 2-Prédiction de la valeur nutritive de la paille d'orge :

#### 2-1- Prévision de la valeur énergétique :

$$EB = 4531 + 1,735 \text{ MAT} + \Delta$$

$$EB = 4531 + 1,735 \times 74,69 \pm 11$$

$$EB = 4660,583 \text{ Kcal}$$

$$ED = EB \times dE$$

$$dE = 1,0087 \text{ dMO} - 0,0377$$

$$EM/ED = 0,8417 - 9,9 \times 10^{-5} \text{ CBo} - 1,96 \times 10^{-4} \text{ MATo} + 0,0221 \text{ NA}$$

$$EM/ED = 0,8417 - 0,04469 - 0,01463 + 0,0221 = 0,804$$

$$dE = 1,0087 \times 0,35 - 0,0377 = 0,315$$

$$ED = 4660,583 \times 0,315 = 1468,08$$

$$EM = ED \times EM/ED$$

$$EM = 1468,08 \times 0,804 = 1180,336 \text{ Kcal}$$

$$Q = EM/EB$$

$$Q = 1180,336/4660,583 = 0,253$$

$$Km = 0,287Q + 0,554$$

$$Km = 0,287 \times 0,253 + 0,554 = 0,626$$

$$\text{UFL} = EM \times 0,626/1720$$

$$\text{UFL} = 1180,336 \times 0,626/1720 = 0,43 \text{ UFL/kg MO} = 0,4 \text{ UFL/kg MS}$$

## Annexes

---

### 2-2- Prévision de la valeur azotée :

$$\text{MAD} = -27,5 + \Delta_1 + 0,891 \text{ MAT} \pm 3,5$$

$$\Delta_1 = 0,3 \text{ pour la paille d'orge}$$

$$\text{MAT} = 36,519$$

$$\text{MO} = 931 \text{ g MO}$$

$$\text{MAD} = -27,5 + 0,3 + 0,891 \times 36,519 \pm 3,5$$

$$\text{MAD} = 5,338$$

$$\text{MAD/kg MS} = 5,338 \times 931/1000 = 4,96 \text{ MAD/kg MS}$$

### 3-Prévision de la quantité d'aliment distribué à l'entretien

#### 3-1-Prévision des quantités distribu es dans le régime 1 (paille+ orge)

Quantité de paille :

CI est de 1,4 UEM, quantité de paille ing r e seule est de l'ordre de 480g de MS

$$1 \text{ kg MS} \longrightarrow 2,33 \text{ UEM paille}$$

$$X \text{ kg MS} \longrightarrow 1,4 \text{ UEM}$$

$$X = 1,4 / 2,33 = 0,600 \text{ kg MS}$$

$$\text{En brute} : 0,600 / 0,94 = 0,634 \text{ kg}$$

$$0,6 \times 0,4 = 0,24 \text{ UFL}$$

0,6 kg MS vont apporter 0,24 UFL

$$\text{Déficit} : 0,52 - 0,24 = 0,28 \text{ UFL}$$

Le déficit doit être apporté par l'orge

$$1,09 \text{ UFL} \longrightarrow 1 \text{ kg MS}$$

$$0,28 \text{ UFL} \longrightarrow X \text{ kg MS}$$

$$X = 0,28 / 1,09 = 0,25 \text{ kg MS}$$

$$\text{En brute} : 0,25 / 0,9368 = 0,270 \text{ kg d'orge}$$

$$0,25 \times 1,09 = 0,27 \text{ UFL}$$

## Annexes

---

La quantité distribuée est de 320 g

### 3-2-Prévision des quantités distribuées dans le régime 2 (paille+ Opuntia)

CI = 1,4 UEM

La quantité de paille reste constante 0,6 kg MS. Elle apporte 0,24 UFL

Le déficit doit être apporté par l'opuntia (0,28 UFL)

1 kg MS  $\longrightarrow$  0,63 UFL

X kg MS  $\longrightarrow$  0,28 UFL

$X = 0,28 / 0,63 = 0,44$  kg MS

En brute :  $444 / 0,0945 = 4,6$  kg d'opuntia

$0,444 \times 0,61 = 0,27$  UFL

### 3-3-Prévision des quantités distribuées dans le régime 3 (paille+ opuntia+ féverole)

Quantité de paille constante 0,6 kg MS qui apporte 0,24 UFL

Quantité d'Opuntia est de 2 kg brute

$2000 \times 0,0945 = 189$  g MS d'où 0,189 kg MS

$0,189 \times 0,61 = 0,11$  UFL

$0,24 + 0,11 = 0,35$  UFL

Déficit :  $0,52 - 0,35 = 0,17$  UFL

$0,17 / 1,077 = 0,15$  kg MS

En brute :  $0,15 / 0,90 = 0,16$  kg

Quantité distribuée est de 130 g de féverole

### 3-4-Prévision de la quantité distribuée d'opuntia dans le régime 4

5 kg d'opuntia brute

$5000 \times 0,0945 = 472,5$  g MS d'où 0,472 kg MS

$0,472 \times 0,63 = 0,29$  UFL

**Annexe B****Tableau récapitulatif ingéré: MS, MO, CB, MAI en g, par régime en cross over n =8.**

	Paille + Orge			Paille + Opuntia			Paille + Opuntia + Féverole			Opuntia						
	MS	MO	CB	MAT	MS	MO	CB	MAT	MS	MO	CB	MAT				
	838,00	788,80	247,72	47,35	831,25	747,10	220,25	39,40	890,65	822,30	269,50	65,00				
<b>Période 1</b>	881,00	830,00	255,70	50,61	800,60	717,00	198,80	39,10	812,75	750,00	248,40	57,90	415,80	361,20	48,60	25,00
	800,00	753,00	231,72	46,06	784,90	705,70	209,40	37,10	840,65	776,10	259,60	58,85	444,15	385,80	51,90	26,80
	856,00	806,00	233,51	48,60	807,60	725,40	210,30	38,60	831,00	766,40	254,50	58,30	460,12	399,70	53,80	27,75
<b>Période 2</b>	822,00	774,00	240,20	48,53	924,00	802,70	248,80	43,35	782,00	721,00	225,00	60,70	524,00	484,68	61,30	31,55
	718,00	677,30	197,22	43,95	775,00	694,60	196,70	36,90	746,00	687,20	211,15	58,20	412,00	357,90	41,20	30,70
	774,00	729,00	247,80	45,90	797,00	715,00	206,00	37,60	800,20	684,20	205,95	56,30	415,00	360,50	48,50	30,90
	803,00	755,70	231,16	46,55	830,00	746,60	208,30	38,75	736,00	679,10	200,95	57,20	488,00	423,90	57,17	36,40
<b>Moy</b>	811,50	764,23	235,63	47,19	818,79	731,76	212,32	38,85	804,91	735,79	234,38	59,06	459,85	403,09	52,91	30,05
<b>Ecart</b>	50,68	47,46	17,86	2,05	46,82	33,99	16,43	2,04	50,90	51,69	26,79	2,72	46,27	46,77	6,84	3,52

**Tableau récapitulatif de la matière fécale excrétée: MS, MO, CB, MAT, en g par régime en cross over n=8**

	Matière fécale régime1			Matière fécale régime 2			Matière fécale régime 3			Matière fécale régime 4						
	MS	MO	CB	MAT	MS	MO	CB	MAT	MS	MO	CB	MAT				
	282,41	245,71	97,60	8,05	416,46	327,98	120,92	15,45	385,65	310,83	117,50	8,19				
<b>Période 1</b>	238,75	208,99	79,27	9,62	353,06	278,20	101,98	10,05	260,89	212,25	80,23	8,05	128,86	96,62	8,21	2,25
	245,60	213,17	81,57	10,18	280,21	216,65	87,32	7,38	324,49	257,67	100,72	8,30	133,69	97,30	8,10	3,27
	251,66	218,75	86,17	9,09	386,84	315,55	113,35	9,57	312,46	248,31	95,44	7,99	133,89	100,48	7,16	2,80
<b>Période 2</b>	248,24	215,95	90,08	8,49	377,92	281,75	140,07	15,52	279,17	240,09	92,48	8,07	162,96	120,69	9,87	3,57
	241,97	178,13	65,67	9,19	292,18	235,47	115,66	10,30	296,16	246,02	77,70	9,20	114,12	95,92	6,30	3,25
	232,20	217,24	89,95	8,72	294,89	240,24	113,51	10,08	271,27	192,26	81,76	6,70	124,09	93,37	7,81	3,00
	231,26	186,66	78,59	10,89	322,04	271,76	110,61	10,31	284,10	190,15	76,36	9,04	149,33	105,68	7,60	3,60
<b>Moy</b>	246,51	210,58	83,61	9,28	340,45	270,95	112,93	11,08	301,77	237,20	90,27	8,19	135,56	102,04	8,05	3,09
<b>Ecart</b>	15,33	20,73	9,67	0,93	50,52	38,84	15,07	2,88	39,86	39,47	14,18	0,76	15,06	8,83	1,14	0,41

**Annexe B suite**

Tableau récapitulatif de la digestibilité de la MS, MO, CB, et MAT régime en cross over n=8

	Paille + orge			Paille + Opuntia			Paille + Opuntia + féverole			Opuntia						
	MS	MO	CB	MAT	MS	MO	CB	MAT	MS	MO	CB	MAT	MS	MO	CB	MAT
<b>Période 1</b>	66,30	68,85	60,60	83,00	49,90	56,10	45,10	60,78	56,70	62,20	56,40	87,40	73,54	76,44	84,60	90,60
	72,90	74,82	69,00	81,00	55,90	61,20	48,70	74,30	67,90	71,70	67,70	86,10	69,01	73,25	83,10	91,00
	69,30	71,69	64,80	77,90	64,30	69,30	58,30	80,10	61,40	66,80	61,20	85,90	69,90	74,78	84,40	87,80
	70,60	72,86	63,10	81,30	52,10	56,50	46,10	75,20	62,40	67,60	62,50	86,30	70,90	74,86	86,70	89,90
<b>Période 2</b>	69,80	72,10	62,50	82,50	59,10	64,90	43,70	64,20	64,30	66,70	58,90	86,70	68,90	75,10	83,90	88,70
	66,30	73,70	66,70	79,10	62,30	66,10	41,20	72,10	60,30	64,20	63,20	84,20	72,30	73,20	84,70	89,40
	70,00	70,20	63,70	81,00	63,00	66,40	44,90	73,20	66,10	71,90	60,30	88,10	70,10	74,10	83,90	90,30
	71,20	75,30	66,00	76,60	61,20	63,60	46,90	73,40	61,40	72,00	62,00	84,20	69,40	75,07	86,70	90,10
<b>Moy</b>	69,55	72,44	64,55	80,30	58,48	63,01	46,86	71,66	62,56	67,89	61,53	86,11	70,51	74,60	84,75	89,73
<b>Ecart</b>	2,28	2,21	2,65	2,24	5,31	4,75	5,12	6,21	3,51	3,71	3,31	1,38	1,65	1,07	1,30	1,05

## Annexes

Tableau récapitulatif : digestibilité différentielle paille				
	MS	MO	CB	MAT
paille distribuée	661,5±46,8	615,5±34	178,54±16,4	32,41±2
Opuntia distribuée	425±0	369,24±0	49,72±0	181,9
Paille ingérée	393±46,8	362,5±34	162,6±16,4	13,35±2
Opuntia ingérée	425±0	369,24±0	49,72±0	25,63±0
paille refusée	268,5±34,7	253±34	128,81±16,4	6,78±2
Opuntia refusée	0	0	0	0
paille excrétée	215,1±52,8	177,15±41,2	105,34±15	8,44±2,9
Opuntia excrétée	125,34±7,02	93,8±41,2	7,58±0,65	2,63±0,27
digestibilité paille	0,45±0,11	0,51±0,09	0,35±0,06	0,36±0,16
D (paille) en %	45 ± 11	51± 9	35 ± 6	36 ± 16

### *Annexe B suite*

Calcul de la digestibilité différentielle de la paille

**Exemple** : la matière fécale en (MS) du régime 4 est de 135g de MS ; pour un ingéré de 459 g d'Opuntia, elle est de l'ordre de 125g, pour un ingéré de 425g de MS. Par conséquent la proportion de la matière fécale de la paille seule du régime 2 sera calculée par simple différence, étant donné que la proportion de la MF du régime 2 connue (340 g de MF sèche, soit 215 g de MF sèche paille).

## Annexe C

Tableau récapitulatif de NA énergie pour chaque régime n =8

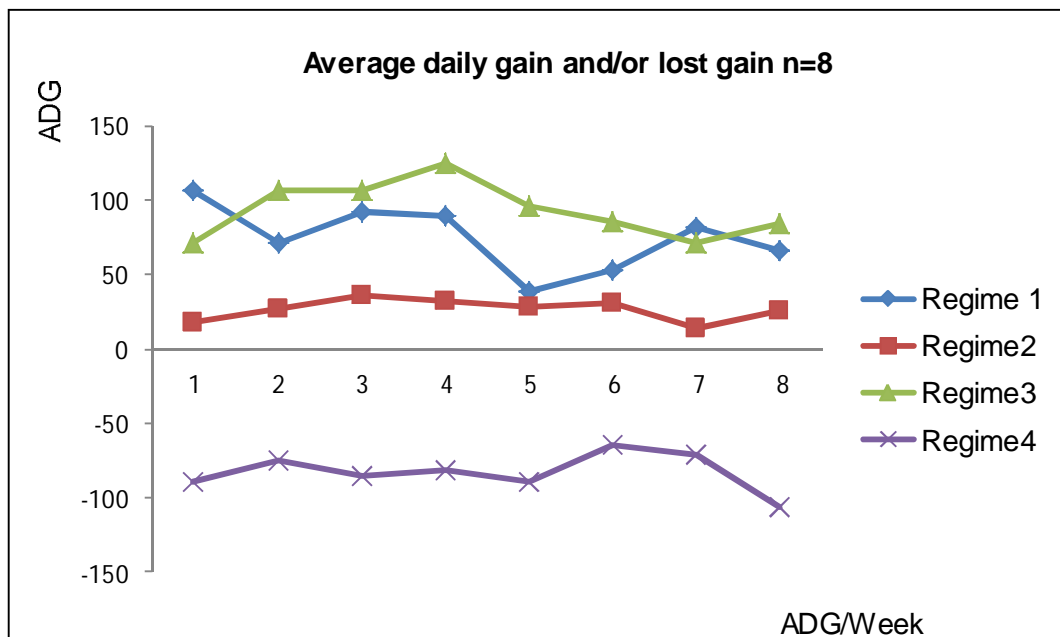
MO digéré	MODI				poids métabolisable				NA énergie			
	reg1	reg2	reg3	reg4	reg1	reg2	reg3	reg4	reg1	reg2	reg3	reg4
période 1	543,0888	419,1231	511,4706	344,790264	15,9054146	16,2027187	16,4982153	16,7919587	1,48456089	1,12467196	1,34789441	0,89274166
	621,006	438,804	537,75	264,579	17,0839978	17,089978	15,3051538	17,6631588	1,5804416	1,11635221	1,52761841	0,65126713
	539,8257	489,0501	518,4348	288,50124	14,6969385	15,0020736	15,0020736	15,4860436	1,59697767	1,41734059	1,50250186	0,80998947
	587,2516	409,851	518,0864	299,21542	16,4982153	16,2027187	15,6062462	17,2293942	1,54760244	1,09979128	1,44336411	0,75506811
Période2	558,054	520,9523	480,907	363,99468	16,3506895	17,089978	16,3506895	17,0839978	1,48392625	1,32534401	1,27878399	0,92635552
	499,1701	459,1306	441,1824	261,9828	13,8309994	16,2027187	17,3019391	14,3896766	1,56915977	1,23202781	1,10865281	0,79157835
	511,758	474,76	491,9398	267,1305	14,6969385	15,9054146	15,3051538	15,3051538	1,51394441	1,29778064	1,39748265	0,7588535
	569,0421	474,8376	488,952	318,22173	15,3051538	16,3506895	16,4687455	16,2027187	1,61651174	1,2626448	1,29085622	0,85391394
Moyenne	553,60459	460,813588	498,590375	301,051954	15,5460434	16,2557862	15,9797771	16,2690128	1,5491406	1,23449416	1,36214431	0,80497096
Ecart	39,5471863	37,0861491	29,8059879	38,4296411	1,10129145	0,66587886	0,79275463	1,12643641	0,05052915	0,11380028	0,13701893	0,08724338

MODI = MOI\* D(MO)

NA énergie = Quantité de MODI(  
g/kgp  $P^{0,75}/23$ )

**Annexe C suite**

Evolution gain de poids par régime et par lot régime en cross over				
	R1	R2	R3	R4
<b>période 1</b>	107,17	17,85	71,42	-89,28
	71,42	26,78	107,14	-75
	92,76	35,71	107,14	-85,71
	89,28	32,14	125	-82,14
<b>Période 2</b>	39,28	28,57	96,32	-89,28
	53,37	30,35	86	-64,28
	82,14	14,28	71	-71,42
	66,07	25	83,92	-107,14
	75,18625	26,335	93,4925	-83,03125





## Annexes

	0,22	0,21	0,24	0,11	0,330	0,340	0,35	0,04
Moyenne	0,24375	0,23875	0,35375	0,1425	0,315	0,333	0,33	0,04625
	0,03502550							
Ecart type	1	0,035228844	0,100702887	0,039910614	0,030705979	0,021213203	0,022677868	0,009161254
	Cholestérol							
	régime 1		Cholestérol		régime 3		Cholestérol	
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
période1	1,42	0,65	1,14	0,76	1,280	0,220	0,810	0,330
	0,96	0,54	0,98	0,57	0,950	0,370	1,230	0,430
	1,53	0,58	1,09	0,33	0,870	0,270	1,200	0,410
	1,11	0,55	0,84	0,21	1,140	0,190	1,060	0,380
	Cholestérol							
	régime 2		Cholestérol		régime 3		Cholestérol	
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
période 2	1,13	0,56	1,21	0,59	1,210	0,220	0,820	0,310
	0,95	0,54	0,84	0,17	0,960	0,360	1,050	0,380
	1,03	0,49	1,13	0,47	1,270	0,230	1,220	0,390
	0,8	0,49	0,93	0,44	0,880	0,200	1,170	0,410
Moyenne	1,11625	0,55	1,02	0,4425	1,070	0,258	1,070	0,380
	0,24587671							
Ecart type	1	0,051269596	0,142427927	0,200196332	0,173699247	0,070457687	0,171380946	0,041057451
	Triglycérid							
	régime 1		Triglycérides		régime 3		Triglycérides	
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
période1	0,73	0,41	0,58	0,06	0,590	0,070	0,550	0,070
	0,6	0,35	0,61	0,10	0,620	0,081	0,570	0,072
	0,76	0,41	0,62	0,08	0,620	0,060	0,680	0,100
	0,62	0,4	0,56	0,08	0,690	0,070	0,620	0,087
	Triglycérid							
	régime 2		Triglycérides		régime 3		Triglycérides	
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
période 2	0,75	0,41	<b>0,63</b>	<b>0,08</b>	0,660	0,060	0,5900	0,0800
	0,53	0,41	0,61	0,08	0,630	0,070	0,570	0,070

## Annexes

	0,75	0,39	0,54	0,08	0,630	0,050	0,670	0,090
	0,59	0,44	0,6	0,07	0,600	0,050	0,560	0,080
Moyenne	0,66625	0,4025	0,59375	0,08	0,630	0,064	0,601	0,081
Ecart type	0,09085899							
	6	0,025495098	0,031139089	0,011259916	0,032071349	0,010129629	0,050267143	0,010017953
	Albuminémie				Albuminémie			
	régime 1		Albuminémie		régime 3		Albuminémie	
	avant	après	avant	après	avant	après	avant	après
période 1	33,2	26,6	29,10	35,90	31,000	34,000	35,200	25,900
	36,6	32,0	27,80	31,00	32,000	32,900	28,900	21,000
	35,4	30,9	29,80	33,00	22,900	20,000	28,200	18,900
	30,9	29,1	34,80	25,00	26,500	27,000	31,200	22,800
période 2	30,5	28,7	29,00	31,00	27,000	23,000	31,000	22,150
	31,9	33,0	29,90	28,00	35,000	31,000	30,900	23,100
	32,2	28,8	27,80	31,00	33,900	34,000	31,800	23,800
	27,5	27,5	28,80	29,10	27,200	23,700	23,200	18,300
Moyenne	32,3	29,6	29,63	30,50	29,438	28,200	30,050	21,994
Ecart type	2,86144319							
	2	2,207616685	2,232711356	3,264965543	4,177811286	5,51854018	3,468223094	2,361731026

*Annexe E Photos*



**Photo 1 : Lot de brebis avant introduction d'Opuntia**



**Photo 2 : Lot de brebis après introduction d'Opuntia**



**Photo 3 : Prélèvement sanguin**



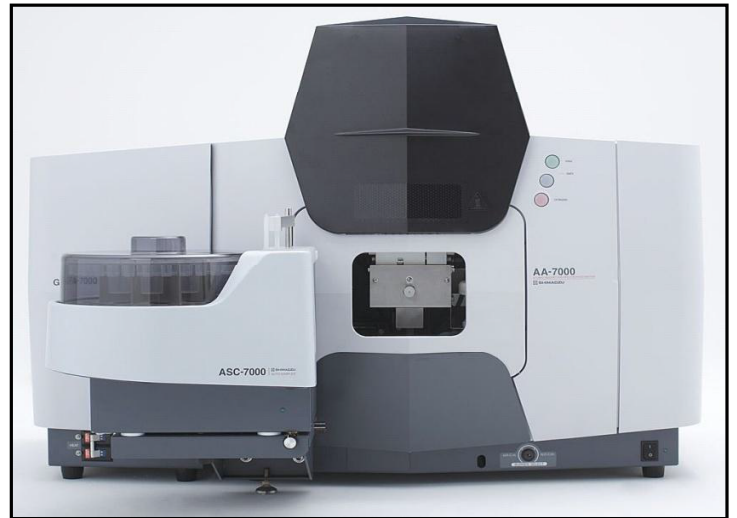
**Photo 4 : Mesure de poids**



**Photo 5 :** Plats creux pour l'étuvage des crottes



**Photo 6 :** Etuve



**Photo 7 :** Calcination des crottes au four    **Photo 8 :** Spectrophotomètre à absorption atomique



**Photo 9:** Chromatographe phase Gazeuse Clarus 580

## Effect of Incorporation of the Spineless *Opuntia ficus Indica* in Diets on Biochemical Parameters and its Impact on the Average Weight of Ewes During the Maintenance

<sup>1</sup>Brahim kamel Louacini, <sup>2</sup>Abdelkader Dellal, <sup>3</sup>Miloud Halbouche and <sup>1</sup>Kheira Ghazi

<sup>1</sup>Institute of Veterinary Science. Ibn-Khaldoun University of *Tiaret*, 14000 Algeria

<sup>2</sup>Laboratory of Biotechnology and Nutrition in dry land areas. Faculty of Nature and Life. Ibn, Khaldoun University of *Tiaret*, 14000, Algeria

<sup>3</sup>Faculty of Agricultural Sciences. Abdelhamid Ibn Badis University of *Mostaganem*. 27000 Algeria

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the effect of the incorporation of the cladodes of *Opuntia ficus indica* in different maintenance diets for ewes on some biochemical parameters and its impact on the average daily weight. The experiment was conducted: in cross breed ewes on 16 ewes, divided into 4 groups: Diet 1 (control) barley straw + barley grain. Diet 2: (Straw + *Opuntia*), Diet 3: (Straw + *Opuntia* + field beans). Diet 4: (*Opuntia*), by comparing them. Total pectin's of *Opuntia* represent 34% of the residue parietal which 15% of parietal low methylated pectins. The results (in g / l) of the triglycerides regimes, 2, 3 and 4, before and after incorporation of the cladodes, have varied from  $0.59 \pm 0.03$  to  $0.08 \pm 0.01$  and from  $0.63 \pm 0.02$  to  $0.06 \pm 0.09$  and  $0.6 \pm 0.04$  to  $0.08 \pm 0.01$  respectively. A slight increase in the level of uremia has been noticed in 3 regimes from  $0.31 \pm 0.03$  to  $0.33 \pm 0.02$ . The results in weight (g) of the diets 1, 2 and 3 showed a weight gain of  $75 \pm 22$ ,  $26 \pm 7.2$  and  $93 \pm 19$  g, respectively. A mean weight loss of about  $83 \pm 13.2$  g was given for the diet 4. The incorporation of the cladodes of *Opuntia* in food has satisfied the energy requirements of ewes, its use as a dietary supplement is recommended in dry areas. It showed the regulatory effect on blood glucose and hypolipidemic both in humans and animals.

**Key words:** *Opuntia* % Diet % Biochemical Parameters % Pectin's % Regulator % Average Weight

### INTRODUCTION

The *Opuntia ficus Indica* is a xerophytic plant producing edible fruits and fodder for animals. The cladodes or snowshoes are high in water, fiber and nutrients but low in total nitrogen [1]. They are used as food aid during periods of drought, [2]. The *Opuntia* plants CAM (Crassulacean Acid Metabolism), were a conversion efficiency of biomass per unit of water, superior to C3 and C4 plants and consequently digestible energy [3]. Recent discoveries have shown other nutritional benefits and health. They can be consumed as fresh vegetables or cooked [4], as they have been studied as a treatment of hyperglycemia, hyperlipidemia and atherosclerosis [5]. Their effects on the absorption of significant lesions and gastric ulcer have been studied by Lee and Lim [6] by consuming the cladodes powder. Tresoriere *et al*, studies [7] revealed that consumption of

*Opuntia* has a protective effect on the immune system by acting as free radical scavengers.'s work. Tresoriere *et al*. [8] reported analgesic and anti-inflammatory actions of cladodes and fruit of *Opuntia* whose active ingredient is the  $\beta$ -sitosterol. A comparative study of fatty acids of different foods has shown that linoleic acid content of cladodes is less than that of alfalfa green [9] but higher than that of barley grain [10] one of the cons of Atti *et al*. [11] that the diets of *Opuntia* increased the proportion of polyunsaturated fatty acids. In addition, the xeric character of *Opuntia* allows it to fit under marginal conditions of soil and climate. In the context of aridity a nutrition survey was conducted to show the effect of the incorporation of the cladodes in different regimes, on some biochemical parameters and its impact on the gain and / or weight loss means. The cladodes of *Opuntia ficus indica* could be a significant source of bimolecular, as a source of fiber, minerals and natural antioxidants [12].

The objective of this study is to evaluate the nutritional potential of cladodes, its effect on some blood parameters of sheep; it can cover the maintenance requirements? to maintain traditional forms of production in arid zones. In addition if the cladodes, it possesses therapeutic properties for both humans and the animals.

## MATERIALS AND METHODS

**Animals and Raw Materials:** Sixteen ewes of Rumbi breed, in dry period, with an average age of 4 to 6 years and an average weight  $40 \pm 2$  kg. The animals were free from parasitic diseases, with a body condition of Score 2 and placed in digestibility cages and divided into 4 groups. The previous regime was based on barley straw combined with additional barley grain. The cladodes of *Opuntia ficus indica* were from the region of Ksar-Chellala (wilaya of Tiaret) which is considered as a steppic region located 116 km from the capital of the wilaya. It is located in arid bioclimatic cool winter. The withdrawals of cladodes were made during the month of April 2009, at early flowering, at one year old, according by a random pattern. Other raw materials include: barley grains, field beans and barley straw, which are local products of the region.

**Diets and Parameters Studied:** The experiment was conducted on 16 ewes divided into 4 lots: Diet 1 (control) 0.65 kg DM barley straw + 0.3 kg DM barley grain. Diet 2: 0.661kg DM barley straw + 0.425kg DM *Opuntia*, diet 3: 0.661kg DM barley straw + 0.195kg DM *Opuntia* + 0.125kg DM field beans, Diet 4: 0.825DM/kg *Opuntia*. Over 2 periods of 28 days each, with a change of regimes for the animals cross breed: (Diet 1 versus a diet 4) and (diet 2 versus diet 3). Calculation the distribution was made for the maintenance of the ewes dry ingested by the difference in the distribution and refused. The gain or loss on average daily weight of each diet was calculated as the difference between the final weight and initial /28 days. The blood samples were taken before the introduction of cladodes and end of experiment, comparing them with each other and compared to usual values of sheep. The UFL (fodder unit milk) and MAD (digestible nitrogen) of each raw material was determined by the prediction equations [13] for straw and concentrates; for *Opuntia*. The amount distributed was made to cover the maintenance requirements of sheep, it took into account the characteristics of the sheep with an average weight of  $40 \pm 2$  kg to maintain, its UFL =  $0.033 \cdot p^{0.75}$ , its digestible nitrogen =  $2.52 \cdot p^{0.75}$ , the intake capacity of a sheep per 1.4 UEM: (unit congestion sheep) [14] and the size of barley

straw in 2.33 UEM / kg DM [14] the rate of DM and the nutritional value of each food. The amount of fresh intake of *Opuntia* is about 2.5 to 9 kg fresh matter [15]. Feed intake for each diet was determined by weighing daily amounts distributed and refused. The power levels are considered the DM ingested, OM digested and nitrogen matter digestible angered. Power level = amount of energy (g OM digested / kg  $p^{0.75}$ ) / 23 g. (23 g being the quantity of OM ingested in g per kg of  $p^{0.75}$ ) necessary to cover the maintenance energy requirements of ewes. OMDi digested = OM ingested  $\times$  apparent digestibility. Power level for N = Quantity of Nitrogen digested (g / kg  $p^{0.75}$ ) / 2.52. (2.52 being the amount of Nitrogen ingested in g per kg of  $p^{0.75}$ ) necessary to cover the needs of maintaining, the nitrogen sheep, Nitrogen ingested  $\times$  apparent digestibility = digestible nitrogen. The evolution of body weight: the sheep were weighed on an empty stomach once a week, throughout the trial, to observe the weight change in g vif. ADG = Final weight - live weight initial / 28. The ADG = first period + second period / 2. (OMi: organic matter ingested, OMdi: organic matter digested, MAD: crude protein digested, NA: power level, ADG: average daily gain).

**Performance of the Test:** Two meals / day were distributed: the food coarse straw, in the morning and at the same time for regimens 1, 2 and 3. The distribution of concentrates, took place 5 hours after taking the straw, with the exception of diet 4. Analysis of the constituents of each food was made according to conventional methods: the water content was determined by drying at  $103^\circ \text{C} \pm 2^\circ$ , the rate of crude fiber by Weende (AFNOR NFV 03 – 040), NDF and ADF the methodology described by Van soest *et al.* (1991). Total nitrogen by Kjeldhal and was converted to protein using factor 6.25 (AFNOR NFV 03- 05) the fat extracted with hexane according to the Soxhlet device (Quichfit England) for 9h. The parietal residue is obtained by the method of Harche *et al.* (1991), the extraction of cellulose and hemicelluloses from the parietal residue, according to the protocol of Chanda *et al.* (1950). The extraction of pectin was conducted using the protocol of Lamport (1977) and Thibault (1980) in (Monties, 1980). The highly methylated pectin's by hot water, for against the low methylated pectin's is extracted with EDTA (Ethylene diamine tetra-acetic acid). Blood samples were collected from jugular vein on an empty stomach, with Venoject in heparinized tubes, after centrifugation at 3600 rpm / 5mn and conserved in micro tubes at  $-30^\circ \text{C}$ . Biochemical analysis was performed using a COBAS auto analyzer C111, at the level of the biomedical laboratory.

**Statistical Analysis:** The results of the various chemical analyses were treated by Excel software for the calculation of the mean and standard deviation and by the software Statistica version 6.0 for the analysis of variance and supplemented by the Newman-Keuls test for the classification of different regimes.

**RESULTS**

The chemical composition shows that the cladodes of *Opuntia* is rich in water, low to moderately high in CP, the content found 6% of CP / kg DM can be explained by the class of soil changed little, from alluvial OM content of 1.52%. For the composition of cell wall compounds shows that the cladodes of *Opuntia* is rich in pectin total of about 34% /DM, 15% low-methylated pectin. Well as straw is rich in NDF wall of about 65% / kg DM, it did not mean for pectin's. Overall cereal grains and legumes are low in pectin; they represent 2-5% of DM. The results of the nutritional value of each regime included in this study were 0.63±0.3 UFL/kg DM for *Opuntia* [16] indicates a value between 0.6 and 0.7 UFL / kg DM. The CP is in the order of 42.8±11.2g, 43g / DM against standards [17].UFL values and straw are MAD (nitrogen digestible) of 0.4±0.04 UFL / kg DM and 4.9±3.9g of MAD / kg DM, those of the barley grain are 1.09±0.04 UFL / kg DM and

Table 1: Chemical composition in % DM of the ingredients of the ration

	Ountia <i>Opuntia</i>			
	<i>ficus in</i>	Straw	Barley grain	Field bean
DM	9.45±1.3	94.5±0.3	93.68±1.24	90.13±1..51
OM	86.88±1.26	93.05±0.8	96.07±0.27	97.2±2.79
CF	11.7±1.93	42.01±2.4	5.9±0.6	9.1±1.9
CP	6.03±1.2	3.4±0.61	9.8±1.18	25.3±1.17
NDF	29.42±2.5	65.4±4.9	18,5±0,18,5±0.9	14.7±1.21
ADF	17.1± 2.2	46.7±2.1	5,9±0.69	9.1±083
Parietal residue	52±4.2	-	-	-
Hemicelluloses	32±2.7	18.7±1.8	12.5±1.23	5.2 ±1.34
Pectins	34±1.87	-	-	-
UFL	0.63±0.3	0.4±0,04	1.09±0,04	1.07±0.02
MAD	42.8±11.2	4.9±3.9	70.4±15	223.2±34

Each value is the average of four observations±standard error. DM: dry matter, OM: organic matter, CF: crude fiber, CP: crude proteins. NDF: neutral detergent fiber. ADF: acid detergent fiber. UFL: feed unit milk (energy), MAD: digestible nitrogen.

70.4±15g of MAD / kg DM. The results of field beans are 1.07±0.02UFL / kg DM and 223.2±34g of MAD / kg DM.(Table 1). The UFL intake covers maintenance requirements of sheep regimes 1, 2 and 3. The regime 4 is in serious energy deficit. The Nitrogen ingested, only for regime 1 and 3 are able to cover maintenance needs. The results are recorded in Table (2).

Table 2: Quantity distributed and consumed in g /DM(BW<sup>0.75</sup>), chemical composition of diets, by lot, n = 8,period of 56 days

Ingrédient distributed	SB	SO	SOF	O
Straw	650 -68%	661.5 60%	661.5-67%	-
Barley grain	300 32%	-	-	-
Field bean	-	-	125 - 13%	-
<i>Opuntia</i>	0 %	425.2- 40%	195- 20%	825- 100%
Total distributed	950	1086.7	981.5	825
Total Feed unit milk (ufl)	0.52	0.52	0.52	0.52
Ingrédient ingered	Diet1	Diet2	Diet3	Diet4
Straw	511	393	490	-
Barley grain	300	-	-	-
Field bean	-	-	125	-
<i>Opuntia</i>	-	425	189	460
BW <sup>0.75</sup>	15.5±1.1	16.2±0.6	15.9±0.7	16.2±1.1
DM(g/BW <sup>0.75</sup> )	52.32±3.27	50.49±2.5	50.56±3.2	28.39±2.85
OM	49.3±3.06	45.12±2.09	46.22±3.25	24.87±2.88
CF	15.5±1.14	13.08±1.01	14.74±1.68	3.24±0.21
CP	3.03±0.12	2.4±0.12	3.71±0.13	1.88±0.21
Pectins of <i>Opuntia</i>	-	8.81	4.04	9.65
Rate ingered OFi (%)	0	52	23	55
OMD digered	35.63±1.1	28.4±2.6	31.3±3.15	18.5±5.73
Level power energy	1.54±0.05 <sup>a</sup>	1.23±0.11 <sup>b</sup>	1.36±0.13 <sup>c</sup>	0.8±0.08 <sup>d</sup>
ADG(g)	75±22 <sup>a</sup>	26±7.2 <sup>b</sup>	93±19 <sup>c</sup>	-83.6±13.2 <sup>d</sup>
N digered	37.9±2.32	27.7±1.83	50.8±2.73	26.94±3.2
Level power nitrogen	1±0.02 <sup>a</sup>	0.67±0.09 <sup>b</sup>	1.26±0.03 <sup>c</sup>	0.65±0.03 <sup>d</sup>

SB: straw-barley; SO: straw-*Opuntia*; SOF: straw - *Opuntia*- field bean; O: *Opuntia* ab, bc, in the same line, when the letters are different there is a highly significant difference a p.< 0.01. OMD i= OM ingered \*CUDa( OM). N digered = N ingered\*CUDa(N). CUDa : digestibility.= I-F/I\*100. I : Ingered. F : feces

Table 3: Biochemical parameters in g/l before and after incorporation of *Opuntia*, by regime and lot, n=8, period of 56 days.

		SB	SO	SOF	O	T
Glycemia	Before	0.77±0.009 <sup>a</sup>	0.59±0.03 <sup>b</sup>	0.73±0.05 <sup>a</sup>	0.67±0.04 <sup>c</sup>	**
	After	0.52±0.04 <sup>a</sup>	0.48±0.05 <sup>a</sup>	0.398±0.09 <sup>a</sup>	0.6±0.05 <sup>b</sup>	*
Uremia	Before	0.24±0.03 <sup>a</sup>	0.35±0.07 <sup>a</sup>	0.31±0.03 <sup>a</sup>	0.33±0.02 <sup>a</sup>	NSD
	After	0.23±0.03 <sup>a</sup>	0.14±0.03 <sup>b</sup>	0.33±0.02 <sup>c</sup>	0.04±0.009 <sup>b</sup>	*
Cholesterol	Before	1.11±0.18 <sup>a</sup>	1.02±0.13 <sup>a</sup>	1.07±0.17 <sup>a</sup>	1.07±0.17 <sup>a</sup>	NSD
	After	0.55±0.03 <sup>a</sup>	0.44±0.15 <sup>a</sup>	0.25±0.07 <sup>b</sup>	0.38±0.04 <sup>b</sup>	*
triglycerides	Before	0.66±0.07 <sup>a</sup>	0.59±0.02 <sup>a</sup>	0.63±0.03 <sup>a</sup>	0.6±0.05 <sup>a</sup>	NSD
	After	0.4±0.05 <sup>a</sup>	0.08±0.01 <sup>b</sup>	0.06±0.01 <sup>b</sup>	0.08±0.01 <sup>b</sup>	**
Albumin	Before	32.38±2.24 <sup>a</sup>	29.31±2.54 <sup>a</sup>	29.07±5.1 <sup>a</sup>	30±2.48 <sup>a</sup>	NSD
	After	29.4±2.06 <sup>a</sup>	30.5±3.16 <sup>a</sup>	28.2±5.34 <sup>a</sup>	22.37±1.72 <sup>a</sup>	NSD

SB: straw-barley; SO: straw-*Opuntia*; SOF: straw - *Opuntia*- field bean; O: *Opuntia*

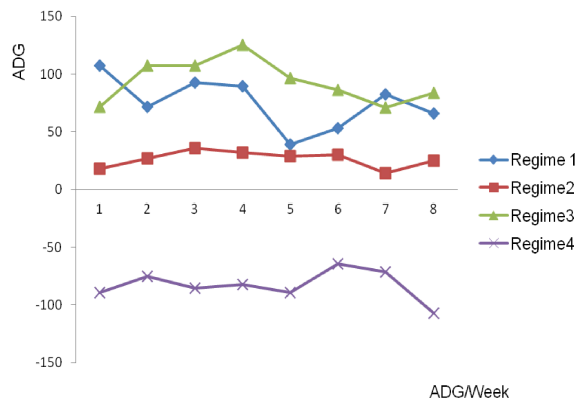


Fig. 1: Weight gain in g and / or loss through diet and per lot n= 8

The energy level of each regime was 1.54±0.05, 1.23±0.11, 1.36±0.13, 0.8±0.03, respectively. The regimes 1, 2 and 3 are capable of meet the energy needs. As for the nitrogen levels were 1±0.01, 0.67±0.09, 1.26±0.03, 0.65±0.03 respectively, only regimes 1 and 3 can to cover the maintenance requirements of nitrogen, however the regime 2 is most appropriate in conditions of extreme drought, it allows survival of animals. Analysis of variance showed that there is a highly significant difference at  $p < 0.01$  between diet and biochemical parameters for Glycemia, uremia, cholesterolemia and triglycerides, before and after introduction and incorporation of *Opuntia*; by cons, the rate of albumin remained stable. The biochemical results are identified in (Table 3). The results of weight in regimes 1, 2 and 3 indicated a daily average weight of about 75±22.2, 26±7.2, 93±19; the regime 4 reported a loss of weight – 83 g±13.2 (Figure 1). The results of biochemical parameters are recorded in Table (3).

## DISCUSSION

Glycemia is normally between 0.4 and 0.7g / l in the sheep and according to Haddad, [18] it is in the range of 0.4±0.07 for diets based on hay; 0.61±0.1 [19] and 0.55±0.05, according to Ndoutamia and ganda [20] in Arabic sheep. Blood glucose level in our study reached of 0.52±0.04, 0.48±0.06, 0.398±0.09, 0.6±0.05 in groups 1, 2, 3 and 4, respectively and remains in the standards of the species, whatever the regime and each animal has its own mean Glycemia. However, the blood glucose before incorporation of *Opuntia* is increased (Table 3) but remains within standard value this can be explained by the contribution of concentrate ingested before the introduction of *Opuntia*; she has been lowered significantly after incorporation of *Opuntia*. This reduction in blood glucose in ruminants with low or no production can be maintained without any problems [21]. This is the example in diet 4 where the animal has ingested only *Opuntia* has been able to maintain blood glucose levels, or even greater than that of diet 1 (witness). This shows that the *Opuntia* is rich in soluble carbohydrates [22] and recently, [23] found that the concentration of starch is of 130.9 g / kg DM and 60.1g / soluble sugar / kg DM, with 90 % of fructose, so the blood sugar is a good indicator of the degree of satisfaction of the energy needs of animals. These facts show that the ruminant subjected to a regime of extreme scarcity is able to cover its energy needs-based on *Opuntia*. Although glycemia is not a valid criterion, because many experimental results are only conflicting interpretations of the authors; According to Fisher et al [24], they have observed variations in blood glucose in the same direction as energy balance, while others observed no change despite the significant drop in the

levels of intake [25]. However, in studies carried out on Wistar rats and the results of Pimienta Barrios *et al.* [26] show that increased blood glucose 20 minutes after ingestion of *Opuntia* on healthy rats. The work of Mathews *et al.* [27] indicated that 3 hours after ingestion of *Opuntia*, blood sugar has balanced either in healthy than in diabetic rats. The fourth regime, while maintaining blood glucose standards recorded a weight loss of about  $83 \pm 19.2$  g (Fig. 6). Studies of Hernández-Ávila and Olaíz-Fernández [28] showed that the incorporation of cladodes has a negative effect on weight loss in rats, similarly, other investigators [29] found that a diet based exclusively on *Opuntia* showed a drop in weight of 620 g / week of Merinos sheep. It seems then that the *Opuntia* has a regulatory effect on blood sugar level followed by weight loss.

The usual values of uremia are in the range of  $0.28 \pm 0.04$  g / l [19] and  $0.43 \pm 0.08$  [18] with a diet of hay and  $0.32 \pm 0.17$  for Ndoutamia et Ganda [20]. Results for uremia are consistent with the authors for diets 1 and 3 ( $0.23 \pm 0.035$  and  $0.33 \pm 0.02$  respectively), as contribution of barley grain concentrates and field beans, are medium to very rich in fermentable nitrogen, while for regimes 2 and 4, the rate of uremia is significantly lower ( $0.14 \pm 0.03$  and  $0.04 \pm 0.008$ ) respectively; this mean that the listed diets confirm the low contribution of CP by *Opuntia* [22] (Table 3 and Fig. 2). Uremia increases with the protein rate and can be a valid criterion of the state of nitrogen nutrition of animals. Therefore, diets 2 and 4 must be completed by a nitrogen source like ammonia treated straw or urea, despite its deficiency in MAT, diet 2 (straw + *Opuntia*) is able to maintain its initial weight even a weight gain of about  $26 \text{ g} \pm 7.2$  g, with only 393 g of DM of straw and 425 g DM of *Opuntia* (Table3). While the witness group, fed with standard ration of sheep recorded a weight gain of  $75 \pm 22$ g with 516 g DM of straw and 300 g DM of barley grain, it is certain that the ADG was greater for diets barley-based diets that *Opuntia* 46g VS 39g according to Abidi *et al.* [31], by cone in the conditions of drought, barley grain becomes a scarce or non-existent with much more problems of speculation, which even can undermine human food. Under such conditions, diet 2 he can replace the diet of the witness group: the 300 g of barley MS, can be replaced by 425g of *Opuntia* DM. The third regime shows a weight gain of  $93 \pm 18$ g, since the incorporation of the field bean has compensate the deficit nitrogen recorded by the *Opuntia*. The results obtained by Tegegne *et al* [32] in Ethiopia, show a daily average weight gain of 41.5g with a diet

consisting of untreated straw associated with *Opuntia* and wheat bran and 75 g of ADG with a diet based on straw treated with urea associated with *Opuntia* and wheat bran. The results of some authors [33] have shown a weight gain of 20g with a diet of Eragrostis straw, associated with 172g of *Opuntia*. The work of Nefzaoui and Bensalem [22] stated that it is possible to cover maintenance requirements for energy using systems based on spineless *Opuntia*, *ad libitum* with 300g of material dry straw. Our results are similar to the authors raised for diets 2 and 3. Standards in physiological cholesterol (g / l) are of  $0.57 \pm 0.08$  [19] and  $0.65 \pm 0.51$  [20] for Arabic sheep, it is of  $0.73 \pm 0.35$  for Peuhl sheep [20]. The results of cholesterol are consistent with the authors for diet 1 (witness group),  $0.55 \pm 0.05$  g / l (Table 3), or diets based on *Opuntia* present a significant decrease at  $p < 0.05$ . Two interpretations seem plausible and possible: the first shows that the hypocholesterolemia is encountered during the cachectic state of the ewe [18] per cons diets 2 and 3 show a weight gain of  $26 \pm 7.2$  and  $93 \pm 17$ . The second interpretation emphasizes the role of cholesterol in the racket of *Opuntia* as shown in work of Frati [34] who administered dried capsules of *Opuntia ficus indica* in healthy individuals and the rate of cholesterol was lowered in a meaningful way. The results of other authors [35] have reported that ingestion of fresh cladodes in healthy individuals generate lower cholesterol. It seems that the pectin of *Opuntia* interferes with cholesterol biosynthesis and with its blood regulation [36]. Our results representing  $32\% \pm 2.1$  of hemicelluloses parietal residue, with the results of high and low methylated pectin's are  $19\% \pm 1.7$  and  $15\% \pm 1.3$  respectively, representing 34 % 1.87 indicate that this *Opuntia* is considered a fibrous tissue in food and pharmaceutical interest. Other studies on dietary fiber have shown a decrease in lipid levels in healthy individuals. The study carried out in rats [37] showed that the pectin of *Opuntia* tends to reduce cholesterol by binding to bile acids and the increases of their concentrations enhance the catabolism of cholesterol. This cholesterol lowering effect was observed in healthy subjects and also in hyperlipidemics [38] and the rate of HDL and LDL varied significantly in Wistar rats, rabbits and humans [39] and even in hyperlipidemic Guinea pigs. As for the usual values ??of triglycerides, they were of  $0.59 \pm 0.19$  in the Arabic sheep and of  $0.33 \pm 0.12$  in Kirdimi species of Tchad [20]. The results of triglycerides are significantly lower except for diet 1 (witness group),  $0.4 \pm 0.02$ , which has maintained its standards rate of

triglycerides, by con, diets 3 and 4 based on *Opuntia* showed a highly significant difference at  $p < 0.01$  between the witness group diet and diets based on *Opuntia*. The work of Chilliard et al [40], claim a sharp decrease in response to an underfeeding; per cons, diets 2 and 3 records a weight gain, as for the cholesterolemia, the *Opuntia* racket reveals the hypotriglycedemiant role of *Opuntia*. Works of Shuash- et al. [41] have argued that the incorporation of the *Opuntia* cladodes has changed in a very highly significant ( $p < 0.001$ ) the triglyceride levels in healthy Wistar rats; however, the high concentration of triglycerides in diabetic rats did not decrease very significantly with the seed oil of the fruit of *Opuntia*, against a decrease in triglycerids levels was observed [34] in individuals with type 2 diabetes and that the regulatory effect of the *Opuntia* cladodes was identified in many species including *Opuntia ficus indica*, *Opuntia Fuluginosa griffith* and *Opuntia lindheimeri eglem* [43] This regulatory mechanism is still poorly understood and it likely that the pectin of the cladodes interferes in the absorption of lipids [44], but it seems that it is the interaction of many substances such as flavonoids, betalaines and vitamin E [45] which gives it the hypolipidemic activity. The interval from 4.04 to 9.65g ( $BW^{0.75}$ ) of total ingested pectin, cholesterol level diminished ( $P < 0.05$ ) and the rate of triglyceride diminished ( $P < 0.01$ ) (Tables 2 and 3). In bibliographic studies, the standards of albumin are in the order of 41à 60 g / l, according to Smith et al [19] and of  $39 \pm 7.2$ , according to Healy et al. (1979) and of  $31.5 \pm 1.5$  according to Ndoutamia and Ganda [20] in Arabic Sheep. Our results are similar to those of Ndoutamia and Ganda [20]; so, no statistically significant difference at  $p < 0.05$  between the different diets, so, the rate of albumin reflects the storage capacity of the total protein when the diet is low in protein, case for diets 2 and 4, the urea is recycled to the rumen and little nitrogen is lost. Therefore, the amino acids that are not used in anabolism are catabolized in the liver and are degraded into  $CO_2$  and urea and can provide energy through gluconeogenesis and consequently in weight gain.

### CONCLUSION

In this study, it appears that glucose is in the standards of the sheep, whatever is the diet and shows the degree of energy needs of animals. The low rate of uremia for diet 2 and 4 but is offset by a stable rate of albuminuria. Invariably in humans like in animals, the

incorporation of the cladodes seems to show a regulatory effect of glycemia and a hypolipidemic effect. In diet 2, with an ingested of 393 g of barley straw MS and 425 g of MS *Opuntia*, the ewe is able to cover its energy needs maintenance. Diet 3 can substitute for an extreme scarcity diet, with the condition to replace the feed bean by a cheaper nitrogen source like a straw treated with ammoniac. Diet 4 can not pretend a food foraging, with a weight loss of about 83 g. Today, the practice of consumers tend to eat fewer calories and less fat, especially since red meat of sheep is considered as the richest in cholesterol and this can be solved by the incorporation of the *Opuntia* cladodes in diets, whether for humans or animals. Further studies are needed to better understand the therapeutic properties of *Opuntia ficus indica*.

### ACKNOWLEDGEMENTS

This work was made possible through the assistance both technical and moral of the entire staff of the INRA Rabat (Morocco) in particular, its director, Si Mohamed and biomedical laboratory, Dr. Mohamed Maachi of Tiaret (Algeria), Professor Ahmed Bamouh, I A V Hassan II, Rabat (Morocco). They like to express our deep gratitude.

### REFERENCES

1. Nefzaoui, A., 2009. Improved utilization of cactus pear for food, feed, soil and water conservation and other products in Africa (proceedings of international work shop held in Mekelle. Ethiopia 19-21 international congress October 2009.
2. Le Houérou, H.N., 1996. The role of cacti (*Opuntia* spp.) in erosion control, land reclamation, rehabilitation and agricultural development in the Mediterranean Basin. J. Arid. Environnement, 33: 135-159.
3. Nobel S.P., Barbera G.P. Inglese and E. Pimenta-Barrios., 1995. Environnement biology. Edition.Agroecology, cultivation and uses of cactus pear.FAO. Rome (Italy), pp: 36-48.
4. Saenz C., 2000. Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. J. Arid Environment, 46: 209-225.
5. Frati, A.C., E. Jimenez and C.R. Ariza, 1990. Hypoglycemic effect of *Opuntia ficus indica* in non insulin-dependent diabetes Mellitus patients. Phytotherapy Research, 4: 195-197.

6. Lee, J.C. and K.T. Lim, 2000. Effects of cactus and ginger extracts as dietary antioxidants on reactive oxidant and plasma lipid level. Food Sciences. Biotechnology, 9: 83-88.
7. Tresoriere, L., D. Butera, M. Pintaudi, M. Allegra and M.A. Livera, 2004. Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit decreases oxidative stress in healthy humans: a comparative study with Vit. C. Am. J. Clinique. Nutrition, 80: 391-395.
8. Tresoriere, E.H., H. Kahng and S.H. Lee, 2001 An anti-inflammatory principle from cactus. Phytothérapie Research, 72: 288-290.
9. Valvo, M.A., M. Lanza, M. Bella and V. Fasone, 2005. Scerra y acids of lambs fed exclusively maternal milk, Animal. Sciences, 81: 431-436.
10. Loor, J.J., W.H. Hoover, T.K. Miller-Webster, J.H. Herbein and C.E. Polan, 2003. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids in continuous culture fermenters during digestion of orchardgrass or red clover with three levels of ground corn supplementation. J. Animal. Sciences, 81: 1611-1627.
11. Atti, N., M. Mahouachi and H. Rouissi, 2006. The effect of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) supplementation on growth, carcass, meat quality and fatty acid composition of male goat kids. Meat Sciences, 73: 229-235.
12. Ennouri, M., H. Fetoui, E. Bourret, N. Zeghal, F. Guermazi and H. Attia, 2006. Bioresources. Technologies, 97: 1382.
13. INRA, 1978. Prévion de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Ouvrage collectif coordonné par C.Demarquilly. Edition INRA publications. Route de St -cyr, 78000 versailles. pp: 237-258,279-296.
14. INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Ouvrage collectif dirigé par Jarrige R. Edition INRA publications-France. 476 pages. pp: 420-431.
15. Monjauze, A. and H.N. Lehouerou, 1965. Le rôle des *Opuntia* dans l'économie agricole africaine. Bulletin de l'école supérieure agricole de Tunis, (8/9) :85-164. Cité par Mulas M; Mulas G. 2004.
16. FAO, 1989. Potentialités d'utilisation stratégiques des plantes *Atriplex* et *Opuntia* contre la désertification. /AGP/AGPC/doc/publicat/cactus Snt/cactus 2.htm.
17. CIHEAM (centre international des hautes études agronomiques méditerranéennes), 1990. Tableaux des sous produits d'origine méditerranéenne. X. Alibes et J.L. Tisserand (eds), 152pp. CIHEAM. Zaragoza.
18. Haddad, O., 1981. Contribution à l'étude des profils biochimiques chez les ovins :influence de l'alimentation. Mémoire de maitre Es sciences Vétérinaires. Ecole nationale de Toulouse. France.
19. Smith, M.L., R. Lee, S.J. Sheppard and B.L. Fariss, 1978. Ovine serum chemistry values. Am. J. Vet. Res., 39: 321-322.
20. Ndoutamia, G. and K. Ganda, 2005. Détermination des paramètres hématologiques et biochimiques des petits ruminants du Tchad Revue Médecine. Vétérinaire, 156: 202-206.
21. Steel, J.W. and R.A. Leng, 1973. Effects of plane of nutrition and pregnancy on gluconeogenesis in sheep British. J. Nutrition, 30: 451-475.
22. Nefzaoui, A. and H. et Ben Salem, 1998. Spineless cacti: a strategic fodder for West Asia and North Africa arid zones..58-76, in: Proc. Int. Symp. Cactus Pear and Nopalitos Processing and Use. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales/FAO, Santiago, Chile.
23. Ayadi, M.A., W. Abdelmaksoud, M. Ennouri and H. Attia, 2009. Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: effect of dough characteristics and cake making. Ind. Crops Prod., doi:10.1016/j.indcrop. 01.003.
24. Fisher, L.J., P.E. Donnelly, J.B. Hutton and D.M. Duganzich, 1975. J. Agriculture sciences. Cambridge, 84: 29-37.
25. Brett, D.J. and T.H. Stobbs, 1974. Milk yield and composition of milk and blood as indicators of energy intake by Jersey cows. Australie. J. Agriculture, 25: 657-666.
26. Pimenta-Barrios, E., L. Méndez-Moran and B. Ramírez, 1994. Effect of the ingestion of xoconostle fruit (*Opuntia joconostle* Web.) on glycemia and serum lipids. In: Felker P, Moss JR (Eds.) Proc Fifth An Texas Prickly Pear Council. Texas, USA, pp: 51-60.
27. Mathews K.C., K.E. Van Holde and K.G. Ahern, 2002. Bioquímica. 3<sup>a</sup> Ed. Addison Wesley. Madrid, pp: 1335.
28. Hernández-Ávila, M. and G. Olaíz-Fernández, 2002. Diabetes and Mexico: a public health challenge. Ciencia, 53: 8-17.
29. Terblanche, I.L., A.M. Mulder and J.W. Rossow, 1971. The influence of moisture content on the dry matter intake and digestibility of spineless cactus. Agro-Animalia, 3: 73-77.
30. Chiou, P.W.S. and R.M. Jordan, 1973. Ewe milk replacer diets for young lambs. Effect of age of lambs dietary fat on digestibility of the diet, nitrogen retention and plasma constituents. J. Animal Sciences, 36 :597-603.

31. Abidi, S., H. Ben Salema, V. Vastab and A. Priolob, 2009. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica.inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats, Small Ruminant Research, 87: 9-16.
32. Tegegne F, K.J. Peters and C. Kijora, 2005. Effects of increasing levels of cactus pear *Opuntia ficus indica*. Conference on International Agricultural Research for Development. Stuttgart-Hohenheim, pp: 11-13.
33. Degu, A. and M.B. Solomon, 2010. Supplementation of isonitrogenous oil seed cakes in cactus (*Opuntia ficus indica*) tef straw (*Eragrostis tef* based feeding of Tigray highland sheep cactus. 7 th International Congress in Morocco, (Agadir), pp: 17 -22.
34. Frati, A.C., 1992. Medical implication of prickly pearcactus. In: Proc. 3rd Annual Texas pricklypear council. Eds: Felkar P, Moss LR, 24-25July, Kingsville, Texas, pp: 29-34.
35. Wolfram, R.M., H. Kritz, P. Schmid, Y.E. fthimiou, Y. Stamatopoulos and H. Sinzinger, 2002. Effect of prickly pear (*Opuntia robusta*) on glucose- and lipid-metabolism in non diabetics with hyperlipidemia, *Wr klin Wschr*, 114: 840-846.
36. Fernandez, M.L., E.C. Lin, A. Trejo and D.J. McNamara, 1992. Prickly pear (*Opuntia* sp.) pectin reverses low density lipoproteinreceptor suppression induced by hypercholesterolemic diet in guinea pigs. *J. Nutrition*, 122: 2330-2340.
37. Kritchevsky S.A. Tepper, Satchithanandasm. M. Cassidy and G.V. Vahouny, 1988. Dietary fiber supplements: effects on serum and liver lipids and on liver phospholipid composition in rats, *Lipids*, 23: 318-321.
38. Miettinen, T.A. and S. Tarpila, 1977. Effect of pectin on serum cholesterol, fecal bile acids and biliary lipids in normolipidemic and hyperlipidemic individuals. *Clinical. Chemical. Acta*, 79: 471-477.
39. Ney, D.M., B. Lasekanj and L. Shinnickf, 1988. Soluble fiber tends to normalize lipoprotein composition in cholesterol-fedrats. *Nutrition*, 118: 1455-1462.
40. Chilliard, Y., F. Bocquier and M. Doreau, 1998. Digestive and metabolic adaptations of ruminants to undernutrition and consequences on reproduction. *Reproduction. Nutrition. Developpement*, (38 :2): 131-152.
41. Suash-au prauseennivasan, S. and S. Ignacimuthu, 2007. Cinnamaldehyde-A potential antidiabetic agent. *J. Phytomedicine*, 14: 15-22.
42. Frati Munari, A.C., O. Vera Lastra and C.R. Ariza Andraca, 1992. Evaluation of nopal capsules in diabetes mellitus. *Gaceta Medecine Mexico*, 128: 431-436.
43. Laurenz, J.C., C.C. Collier and J.O. Kutu, 2003. Hypoglycaemic effect of *Opuntia lindheimeri* Englem. in a diabetic pig model. *Phytotherapie. Research*, 17: 26-29.
44. Van Bennekum, A., D.V. Nguyen, G. Schulthess and M.C. Hauser Hand Phillips, 2005. Mechanisms of cholesterol-lowering effects of dietary insoluble fibers: relation ship with intestinal and hepatic cholesterol parameters. *British J. Nutrition*, 94: 331-337.
45. Lee, J.C. and K.T. Lim, 2000. Effects of cactus and ginger extracts as dietary antioxidants on reactive oxidant and plasma lipid level. *Food Sciences. Biotechnology*, 9: 83-88.
46. Healy, P.J. and R.H. Falk, 1979. Values of some biochemical constituents in the serum of clinically-normal sheep. *Australia. Veterinary. J.*, 50: 302-305.

## Résumé

L'objectif de cette étude est de déterminer, le régime le plus adéquat à base d'Opuntia capable de couvrir les besoins d'entretien en condition d'extrême sécheresse, avec le moindre coût économique et son impact sur la digestibilité, le niveau d'alimentation, son incidence sur le poids moyen quotidien ; et l'effet de l'incorporation de la cladode, sur 5 paramètres biochimiques. L'expérimentation a été menée en cross over, sur 16 brebis, réparties en 4 lots en les comparant entre eux. Les résultats de la digestibilité ont montré que l'Opuntia améliore la digestibilité de la matière organique des régimes à base de paille, elle est de l'ordre de 63 %  $\pm$  4.75 pour le régime 2. Les résultats pondéraux en (g) des régimes 1, 2 et 3 ont enregistré un gain de poids. Par contre une perte de poids a été indiquée pour le régime 4. Le régime 2 a couvert les besoins d'entretien, et un coût de la ration évaluée à 12.5 DA. Cette bioressource phytogénétique locale, pourrait être une nouvelle niche supplémentaire en unités fourragères. Le taux de pectines totales de l'Opuntia représente 34% du résidu pariétal dont 15% de pectines faiblement méthylées. Les résultats (en g / l) des triglycérides, des régimes 2, 3 et 4, avant et après incorporation des cladodes, ont varié de manière très significative à  $p < 0.01$ . Le taux d'urémie du régime 3 a sensiblement augmenté. La composition chimique des acides gras a révélé que la raquette d'Opuntia est riche en acides gras polyinsaturés. L'incorporation de la cladode a pu satisfaire les besoins énergétiques des animaux, son utilisation en tant que complément alimentaire est recommandée dans les zones arides. Elle a montré son effet régulateur de la glycémie et hypolépémiante tant pour l'animal que pour l'homme.

**Mots clé :** Aridité, Opuntia, digestibilité, coût ration, profil biochimique, développement durable.

## ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تحديد نظام التغذية الأكثر ملائمة على أساس التين الشوكي (Opuntia) القادر على تغطية احتياجات الصيانة في الشروط القصوى بأقل التكاليف الاقتصادية وتأثيرها على عملية الهضم و على مستوى التغذية و كذلك على مؤشر الوزن اليومي المتوسط،... وتأثير ورق التين الشوكي على خمس عوامل بيوكيميائية. تمت التجارب على 4 مجموعات من الأغنام أي 16 رأس غنم تمت المقارنة بينهم، أثبتت التجارب أن (Opuntia) تحسن هضم المواد العضوية بالمقارنة مع التين بما يعادل 63%  $\pm$  4.75 بالنسبة للمجموعة 2. النتائج التقديرية بالـ "غ" للمجموعات 1، 2، 3 سجلت زيادة في الوزن على عكس ذلك حيث نلاحظ انخفاض الوزن في المجموعة 4، أما المجموعة 2 غطت احتياجات الصيانة وكلفة الوجبة الغذائية المقدرة بـ 12.5 دج. هذا المصدر النباتي المحلي قد يحتوي على طاقة حيوية تنفيذ الأغنام، نسبة البكتينيات في التين الشوكي تمثل 34% ، 15% من البكتينيات تتفاعل في الماء الساخن. النتائج البيوكيميائية بـ (غ/ل) للثلاثي الغليسيريدي للنظام الغضائي للمجموعات 2، 3، 4 قبل وبعد إدماج التين الشوكي في الحمية قد تغيرت بطريقة دلالية إلى ( $p < 0.01$ ). نسبة البروتينات للهضم في المجموعة 3 ارتفعت، التركيب الكيميائي للأحماض ذات الدهون غير المشبعة موجودة بكمية معتبرة في التين الشوكي. ادماج الصبار في النظام الغذائي غطى الحاجيات الطاقوية للحيوانات، استعماله كمكمل غذائي الموصى به. التين الشوكي بين فاعليته في تعديل نسبة السكر في الدم وتأثيره على الدسم بانخفاض محسوس للإنسان والحيوان معا. **الكلمات المفتاحية:** قاحلة، التين الشوكي، الهضم، كلفة الوجبة الغذائية، الهيئة البيوكيميائية، التنمية المستدامة.