

*Eléments princeps de la valeur alimentaire  
des fourrages algériens pour le ruminant*  
**Modèles de prédiction**

**Par : Mme KHETIB-CHIBANI Chafia**  
Directeur de thèse : Mme CHABACA R. Professeur. ENSA  
Soutenu le 14 Mars 2013

Jury: Président: Mr ABDELGUERFI A. Professeur ENSA Examineurs : M<sup>r</sup>CHEHAT F. Professeur.  
INRAA M<sup>r</sup>ABBAS K. Directeur de recherches. INRAA



# Table des matières

Dédicace . . .	6
Remerciements . . .	7
Abréviations utilisées . . .	8
Abréviations utilisées (suite) . . .	10
Résumé : . . .	11
Summary . . .	13
صن مله . . .	15
Introduction . . .	16
<b>Partie I. Les tables de valeur alimentaire et l'élevage dans le monde et en Algérie . . .</b>	<b>20</b>
<b>Chapitre 1. Les tables de valeur alimentaire des fourrages . . .</b>	<b>20</b>
1. Considérations générales . . .	20
2. Bref historique . . .	21
3. Récapitulatif des tables dans le monde . . .	27
<b>Chapitre 2. L'élevage et les surfaces fourragères dans le monde . . .</b>	<b>28</b>
1. Les ruminants dans le monde : rôles économiques et sociaux . . .	28
2. Répartition écologiques des ruminants sur la planète . . .	29
3. Rôle social et religieux du ruminant . . .	30
4. Les supports alimentaires des ruminants dans le monde . . .	31
Conclusion . . .	38
<b>Chapitre 3. L'élevage et les surfaces fourragères en Algérie . . .</b>	<b>39</b>
1. Potentiel agricole de l'Algérie . . .	39
2. Potentiel fourrager de l'Algérie . . .	40
3. Le cheptel de ruminants en Algérie . . .	45
4. L'élevage intensif dans l'élevage national . . .	50
Conclusion générale . . .	52
<b>Partie II. Matériel et méthodes . . .</b>	<b>53</b>
<b>Chapitre 4. Mise en œuvre générale . . .</b>	<b>53</b>
1. Les informations recherchées sur les fourrages . . .	53
2. Définition des groupes d'échantillons . . .	54
3. Traitements réalisés sur les groupes de fourrages . . .	54
4. Analyse statistique des résultats . . .	66
<b>Partie III. Résultats et discussion . . .</b>	<b>70</b>
<b>Chapitre 5. Fourrages du groupe 1 . . .</b>	<b>70</b>
1. Somme des données disponibles sur les fourrages algériens . . .	70
Conclusion . . .	70
<b>Chapitre 6. Les fourrages du groupe 2 . . .</b>	<b>71</b>
1. Composition chimique . . .	71
2. La digestibilité et la valeur énergétique . . .	74
3. Modèles de prédiction de la valeur énergétique et azotée . . .	77
Conclusion . . .	80

<b>Chapitre 7. Les fourrages du groupe 3 . .</b>	<b>81</b>
<b>1. Considérations générales sur l'ingestibilité des fourrages . .</b>	<b>81</b>
<b>2. Estimation de l'ingestibilité . .</b>	<b>83</b>
<b>3. Composition chimique, ingestibilité et niveau alimentaire des fourrages du groupe 3 . .</b>	<b>84</b>
<b>4. Equations de prédiction de l'ingestibilité . .</b>	<b>85</b>
<b>Chapitre 8. Fourrages du groupe 4 . .</b>	<b>87</b>
<b>1. Analyse globale de l'échantillon G4<sub>54</sub> . .</b>	<b>88</b>
<b>2. Croisement de la composition chimique de l'échantillon du groupe 2 (G2<sub>54</sub>) à celui du groupe 4 (G4<sub>54</sub>) . .</b>	<b>89</b>
<b>3. Comparaison de la méthode SPIR à la méthode chimique de référence . .</b>	<b>91</b>
<b>4. Discussion . .</b>	<b>98</b>
<b>Chapitre 9. Les fourrages du groupe 5 . .</b>	<b>100</b>
<b>1. Composition chimique des fourrages du groupe 5 . .</b>	<b>100</b>
<b>2. Digestibilité et ingestibilité des fourrages du groupe 5 . .</b>	<b>102</b>
<b>3. Validation des modèles de prédiction de la matière organique élaborés en chapitre 5 au calcul de la digestibilité des fourrages du groupe 5 . .</b>	<b>103</b>
<b>4. Application des modèles de prédiction de l'ingestibilité des fourrages établis en chapitre 6 au calcul de l'ingestibilité des fourrages du groupe 5 . .</b>	<b>108</b>
<b>Chapitre 10. Application au calcul de l'ingestibilité des fourrages algériens . .</b>	<b>119</b>
<b>1. Discussion . .</b>	<b>123</b>
<b>Références bibliographiques . .</b>	<b>129</b>
<b>Annexes . .</b>	<b>150</b>
Annexe 1. Quelques valeurs de production d'unités fourragères (RGA, 2003) . .	150
Annexe 2. Evolution des superficies fourragères des fourrages cultivés en Algérie (MADR, 2008) . .	150
Annexe 3. Evolution des superficies fourragères naturelles en Algérie (MADR, 2008) . .	150
Annexe 4. Evolution du cheptel en Algérie (2000/2007) (MADR, 2008) . .	151
Annexe 5. Répartition du cheptel ovin (AnGR, 2003) . .	151
Annexe 6. Effectifs de brebis selon la taille du troupeau (RGA, 2003) . .	152
Annexe 7. Méthodes de mesure de la digestibilité des fourrages . .	152
Annexe 7 (Suite). Méthodes de mesure de la digestibilité des fourrages . .	153
Annexe 8. Les méthodes de mesure de l'ingestibilité des fourrages . .	154
Annexe 8 (Suite). Les méthodes de mesure de l'ingestibilité des fourrages . .	155
Annexe 9. Les principales caractéristiques des espèces étudiées (l'orge) . .	156
Annexe 9 (suite). Les principales caractéristiques des espèces étudiées (l'avoine) . .	157
Annexe 9 (suite). Les principales caractéristiques des espèces étudiées (le Sorgho) . .	158
Annexe 9 (suite). Les principales caractéristiques des espèces étudiées (Trèfle d'Alexandrie « bersim ») . .	159
Annexe 9 (suite). Les principales caractéristiques des espèces étudiées (La luzerne) . .	160
Annexe 9 (suite). Les principales caractéristiques des espèces étudiées (La vesce) . .	161
Annexe 10. Définition des cycles et stades de coupe (INRA, 2007) . .	161
Annexe 11. Principe et signification des méthodes de d'analyse de la composition chimique des aliments du bétail utilisées dans le monde . .	162

Annexe 11 (suite). Principe et signification des méthodes de d'analyse de la composition chimique des aliments du bétail utilisées dans le monde . .	163
Annexe 12. Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans . .	164
Annexe 12 (suite). Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans . .	164
Annexe 12 (suite) : Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans . .	165
Annexe 12 (suite). Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans . .	166
Annexe 12 (suite) : Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans . .	167
Annexe 12 (suite). Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans . .	168
Annexe 12 (suite). Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans . .	168
Annexe 13a. Composition chimique et valeur nutritive des 23 fourrages de l'INRA (1988, 2007) homologues à ceux du groupe 2 . .	169
Annexe 13a (suite). Composition chimique et valeur nutritive des 23 fourrages de l'INRA (1988, 2007) homologues à ceux du groupe 2 . .	170
Annexe 13b. Composition chimique et valeur nutritive des 23 fourrages du groupe 2 homologues à ceux de l'INRA (1988, 2007) . .	171
Annexe 13b (suite). Composition chimique et valeur nutritive des 23 fourrages du groupe 2 homologues à ceux de l'INRA (1988, 2007) . .	172
Annexe 14. Principales équations utilisées dans le monde pour la prédiction des quantités ingérées . .	173
Annexe 14 (suite). Principales équations utilisées dans le monde pour la prédiction des quantités ingérées . .	175

## Dédicace

*Je dédis ce travail à mon mari pour son soutien et sa patience A mes parents, ma famille et à tous mes amis (es)*

## Remerciements

Au terme de ce travail mené au département de zootechnie de l'ENSA, je tiens à remercier :

Monsieur **A. ABDELGUERFI**, Professeur à l'ENSA d'El Harrach, pour avoir accepté de présider ce jury, je lui exprime toute ma reconnaissance.

Madame **R. CHABACA**, Professeur à l'ENSA d'El Harrach, pour m'avoir confié ce travail.

Ses orientations, ses conseils ainsi que son aide et patience m'ont permis de mener à bien cette thèse.

Qu'elle retrouve ici, mon profond respect et ma parfaite considération.

Monsieur **F. CHEHAT** Professeur à l'ENSA et directeur de l'INRAA d'El Harrach, pour avoir bien voulu participer à l'appréciation de ce travail. Je lui dois toute ma reconnaissance.

Monsieur **K. ABBAS** Directeur de recherches à L'INRA d'El Harrach, d'avoir accepté d'examiner ce travail. Qu'il trouve ici mon profond respect et ma parfaite reconnaissance.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui m'ont aidé durant mon expérimentation, particulièrement Mr Zadi, Mr Boubnia, <sup>Melle</sup> Samia et Meriem de l'ITELV et Mr Fetih de L'ITGC pour la sympathie qu'ils m'ont témoignée.

## Abréviations utilisées

°C : Degré celcius

ADAS :

**ADF** : Acid detergent fiber

**ADL** : Acid detergent lignin

**BLA** : Bovin laitier amélioré

**BLL** : Bovin laitier local

**BLM** : Bovin laitier moderne.

**Ca** : Calcium

**CB** : Cellulose brute

**CIS** : Commonwealth independant states ou CEI (communauté des états indépendants).

**CH<sub>4</sub>** : Méthane

**CL** : Cellulose

**cm** : Centimètre

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**dMA** : Digestibilité des matières azotées

**dMO** : Digestibilité de la matière organique

**dMS** : Digestibilité de la matière sèche

**EB** : Energie brute

**EM** : Energie métabolisable

**EN** : Energie nette

**g**: Gramme

**h** : Heure

**ha**: Habitant

**HC** : Hémicellulose

**ITELV** : Institut technique des élevages

**j**:Jour

**kg** : Kilogramme

**MA** : Matières azotées

**MAD** : Matières azotées digestibles

**Mcal** : Mégacalorie

**mm** : Millimètre

**MODI** : Matière organique digestible ingérée

**MPD** : Matières protéiques digestibles

**MSI** : Matière sèche ingérée

**NA** : Niveau alimentaire

**NDF** : Neutral detergent fiber

**nm** : Nanomètre

## Abréviations utilisées (suite)

**NRC** : National research council

**P** : Phosphore

**P<sup>0,75</sup>** : Poids métabolique

**PDI** : Protéines digestibles dans l'intestin

**PV** : Poids vif

**QMSIB** : Quantité de matière sèche ingérée bovin

**QMSIV** : Quantité de matière sèche ingérée vache

**RGA** : Recensement général de l'agriculture

**SAT** : Surface agricole totale

**SAU** : Surface agricole utile

**SPIR** : Spectroscopie dans le proche infrarouge

**T°** : Température

**TDN** : Total digestible nutriments

**UE** : Unité d'encombrement

**UF** : Unité fourragère

**UFL** : Unité fourragère lait

**UNV** : Unité fourragère viande

**VE** : Valeur d'encombrement

## Résumé :

Il s'agit dans ce travail de recenser toutes les informations disponibles dans le pays sur les fourrages (autour de 600 essais avec 123 aliments). Ces données se sont avérées incomplètes pour tous les paramètres de CC, de VN et de QMSI de fourrages que nous recherchons compte tenu de l'avancée des connaissances et des objectifs individuels des chercheurs exerçant dans des structures différentes qui ont produit ces paramètres.

A partir des premières données complètes et dans un premier temps, nous proposons plusieurs modèles de calcul pour prédire avec fiabilité à partir des composants chimiques la digestibilité, la valeur énergétique et azotée, le niveau alimentaire et l'ingestion ; parmi les plus performants nous retenons :

$$\text{dMO (\%)} = -1,14\text{CB} + 99,18 ; (R^2 = 0,70 ; \text{ETR} = 3,92)$$

$$\text{dMO (\%)} = -0,8597\text{CB} + 1,1514\text{MM} + 79,06 ; (R^2 = 0,77 ; \text{ETR} = 3,42)$$

$$\text{UFL} = -0,0018\text{CB} + 1,3585 ; (R^2 = 0,72 ; \text{ETR} = 0,06)$$

$$\text{UFV} = -0,0021\text{CB} + 1,350 ; (R^2 = 0,71 ; \text{ETR} = 0,07)$$

$$\text{UFL} = -0,0192\text{ADF} + 1,4333 ; (R^2 = 0,76 ; \text{ETR} = 0,06)$$

$$\text{UFV} = -0,0219\text{ADF} + 1,4349 ; (R^2 = 0,77 ; \text{ETR} = 0,06)$$

$$\text{EM (kcal/kgMS)} = 38,474\text{dMO} - 149,4676 ; (R^2 = 0,98 ; \text{ETR} = 10,8).$$

$$\text{MAD (g/kg MS)} = 8,824\text{MAT} - 22,43 ; (R^2 = 0,94 ; \text{ETR} = 12,8 ; P < 0,0001)$$

$$\text{NA} = -0,0267\text{ADF} + 0,0289\text{MAT} + 1,9092 ; (R^2 = 0,72 ; \text{ETR} = 0,24 ; P = 0,000)$$

$$\text{NA} = -0,0196\text{CB} + 0,0314\text{MAT} + 1,6246 ; (R^2 = 0,64 ; \text{ETR} = 0,28 ; p = 0,001)$$

$$\text{MSI g/kg } P^{0,75} = 31,9649\text{NA} + 0,5249\text{MAT} + 0,4853\text{CB} - 8,1314$$

$$(R^2 = 0,89 ; \text{ETR} = 4,9 ; P = 0,000)$$

$$\text{MSI g/kg } P^{0,75} = 35,20\text{NA} + 0,246\text{MAT} + 0,546\text{ADF} - 11,856$$

$$(R^2 = 0,89 ; \text{ETR} = 4,8 ; P = 0,000)$$

Cette première démarche pourra être complétée par la reconstitution sur au moins 4 années de l'ensemble des fourrages recensés afin de disposer d'échantillons permettant le calcul de tous les paramètres recherchés mais manquants. Elle permettra également de tester des méthodes modernes de dosage des composants chimiques des fourrages comme celle de la SPIR (spectroscopie proche infra rouge) qui nous affranchirait de l'utilisation de produits chimiques.

Pour une première année de récolte (2009-2010) et après l'analyse chimique classique et par SPIR de 54 échantillons récoltées, il apparaît que:

- Les composants, pour la plupart, sont dosés avec des écarts faibles entre les deux méthodes.
- Les MM et la lignine marque des différences plus importantes entre les deux méthodes.

- Les résultats d'ensemble montrent des similitudes prononcées entre les deux méthodes. Les années de récolte qui suivront permettront de confirmer ou d'infirmes ces premiers résultats et de conclure à l'obtention d'un échantillon reconstitué comparable à celui historique. Ainsi, un travail approfondi pourra être entamé pour calculer les paramètres manquants à l'établissement d'une table de valeur alimentaire des fourrages algériens.

**Mots clés:** Algérie ; composition chimique ; digestibilité de la matière organique ; fourrages ; modèles de prédiction ; niveau alimentaire ; valeur nutritive

## Summary

If this work on the identification of all information available in the country relative to fodders (about 600 trials with 123 foods). These data were found incomplete for all parameters of chemical composition, nutritive value and dry matter intake of fodders we seek given the advanced knowledge and goals of individual researchers working in different structures that produced these parameters. From the first comprehensive data in the first instance, we offer several models to predict reliably from the chemical components digestibility, energy and protein values, feeding level and food intake, among the best performant we retain :

$$\text{OMD (\%)} = -1,14 \text{ CB} + 99,18 \quad (R^2 = 0,70; \text{RSD} = 3,92)$$

$$\text{OMD (\%)} = -0,8597 \text{ CB} + 1,1514 \text{ MM} + 79,06 \quad (R^2 = 0,77; \text{RSD} = 3,42)$$

$$\text{UFL} = -0,0018 \text{ CB} + 1,3585 \quad (R^2 = 0,72; \text{RSD} = 0,06)$$

$$\text{UFV} = -0,0021 \text{ CB} + 1,350 \quad (R^2 = 0,71; \text{RSD} = 0,07)$$

$$\text{UFL} = -0,0192 \text{ ADF} + 1,4333 \quad (R^2 = 0,76; \text{RSD} = 0,06)$$

$$\text{UFV} = -0,0219 \text{ ADF} + 1,4349 \quad (R^2 = 0,77; \text{RSD} = 0,06)$$

$$\text{ME (kcal / kg DM)} = 38,474 \text{ OMD} - 149,4676 \quad (R^2 = 0,98; \text{RSD} = 10,8).$$

$$\text{MAD (g / kg DM)} = 8,824 \text{ CP} - 22,43 \quad (R^2 = 0,94; \text{RSD} = 12,8; P < 0,0001)$$

$$\text{NA} = -0,0267 \text{ ADF} + 0,0289 \text{ MAT} + 1,9092 \quad (R^2 = 0,72; \text{RSD} = 0,24, P = 0,000)$$

$$\text{NA} = -0,0196 \text{ CB} + 0,0314 \text{ MAT} + 1,6246 \quad (R^2 = 0,64; \text{RSD} = 0,28; p = 0,001)$$

$$\text{MSI (g / kg P}^{0,75}\text{)} = 31,9649 \text{ NA} + 0,5249 \text{ MAT} + 0,4853 \text{ CB} - 8,1314$$

$$(R^2 = 0,89; \text{RSD} = 4; P = 0,000)$$

$$\text{MSI (g / kg P}^{0,75}\text{)} = 35,20 \text{ NA} + 0,246 \text{ MAT} + 0,546 \text{ ADF} - 11,856$$

$$(R^2 = 0,89, \text{RSD} = 4,8, P = 0,000)$$

This first step can be completed by the recovery of at least four years of all forages identified in order to have samples to calculate all the parameters sought but missing. It will also test modern methods for the determination of chemical components of forages such as NIRS (near infrared spectroscopy red) that free us from the use of chemicals.

For the first harvest year (2009-2010) and after conventional chemical analysis and NIRS of 54 samples collected, it appears that:

- Components for the most part, are determined with small gaps between the two methods.
- The ash and lignin mark larger differences between the two methods.
- The overall results show marked similarities between the two methods. Harvest years that follow will confirm or refute these initial results and conclude in obtaining a sample comparable to

that reconstructed history. And extensive work will be initiated to calculate the missing parameters to establish a table of nutritive value of Algerian fodders.

**Key words:** Algiers; chemical composition; organic matter digestibility; forages; prediction models; feeding level; nutritive value.

## ص خ لم

خصص هذا العمل للعثور على كل المعلومات الموجودة في البلد حول الأعلاف (حوالي 600 تجربة و 123 خدام). هذه المعطيات ليست كاملة من حيث المكونات الكيميائية، القيمة الغذائية و كمية المادة الجافة المستهلكة التي نحتاج إليها، نظرا لتطور المعرفة و الأهداف القردية للباحثين في مختلف الهيئات التي أنتجت هذه المعطيات.

ابتداء من المعطيات الكاملة، نقترح الحديد من نماذج الحسابية للتنبؤ بالمادة المهضومة، القيمة الطاقوية، و البروتينية، المستوي الغذائي و الاستجاب للطعام باستعمال المكونات الكيميائية للأعلاف. نقدم الأكثر دقة:

$$\begin{aligned} \text{OMD (\%)} &= -1,14 \text{ CB} + 99,18 \text{ (R}^2 = 0,70; \text{RSD} = 3,92) \\ \text{OMD (\%)} &= -0,8597 \text{ CB} + 1,1514 \text{ MM} + 79,06 \text{ (R}^2 = 0,77; \text{RSD} = 3,42) \\ \text{UFL} &= -0,0018 \text{ CB} + 1,3585 \text{ (R}^2 = 0,72; \text{RSD} = 0,06) \\ \text{UFV} &= -0,0021 \text{ CB} + 1,350 \text{ (R}^2 = 0,71; \text{RSD} = 0,07) \\ \text{UFL} &= -0,0192 \text{ ADF} + 1,4333 \text{ (R}^2 = 0,76; \text{RSD} = 0,06) \\ \text{UFV} &= -0,0219 \text{ ADF} + 1,4349 \text{ (R}^2 = 0,77; \text{RSD} = 0,06) \\ \text{ME (kcal / kg DM)} &= 38,474 \text{ OMD} - 149,4676 \text{ (R}^2 = 0,98; \text{RSD} = 10,8) \\ \text{MAD (g / kg DM)} &= 8,824 \text{ CP} - 22,43 \text{ (R}^2 = 0,94; \text{RSD} = 12,8; \text{P} < 0,0001) \\ \text{NA} &= -0,0267 \text{ ADF} + 0,0289 \text{ MAT} + 1,9092 \text{ (R}^2 = 0,72; \text{RSD} = 0,24; \text{P} = 0,000) \\ \text{NA} &= -0,0196 \text{ CB} + 0,0314 \text{ MAT} + 1,6246 \text{ (R}^2 = 0,64; \text{RSD} = 0,28; \text{p} = 0,001) \\ \text{MSI (g / kg P}^{0,75}) &= 31,9649 \text{ NA} + 0,5249 \text{ MAT} + 0,4853 \text{ CB} - 8,1314 \\ &\text{(R}^2 = 0,89; \text{RSD} = 4; \text{P} = 0,000) \\ \text{MSI (g / kg P}^{0,75}) &= 35,20 \text{ NA} + 0,246 \text{ MAT} + 0,546 \text{ ADF} - 11,856 \\ &\text{(R}^2 = 0,89; \text{RSD} = 4,8; \text{P} = 0,000) \end{aligned}$$

يمكن إكمال هذه الخطوة الأولى بإعادة تشكيل و هذا خلال أربع سنوات على الأقل لمجموعة الأعلاف المحصاة للحصول على عينات تمكنتنا من إكمال المعطيات النقصية. تمكنتنا أيضا من تجربة تقنيات حديثة لمعايرة المكونات الكيميائية للأعلاف، مثل: طيف الأشعة تحت الحمراء (SPIR) لتحرر من استعمال المواد الكيميائية.

حصا السنة الأولى (2009-2010) و التحليل الكيميائي بالطريقتين التقليدية و الأشعة تحت الحمراء ل 54 عينة من العلف بين أن:

- المكونات في معظمها عوت بفرق صغير بين الطريقتين.
- المواد المعدنية و الألياف يظهران فرق اكبر بين الطريقتين.
- على العموم مجموع النتائج يظهر تشابه بين الطريقتين. و سنوات الحصاد المعقولة تسمح لنا بتأكيد أو إلغاء النتائج الأولية التي حصلنا عليها و نحتم بهذا العينة المشككة المشابهة للعينة الأولية و في الأخير يمكننا بدأ عمل معقو لحساب العوامل النقصية لإنشاء جدول القيمة الغذائية للأعلاف الجزئية.

**المفتاح:** الجزائر، المكونات الكيميائية، هضم المادة العضوية، الأعلاف، نماذج التنبؤ، المستوي الغذائي، القيمة الغذائية

# Introduction

L'agriculture algérienne s'est toujours caractérisée par la prédominance de l'élevage et de la céréaliculture et ce depuis la haute antiquité (3000- 4000 an av. J). Ceci peut être démontré par son histoire agro-écologique marquée par la lutte entre les populations sédentaires, adonnées à la culture et les populations nomades se livrant à l'élevage. Ce dernier, étant adapté aux conditions arides du climat, en restant extensif et en utilisant différentes formes de transhumance.

Dans notre pays l'agriculture et l'élevage peuvent être vus à travers trois étapes historiques : D'abord, à la veille de la colonisation française (avant 1830), un équilibre entre population, production et organisation sociale existait. L'intégration réussie de l'élevage et la céréaliculture a assuré le développement concomitant des deux secteurs. L'Algérie était exportatrice de céréales et de moutons dans toute l'Europe.

Ensuite, durant la période coloniale (1830-1962), l'agriculture subit d'importants changements politiques, juridiques, économiques et sociaux. L'élevage des ruminants en Algérie n'a pas beaucoup intéressé les français (**Ste Hilaire, 1919**). Le partage des tâches étaient : « l'indigène seul producteur, l'européen seul transformateur », la plus value allant à ce dernier.

L'intensification n'a pas été encouragée. Ce n'est qu'en 1947, que des essais de Trèfle d'Alexandrie et d'ensilage de maïs ont eu lieu à l'école de maison carrée (aujourd'hui ENSA) d'El Harrach (**Scotti, 1987**).

Enfin, à l'indépendance, l'agriculture et l'élevage ont connu 5 séries de réorganisation politique :

- Dans les années 60, Nationalisation et autogestion ;
- Dans les années 1970, Réforme agraire : « La révolution agraire » ;
- Dans les années 80-90, Restructuration et libéralisation de l'agriculture ;
- En 2000, Plan National de Développement Agricole et Rural (PNDAR) ;
- En 2008, Réorganisation et Programme de Renouveau Rural (PRR) ;
- En 2009, Politique du renouveau de l'économie agricole et rural (PREAR).

## **Quelles sont les conséquences de ces mutations sur l'élevage des ruminants ?**

L'effectif bovin a peu évolué (1,1 millions de têtes en 1920 à 1,6 en 2010). Néanmoins, la politique d'importation de vaches laitières à hautes potentialités a été menée de manière continue à partir du milieu des années 60, avec des effectifs annuels variant entre 2500 et 5000 vaches laitières (Holstein, Frisonne et Montbéliarde ; **Djermoun et Chehat, 2012**). La productivité de ces vaches est restée stationnaire avec 3800 kg/lactation (2000-2004) selon les rapports de l'ITELV, soit un écart considérable par rapport à leur productivité dans leur pays d'origine (7000 kg et plus par lactation). Ceci peut être attribué à plusieurs facteurs : génétiques, environnementaux, économiques et le mode de conduite.

L'effectif caprin quant à lui, a diminué passant de 4 millions de têtes en 1920 à 3,8 en 2010.

Quant aux ovins, l'élevage roi du pays, sur 150 ans, son effectif a été multiplié par un facteur de 5,5 (de 4 millions de têtes en 1868 à 22 millions en 2010).

Ainsi entre 1868 (une épizootie a sévi en Algérie en 1867 et 1868 et hiver rigoureux) et 1940 (effets de la guerre de 30-45), le rapport Ovins/habitant a constamment diminué passant de 2,81 moutons par algérien en 1880 à 0,77 en 1940 ; la moyenne s'établit à 1,7 mouton par habitant. En 1950, 3 algériens se partageaient un mouton. Puis, suite des conséquences de la guerre de 39-45, la massacre de Sétif, l'insurrection du 1<sup>er</sup> novembre 1954 et jusqu'aujourd'hui, le rapport a tourné autour de 0,60 mouton par habitant (Compilation de sources : **FAO, internet, RGA, MADR et Bencharif, 2011**), contre 8 pour la Nouvelle Zélande et 3 pour l'Australie en 2011. Il n'a pas varié depuis l'indépendance.

Bien que seul l'effectif ovin ait progressé entre 1868 et 2011, il l'a été à un rythme très lent : 0,92% en moyenne par an (la progression a été de 2,2% entre 2000 et 2010).

Un premier point important est à relever : Depuis ¾ de siècle, la productivité de notre élevage ovin n'a pas permis de compenser l'augmentation de la population par manque cruel d'intensification.

### **Tentons d'expliquer ce déficit de l'élevage des ruminants dans notre pays ?**

Les faiblesses de l'élevage algérien expliquent bien cet état. Elles sont connues et débattues par de nombreux auteurs, elles sont d'ordres naturels, socio-historiques, techniques et politiques :

- Des problèmes fonciers qui handicapent la modernisation des exploitations (**Abdelguerfi et Laouar, 1997 ; Laouar et Abdelguerfi, 1997; Bessaoud, 2005**) ;
- Une structure inadaptée du troupeau : effectif insuffisant des femelles reproductrices dans les troupeaux : 45% pour les vaches ; 40% pour les chèvres et 41% pour les brebis. Pour cette dernière, cette proportion est de 63% dans le troupeau Français, 55% au Maroc et 57% en Tunisie ;
- L'atomisation des troupeaux : 0,2% des exploitations possèdent des troupeaux de taille supérieure à 50 têtes pour les bovins et 5% des exploitations pour des tailles de troupeaux supérieures à 100 brebis.
- Des animaux à faible rendement de production, malgré l'introduction de race étrangères directement (Pie-Noire, Pie-Rouge et Tarentaise) ou indirectement par le biais de l'insémination artificielle avec des semences importées. La moyenne de production de ces troupeaux composés de races importées est de 3700 kg de lait / vache/an soit une production de 18 kg en moyenne par jour (**Ghozlane et al , 2003**). Cette production est nettement inférieure à ce qui est obtenue en Europe avec les mêmes types génétiques (8 106 en Suède, 6 582 au Royaume-Unis, 7 031 au Pays-Bas et 6 070 Kg/vache/an en France) avec une production de 30 à 40 kg/vache/jour (**CNIEL, 2007**).
- Pour la Tunisie et le Maroc, on rencontre le même schéma. L'importation de races pures (Pie-Noire, Holstein, et autres) domine les élevages laitiers, mais avec des productions moyennes plus élevées (4500kg) qu'en Algérie. Des écarts de 3000 à 6000 kg de lait/vache/an pour le Maroc et la Tunisie sont notés (**Srairi, 2004**). Ces rendements restent toutefois inférieurs en particulier, à ceux des pays de la rive Nord de la Méditerranée.
- La faible performance du troupeau algérien, résulte d'un déficit en fourrages de bonne qualité notamment à l'adresse des vaches laitières performantes importées. L'offre fourragère nationale se situerait à 8 milliards d'unités fourragères contre un besoin de

12 milliards (**Si Ziani et Boulberhane, 2001**). Ce déficit est plus prononcé dans les zones humides (- 45%) et semi arides (- 55%).

- Le caractère extensif de la production fourragère : la jachère, les chaumes de céréales, les pacages et les parcours assurent 82% de la production fourragère. Les fourrages cultivés
- placés dans des conditions d'intensification (0,5 millions d'hectares) ne produisent que 0,6
- milliards d'UF, soit 7,5% de l'offre totale, la correspondance est de 25% en moyenne dans le monde. Quand on sait que dans le monde, le système extensif ne produit que 7% de la production de viande bovine, 12% de la viande ovine et 5% de la production laitière (**Steinfeld et al , 2006**), on voit que le niveau de développement de l'agriculture algérienne est faible.
- Pénurie en terre avec 8,3 millions d'hectares de SAU seulement soit 3,4% de la superficie totale (0,2 ha/habitant en **2010** et 0,14 à l'horizon **2050**) avec peu de possibilités d'étendre les surfaces en terre.
- L'Algérie se trouve en zone de stress hydrique : autour de 500 m<sup>3</sup> (contre 1700 m<sup>3</sup>/hab/an, préconisés par la FAO pour un accès facilité à l'eau).
- Les facteurs d'intensification sont faiblement développés, tel l'irrigation avec seulement 0,5 millions d'hectares contre 1,7 et 0,6 pour le Maroc et pour la Tunisie (**Aquastat, 2007**) et les intrants (engrais seulement 12 kg/ha : 203 en France par exemple et 43 au Maroc).
- Enfin, la faiblesse de la vulgarisation et de la formation des éleveurs et agriculteurs, qui sont culturellement d'abord des pasteurs.

Néanmoins, des actions sont proposées par les spécialistes du domaine pour améliorer la situation (**Hammadache, 2001 ; Abdelguerfi et al , 2008**) :

### **1. Pour les zones favorables et périmètres irrigués**

- Réduire les superficies des fourrages grossiers utilisés comme foin (vesce-avoine, orge, avoine...) au profit d'autres cultures (Bersim, Ray-gras, Fétuque, luzerne, sulla et autres).
- La conduite et l'exploitation des cultures fourragères doivent être nettement améliorées.
- Introduction de l'ensilage.
- Développement d'espèces à graines pour produire des aliments concentrés (triticale, orge, sorgho grain et graines de protéagineux (lupin, féverole, gesse...).
- Développement des prairies par leur régénération : entretien, gestion et réensemencements.

### **2. Pour les zones céréalières et jachères**

- Amélioration de la production des jachères pâturées et fauchées.
- Meilleure valorisation des pailles et des chaumes de céréales.

### **3. Pour les parcours forestiers et les zones de montagnes**

- Meilleure gestion des formations végétales déjà présentes.
- Ensemencement des clairières et des enclaves forestières par des espèces d'intérêt fourrager ou pastoral à travers l'utilisation de légumineuses à re-semis naturels (luzernes annuelles, trèfles, Sulla..).

- Mise en place d'arbres et d'arbustes fourragers adaptés à ces milieux (Frêne, luzerne arbustive, févier d'Amérique, acacias..).

#### **4. Pour les parcours steppiques**

- Reprendre et maintenir les cultures dans les bas-fonds et les zones d'épandages des crues.
- Mise en place de vergers d'arbres et d'arbustes fourragers et introduction d'espèces annuelles ou pérennes à re-semis naturels.
- Maintenir et encourager le système du nomadisme et le mouvement des troupeaux.

Les encouragements financiers de l'état vont dans le même sens que les préconisations de ces auteurs (plan de développement, PNDA...).

A cet ensemble, nous ajouterons un outil indispensable de rationalisation et de modernisation de l'agriculture algérienne, objet de cette thèse, la connaissance de la valeur nutritionnelle et alimentaire des fourrages de notre pays.

Ces informations indispensables permettront de rationaliser et de gérer à moindre frais, les besoins nutritionnels et l'ingestion des animaux en fonction de leur niveau de production. Elles sont récapitulées dans des tables appelées : « **Tables de valeur alimentaires des fourrages** ».

Ainsi, l'objectif global de ce travail, s'insère dans l'esprit du PNDAR 2000 et PRR (2008) qui préconisent la mise en place de tel instrument de modernisation de notre élevage.

Dans ce travail, après un résumé des faits qui ont marqué l'établissement des tables de valeur alimentaire des fourrages (TVAF) dans le monde, un panorama de l'élevage du monde et de l'Algérie étant fait, nous présentons et discutons les premières données de base à l'élaboration d'une table de valeur alimentaire des fourrages algériens.

# Partie I. Les tables de valeur alimentaire et l'élevage dans le monde et en Algérie

## Chapitre 1. Les tables de valeur alimentaire des fourrages

### 1. Considérations générales

---

Le développement des systèmes d'évaluation des aliments et des besoins des animaux a commencé dans la deuxième moitié du 19<sup>ème</sup> siècle dans un contexte de rationalisation des techniques et du travail (Taylorisme). L'élevage n'a pas échappé à ce courant. Ces systèmes, après un début timide, ont évolué de façon notable depuis les années 40 avec les systèmes hollandais et allemands et en France, avec l'introduction de l'unité fourragère Leroy en 1943.

Ces tables, portent des données sans cesse actualisées, affinées par des outils de prévision de plus en plus fiables (**Baumont et al, 2005 ; INRA, 2007**). Par exemple en France, les étapes graduelles d'actualisation des tables de valeur alimentaire des fourrages sont visibles à travers les tables de **Leroy (1954) ; Demarquilly et Weiss (1970) ; INRA (1978) ; INRA (1988) ; INRA (2007)**.

Quelle que soit sa nationalité, une TVAF, recèle des informations sur la composition chimique plus ou moins complète selon les pays, la digestibilité des composants, la valeur énergétique par sa partition (EB, ED, EM et parfois EN) et les quantités ingérées suivant la famille botanique, l'espèce végétale, le numéro de cycle, l'âge et le mode de conservation et d'utilisation (vert, foin ou ensilage) ainsi que la valeur d'encombrement pour certains pays (notamment la France et les Pays Bas). Le nombre d'aliments présenté dépend des pays, par exemple, la table INRA de France regroupe 1020 aliments avec 29 fourrages cultivés (stades et cycles confondus) utilisés en vert ou conservés, 17 fourrages lignifiés, 12 racines et tubercules et 143 matières premières concentrés (**INRA, 2007**). Celle du Royaume-Unis propose 22 fourrages verts (**ADAS, 1992**), alors que celle des USA propose 100 fourrages de référence (**NRC, 2001**).

Ces différences s'expliquent, par la diversité des fourrages utilisés dans chaque pays, ainsi que les conditions de culture, de récolte (nombre de stades et de cycles qui dépendent eux-mêmes du climat, du sol...), de conservation des fourrages et du niveau de technicité de chaque pays.

Les fourrages les plus représentés dans les TVAF internationales sont recrutés parmi une cinquantaine de fourrages cultivés de part le monde. Mais, la composition chimique, la valeur nutritionnelle et alimentaire peuvent être différente. En effet, interviennent, les techniques culturales pratiquées, le climat, le mode et les conditions de récolte et de conservation de ces fourrages (**Demarquilly, 1981**). La température par exemple peut affecter à elle seule l'ingestion volontaire, ce qui est suffisant pour diminuer la production (**Newman et al, 2005**).

L'autre volet de connaissances pour rationner des animaux est la connaissance de leurs besoins. Pour cela, les chercheurs ont déterminé des niveaux différents de besoins pour chaque catégorie d'animaux et les apports alimentaires correspondants pour les couvrir. Il en a découlé, des formules de rations les moins chères possibles qui répondent au mieux aux différentes situations.

## 2. Bref historique

---

### 2.1. Panorama mondial

Les premiers frémissements d'une TVAF ont eu lieu dans les années 1800-1810 sur des connaissances empiriques concernant des foins, des navets, des tourteaux, et des pailles. A cette époque, la question posée était « Quelle est la quantité d'aliments nécessaires pour le maintien de la production animale » (Tyler, 1975). Plus tard, l'idée est venue d'aborder d'une manière plus scientifique « que chaque aliment pour le bétail pourrait être analysé chimiquement à travers l'analyse des fibres brutes ». Les chercheurs allemands ont été pionniers dans ce domaine.

**Thaer** en 1809 à travers son livre intitulé : « Principes de l'agriculture raisonnée » est le premier à établir une table indiquant la valeur relative de différents aliments. Il s'est basé sur les travaux de son co-équipier **Einhof**, chimiste qui étudia la valeur nutritive de différents matériaux en utilisant des solvants acides ou basiques et des alcools. La valeur dissoute est assimilée à la valeur nutritive de l'aliment. L'aliment de référence à base 100 est le foin. Tous les autres aliments ont été alors exprimés en termes d'équivalent foin (Johnson, 2007).

Cette première table n'a pas eu vraiment de succès car les foins sont les aliments dont la valeur nutritive est la plus variable. Cette table a été de moins en moins utilisée à partir de 1860.

En 1872, **Fjorg** (inspirateur des systèmes scandinaves), corrigeait les inconvénients du foin en proposant un autre aliment de référence constitué de 0,5 kg de riz et d'orge de parts égales. Entre temps, en 1837, **Boussingault**, avait évoqué l'azote comme l'élément le plus important dans un aliment. En conséquence, il présente une table où il compare plusieurs aliments sur la base de leur teneur en azote. On comprend que jusqu'au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, le concept d'interaction entre les constituants énergétiques et azotés d'un aliment pour révéler sa potentialité alimentaire n'était pas connu.

Jusque là, les chercheurs traitaient beaucoup plus de la valeur des aliments, mais aucun n'a fait mention des besoins des animaux. En 1858, **Grouven** sur la base d'analyses chimiques, énonce le premier des recommandations d'alimentation pour animaux en termes de matières grasses brutes, protéines brutes et hydrates de carbones dans son livre intitulé : « Conférence sur la chimie agricole ». Mais, il a été bien vite reconnu que l'aliment n'est pas utilisé dans sa totalité et qu'une partie sans intérêt pour l'animal est perdue dans les fèces. En effet, parallèlement, à la station expérimentale de Weende, se réalisaient par **Hennberg et Stohman**, les premiers essais de digestibilité. Commencés en 1858, ils les publient en 1860 dans un livre sur le rationnement, où ils critiquent le système de **Thaer**. Un second volume était publié en 1863. Depuis, des milliers d'essais de digestibilité ont été réalisés.

Pendant ce temps, **Emil Von Wolff** en Allemagne, a essayé de moderniser les systèmes de **Thaer** en prenant en compte, les fibres, les substances azotées, ainsi que les matériaux solubles (en fait, la digestibilité). En 1874, il publie son livre intitulé : « L'alimentation rationnelle des animaux de ferme», dans lequel il exprime les

besoins des animaux en éléments digestibles, en se basant sur les essais réalisés jusque là. Ces « normes » ont été publiées annuellement à Mentzel et le calendrier agricole de Lengerke jusqu'en 1896.

En 1880, **Armsby** en Amérique, fait la synthèse des connaissances disponibles sur les TVAF notamment en traduisant le livre de **Wolff**, il a intitulé son ouvrage « Manuel d'alimentation des bovins ».

Le concept de partition des besoins de l'animal en besoins d'entretien et de production a été introduit par **Kuhn**, en 1887 dans son livre : « Nutrition des bovins ».

A la fin du 19<sup>e</sup> siècle, un siècle après les premières réflexions sur les TVAF, les bases solides des tables modernes étaient fixées.

En 1897, **Lehman** a révisé les tables de **Wolff** à la lumière des critiques de **Kuhn**, sous une nouvelle appellation : « Normes de **Lehman-Wolff** » et continue à être publié dans le calendrier agricole, et les textes américains. Elles sont universellement utilisées jusqu'en 1906 (**Maynard, 1953** ; **Reid, 1956**). Entre temps, **Kellner** en 1905 publie ses normes en équivalent-amidon et protéines digestibles vrais. Néanmoins, sans distinction entre besoins d'entretien et besoins de production. Ce système a été très largement utilisé dans le monde, et était encore en pratique jusqu'en 1976 dans plusieurs pays (Allemagne Fédérale, Autriche, Grande Bretagne, Pays-Bas, Suisse et certains pays de l'Europe de l'Est) (**INRA, 1978**).

En 1903 des avancées majeures ont été réalisées par **Heacker** aux USA, après plusieurs années de travail à la station du Minnesota. Il démontre que les besoins pour la production laitière ne dépendaient pas que de la quantité de lait, mais aussi, de la qualité de ce dernier, plus précisément de la teneur en matière grasse du lait. Mais surtout, il est l'inspirateur d'un nouveau système qui a eu un grand succès : le système TDN (Total digestible nutrients), où les nutriments digestibles étaient sommés avec l'extrait éthéré qui était multiplié par 2,25. En 1912, **Savage** a modifié ces normes, en ajoutant 20% aux besoins azotés utilisés par **Heacker** (**Reid, 1956**).

Le système TDN a été régulièrement publié dans les textes standards aux USA, en premier lieu par **Henry (1898)**, puis par **Henry et Morrison (1910)** ; **Morrison et al (1936)** et **Morrison en 1947**. De ce fait, le système TDN a été pendant longtemps la base de calcul des besoins énergétiques pour le NRC (**Blaxter, 1986**).

**Armsby (1906-1917)** aux USA, avec le même principe fondamental que **Kellner** a introduit la calorie pour exprimer les besoins et l'utilisation des aliments par les animaux. Il développe et appuie la notion d'énergie nette « EN » déjà en vigueur dans le système TDN.

En Europe du Nord, **Fjord**, initie le système des unités fourragères (UF) qui dérive des systèmes d'équivalent-amidon de **Kellner** (système en EN), dans lequel la mesure de la valeur nutritive est celle de 1 kg d'orge, qui est adoptée en 1915, comme unité de référence par les Danois, les Norvégiens et les Suisses. Ce système comprend deux unités : UF scandinave et UF scandinave réformée ou UF d'engraissement (**INRA, 1978**).

Les systèmes TDN et le système d'équivalent-amidon de **Kellner** donc se partageaient le nouveau et l'ancien monde. Mais ces systèmes étaient plus favorables à l'engraissement

qu'à la production de lait. Dans les années 50, à Cambridge des conclusions très intéressantes ont été faites sur le rôle spécifique de chaque acide gras volatil sur le métabolisme des ruminants et les limites du système de Kellner. Aussi, les travaux en chambre calorimétrique de l'institut de Hannah ont conduit à l'établissement du système

d'énergie métabolisable (EM), qui est adopté par l'ARC (1965, 1980) et les instances du Royaume Unis, de l'Ecosse et d'Irlande du Nord (Blaxter, 1986).

Ce système indique que les besoins énergétiques sont définis par l'enthalpie de combustion des tissus déposés, du lait sécrété et les tissus perdus par le jeun (principe de l'énergie nette). Mais, cette énergie (en fait l'EM) est utilisée avec une efficacité différente selon le niveau alimentaire, type de production, et la nature du régime distribué, les bases des nouveaux systèmes en place actuellement dans le monde étaient posées.

Selon leur histoire en matière de TVAF, les pays y ont apporté des adaptations différentes. En Allemagne, une adaptation du système de Kellner a donné le système NEF de Rostock. D'autres se sont basés sur les rendements de l'EM pour l'entretien, l'engraissement et la lactation : Royaume-Unis, USA, Pays-Bas, Suisse et France (1973-1979). Dès lors, les différents systèmes utilisés à travers le monde n'ont cessé d'être réviser et compléter.

## 2.2. Cas de l'azote

Après, ce bref historique sur les TVAF, on s'aperçoit que la valeur azotée des fourrages et les besoins azotés des animaux n'ont pas connu autant de mutations chronologiques comme ce fut le cas pour l'énergie.

Jusqu'au début du siècle dernier, la valeur azotée des fourrages était exprimée en matières azotées digestibles ou en protéines vraies digestibles. A la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, on distingua dans les aliments des animaux deux groupes de constituants azotés obtenus après un traitement par les sels de métaux lourds (hydroxyde de cuivre) : les matières protéiques ou albuminoïdes (le précipité) et les matières azotées solubles ou non protéiques. La digestibilité apparente était le critère universellement utilisé pour mesurer l'utilisation digestive de l'azote chez les ruminants et les monogastriques. De ce fait, les apports et les besoins des animaux ont été exprimés en matières azotées digestibles (MAD) utilisées aux USA soit en matières protéiques digestibles (MPD) utilisées par Kellner dans tous les pays européens.

Mais on s'est aperçu très vite que cette expression sous estimait la valeur azotée des aliments riches en azote non protéique. Pour y apporter correction, une 3<sup>ème</sup> unité est proposée en Grande-Bretagne en 1925 : l'équivalent protéique, qui est la somme de MPD +0,5MA non protéique. Mais c'est le système MAD qui a eu le plus de succès dans le monde (Jarrige, 1978).

A la fin des années 60, on commence à se rendre compte que ce système qui mesure la quantité de matières azotées qui disparaît apparemment dans le tube digestif était insuffisant pour évaluer l'azote des aliments. En effet, les protéines qui arrivent dans l'intestin grêle avaient une double origine, l'une alimentaire et l'autre microbienne. Face à des nouvelles données des productions animales : la diversification des sources azotées, la qualité des produits, l'efficacité alimentaire et les moindres rejets azotés dans la nature, ce système était devenu limitant.

L'estimation des flux de protéines vraies absorbées entrant dans l'intestin du ruminant, représentait un objectif de progrès important pour faire avancer le rationnement des animaux, ceci a été possible avec les techniques des bilans intestinaux. L'accumulation des données, a permis de quantifier les principaux facteurs de variation de l'activité de dégradation de l'aliment et de synthèse microbienne dans le rumen (Demarquilly et al, 1996).

De ces travaux est né un nouveau concept de l'alimentation azotée des ruminants. Les apports et des besoins azotés sont exprimés désormais en acides aminés absorbés dans l'intestin : **Miller (1973)** en Grande-Bretagne ; **Burrough et al (1974)** aux USA ; **Jarrige et al (1978)** en France ; **l'ARC (1980-1984)** en Grande Bretagne ; **Bickel et Landis (1987)** en Suisse ; **Madsen (1985)** dans les pays scandinaves ; **NRC (1985)** aux USA et **Rohr (1987)** en Allemagne de l'Est. Ces systèmes ainsi proposés ont le même principe de base : déterminer les besoins en acides aminés des microorganismes afin d'optimiser la synthèse bactérienne du rumen et ceux de l'animal selon sa catégorie et son niveau de production. Mais, les unités, la terminologie et les facteurs utilisés pour calculer la valeur azotée sont différents d'un pays à un autre comme le montre le **tableau 1(Chabaca, 2004)**.

Paramètres	USA	France	Suisse	Allemagne	Systèmes Nordiques*	Royaume unis
PM/MAT dgr	0,9	0,9	1,0	0,95	-	0,8 -1,0
PM/MOD	0,14	0,135	0,135	0,16	0,160	0,130
PMV/PM	0,80	0,80	0,80	0,73	0,70	0,80
PMVD/PMV	0,85	0,80	0,80	0,90	0,85	0,80
PMVD/PM	0,64	0,56	0,56	0,66	0,60	0,68
PADI/PANdgr	0,80	0,50-0,90	0,80	0,66	0,70	0,85

\* Systèmes utilisés en Finlande ; Norvège ; Danemark ; Islande et Suède.  
 PM : protéines microbiennes ; MATdgr : MAT dégradées dans le rumen ; MOD : matière organique digestible dans l'ensemble du tube digestif ; PMV : protéines microbiennes vraies ; PMVD : protéines microbiennes vraies digestibles dans l'intestin ; PADI : protéines alimentaires digérées dans l'intestin ; PANdgr : protéines alimentaires non digérées dans le rumen.

Tableau 1. Paramètres de l'utilisation de l'azote par le ruminant dans les principaux systèmes d'évaluation de la valeur azotée des fourrages

### 2.3. Exemples des tables françaises

Les tables utilisées en France pour l'alimentation des ruminants proposent des valeurs de composition chimique, de valeur alimentaire et d'ingestibilité pour une grande catégorie de fourrages. De ce point de vue, elles n'ont pas d'équivalent dans les autres pays.

Ces tables découlent de mesure *In vivo* de la digestibilité et de l'ingestibilité des fourrages chez le mouton.

Les premières tables de références sont celles élaborées par Leroy, à partir d'un nombre limité d'expérimentations françaises et étrangères réalisées dans les années 40. Il les publie dans ses différents ouvrages ou dans des brochures simplifiées de grandes diffusions. Il y utilise la notion d'énergie nette et celle de MAD. Ces tables ont servi de base à l'enseignement et à la vulgarisation agricole jusque dans les années 70 (**Jarrige, 1978**).

Dés les années 60, il est apparu indispensable de les compléter et de les réviser en tenant compte des progrès des connaissances sur les besoins des animaux et l'utilisation digestive et métabolique des aliments, des techniques d'alimentation et d'exploitation des ruminants disponibles à cette date. Ces nouvelles connaissances ont été regroupées et publiées par l'ARC (Agricultural Research Council).

Dés lors, les connaissances sur les ruminants ont continué à s'accroître et à se préciser surtout sur la maîtrise de la fermentation dans le rumen, l'utilisation de l'énergie, de l'azote, de certains éléments minéraux (P, Mg, Ca), la composition, l'ingestibilité et la digestibilité des fourrages. Ces travaux se sont concrétisés par l'élaboration par **Demarquilly et Weiss (1970)** d'une nouvelle table de composition et de valeur alimentaire des fourrages. Cette table est une modification et une complémentation de celle de **Leroy**. Elle donnait pour la première fois, la composition chimique, la valeur nutritive, et l'ingestibilité des fourrages en fonction de l'espèce, du stade de végétation et du mode de conservation.

L'étape suivante, a été le travail de l'équipe de **Jarrige** qui a abouti à la publication de l'ouvrage « Alimentation des ruminants » en 1978. Dans cet ouvrage sont développés de nouveaux concepts inspirés de la réflexion de **Blaxter** :

- L'expression des apports et des besoins énergétiques en deux UF, Unité fourragère lait (UFL) et Unité fourragère viande (UFV) ;
- L'introduction d'une nouvelle unité pour exprimer les apports et les besoins azotés, PDI (Protéines digestibles dans l'intestin grêle), à côté des MAD ;
- Un nouveau système d'expression de l'ingestibilité et la capacité d'ingestion des animaux : l'unité d'encombrement (UE).

Durant la décennie qui a suivi, ces données ont été vérifiées, actualisées et complétées : la gamme des aliments a été élargie, notamment avec les données pour les principaux aliments concentrés. Le concept d'unité d'encombrement a été rénové et les besoins des animaux pour la croissance et pour l'engraissement ont été révisés, complétés et étendus à une plus large gamme d'animaux.

Cela s'est traduit par la publication d'une nouvelle édition en 1988, sous le titre « Alimentation des bovins, ovins et caprins ». 1995, 2004 et 2007 sont les dates des nouvelles éditions, rectifiées, augmentées et diversifiées comme la table de composition et de valeur nutritive des matières premières, dont les données sont utilisées pour la formulation des aliments concentrés fabriqués à la ferme ou dans l'industrie des aliments composés.

#### 2.4. Les tables françaises et les tables étrangères

Outre le nombre de fourrages référencés (cf : 1. Considérations générales) qui vont de 1020 (France) à 62 (Grande Bretagne), la TVAF des Pays Bas (**CVB, 2001**), présente des références basées sur des équations de prévision de la valeur azotée et énergétique à partir de la composition chimique, et seuls quelques repères sont donnés par grande catégorie de fourrages, mois de récolte et d'exploitation.

Celles qui se rapprochent le plus des tables françaises sont celles de l'Allemagne, actualisées récemment par **Jentsch et al , 2003** et celles utilisées en Suisse (**Daccord et al , 1999**).

Des différences apparaissent également sur les rubriques renseignées : MS, MO, MAT et digestibilités correspondantes sont présentes dans toutes les tables. En revanche, la façon dont les glucides pariétaux sont donnés est différente. Dans les tables INRA de France, les tables suisses et celle des Pays Bas, les composés pariétaux sont exprimés en CB de Weende. En Allemagne, on trouve dans les tables les teneurs en sucres et en amidon, ce qui permet d'estimer la fraction pariétale. Quant aux Etats Unis et la Grande-Bretagne, ils utilisent le fractionnement de Van Soast (**Baumont et al , 2005**). Ajoutons que, les tables américaines sont les seules qui proposent des valeurs du rythme de dégradation des

glucides et des protéines dans le rumen. Par contre, les tables françaises sont les seules à présenter les valeurs d'ingestibilité des fourrages.

### 2.5. Les tentatives de mise en place d'une table de la valeur alimentaire des fourrages méditerranéens

Le bassin méditerranéen est le berceau de diversification d'un grand nombre d'espèces d'intérêt fourrager et pastoral. Les genres *Trifolium*, *Medicago*, *Vicia*, *Astragalus*, *Lathyrus*, *Avena*, *Hordeum*... , sont largement représentés, avec 3139 espèces en Algérie, 3700 au Maroc et 2162 en Tunisie (**Abdelguerfi et Laouar, 2004**). Par ailleurs, la différence de distribution des espèces d'une région à une autre, la diversité de la flore, reflète la grande richesse des régions méditerranéennes en ressources génétiques d'intérêt fourrager et/ou pastoral.

Cette situation a intéressé les spécialistes en alimentation animale, en particulier européens. Le CIHEAM avec la collaboration des pays méditerranéens de la rive Sud (Algérie, Maroc, Tunisie et Egypte) et Nord (Italie, Portugal, Espagne, France), ont réalisé un répertoire de différentes plantes fourragères utilisées pour l'alimentation du bétail dans ces régions. Ce travail a abouti à une table de valeur alimentaire des fourrages et sous-produits méditerranéens publié en 1981. Elle regroupe 66 fourrages et sous produits agricoles. En 1983, un complément de 26 données y a été ajouté. Enfin, en 1990 un document plus complet a été publié, offrant des données sur 126 espèces végétales : fourrages, arbres et arbustes et sous produits (**Tisserand, 1991**).

Cette table, regroupe des recueils des tables de pays comme la Tunisie (**Chermiti, 1983**) et Chypre (**Hadjipanayiotou, 1983**), elle renseigne sur la composition chimique et la digestibilité, avec l'introduction du dosage des constituants pariétaux, la teneur en énergie (EB, EN, EM), et la valeur azotée en MAD. Le concept de protéines digestibles dans l'intestin, n'a pu être introduit par manque de données sur la dégradabilité de l'azote dans le rumen des aliments méditerranéens, tout comme les teneurs en macroéléments (Ca et P). De même, ces tables ne renseignent pas sur les quantités ingérées, car ce paramètre a été rarement mesuré lors des essais de digestibilités *In vivo* (**Alibes et Tisserand, 1983 et 1990**).

### 2.6. Cas particulier de l'Algérie

Les pays du Sud, la plupart colonisés au 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle, ont appliqué à leur élevage, les tables en vigueur dans leurs métropoles respectives. Les pays du Sud anglophones, le système TDN, les pays francophones, le système Leroy et actuellement, timidement le système PDI.

En Algérie, le rationnement des animaux est fait à partir de tables étrangères, particulièrement les tables françaises. Cependant, on sait depuis longtemps que la simple transposition de systèmes alimentaires et de tables établies sur un continent ou un pays donné est entachée d'incertitudes et d'erreurs. Elle ne permet pas localement d'appréhender et d'utiliser de façon optimale toutes les ressources locales. L'utilisation des tables étrangères, reste donc, une source d'erreurs importantes. Elles s'expliquent par des différences de climat qui ont une influence directe sur les conditions de culture, le métabolisme de la plante et l'exploitation des cultures fourragères. Par exemple, la température, l'ensoleillement, l'aridité et l'évaporation ont une influence directe sur la composition chimique et la valeur nutritive des fourrages (**Tisserand, 1991**).



## Chapitre 2. L'élevage et les surfaces fourragères dans le monde

Le secteur de l'élevage dans le monde représente 40% de la production agricole mondiale. Avec l'augmentation du niveau de vie, celle de la population mondiale et les changements d'habitudes alimentaires visibles notamment dans les pays du Sud, les besoins en protéines animales vont aller en croissant (FAO, 2009).

La part des pays du Sud dans l'élevage mondial s'améliore considérablement grâce notamment à l'Asie de l'Est et du Sud Est, l'Amérique latine et aux Caraïbes.

Ainsi, en 2007, les pays du Sud ont dépassé en quantités les pays développés pour la production de viande et d'œufs et ont comblé leur retard en ce qui concerne la production de lait (Tableau 3).

Consommation (kg/ha/an)						
Produits	Viande		Lait		Œufs	
Pays	1980	2005	1980	2005	1980	2005
Pays développés	76,3	82,1	197,6	207,7	14,3	13,0
Pays en développement	14,1	30,9	33,9	50,5	2,5	8,0
Monde	30	41,1	75,7	82,1	5,5	9,0
Production (Millions de tonnes)						
Pays	1980	2007	1980	2007	1980	2007
Pays développés	88,6	110,2	350,6	357,8	17,9	18,9
Pays en développement	48,1	175,5	144,9	313,5	9,5	48,9
Monde	136,7	285,7	465,5	671,3	27,4	67,8

Tableau 3. Evolution de la consommation et de la production des produits de l'élevage dans le monde

(FAO, 2009)

Néanmoins, exprimée en kg/habitant les pays développés ont produit en 2007, deux fois plus de viande (66 kg) que les pays du Sud (35 kg) ; trois fois plus de lait (210 kg contre 63) et à presque à égalité pour les œufs (11 kg contre 10 kg).

### 1. Les ruminants dans le monde : rôles économiques et sociaux

L'impact économique de l'élevage de ruminant est gigantesque avec une production de lait, de viande, de beurre, de laine, de peaux respective de 693,3 ; 279,9 ; 9,6 ; 2,2 ; 11,5 millions de tonnes), sans négliger le travail par les gros ruminants (transport, laboure). Ainsi, l'élevage à lui seul, représente 1,4% du PIB mondial (2008) soit en parité de pouvoir d'achat, près de 1000 milliards de dollars. En plus, le secteur de l'élevage des ruminants est socialement et politiquement très important dans les pays en développement. Il nourrit et fait vivre près de 1,5 milliard de pauvres dans le monde, en particulier dans les zones arides, où les animaux d'élevage sont souvent le seul moyen d'existence.

Le cheptel mondial est estimé à 3,4 milliards de têtes de ruminants en 2008 (0,5 tête/habitant), avec 1,35 milliard de bovins et 1,10 milliard d'ovins. L'Asie détient 60% du cheptel caprin et 41% du cheptel ovin mondial, avec la Chine (34% du cheptel ovin mondial) comme premier pays producteur (GEB, 2008). Le cheptel bovin est prépondérant en Amérique

avec 35% de l'effectif mondial, suivi de l'Asie avec 31% en Inde et le Nord-Est de la Chine (**Tableau 4**).

Continents	Bovins	Buffles	Ovins	Caprins	Camélidés	Autres camélidés
Afrique	269,9	5,03	287,6	291,1	21,02	-
Amérique	480,9	1,13	91,21	37,4	-	6,86
Asie	430,9	174,2	452,3	514,4	3,7	-
Europe	127,1	0,332	133,9	17,9	0,0071	-
Océanie	38,47	0,000210	113,1	0,949	-	-
<b>Monde</b>	<b>1 347,4</b>	<b>180,7</b>	<b>1 078,1</b>	<b>861,9</b>	<b>24,7</b>	<b>6,86</b>

Tableau 4. Répartition de l'effectif des ruminants dans le monde ( $10^6$  de têtes) en 2008

(FAO, 2009)

Sur 8 ans, le cheptel caprin est celui qui a progressé le plus (15%). Cette progression s'est produite en Asie qui détient 60% du cheptel (**FAO, 2010**). Tandis que le cheptel ovin et bovin a globalement stagné avec une progression respective de 4% et de 2 % (**Tableau 5**).

Année	Bovins	Buffles	Ovins	Caprins	Camélidés	Autres camélidés (1)
2000	1 315,8	164,2	1 058,7	745	21,7	6,09
2001	1 317,7	166,3	1 037,1	754	21,9	6,04
2002	1 325,8	168,7	1 025,8	765	22,2	6,22
2003	1 336,6	171,6	1 034,8	781	22,6	6,28
2004	1 334,4	172,6	1 062,4	801	23,3	6,30
2005	1 350,5	174,5	1 090,4	821	23,5	6,76
2006	1 362,05	176,1	1 094,3	824	24,1	6,78
2007	1 360,6	177,3	1 094,8	832	24,2	6,86
2008	1 347,4	180,7	1 078,1	861	24,7	6,86
Moyenne (00/08)	1 338,9	172,4	1 064,0	798,2	23,1	6,46
Evolution en % (07/08)	-0,97	1,88	-1,54	3,36	2,02	0
Evolution en % (00/08)	0,45	1,18	0,21	1,78	1,59	1,44

Tableau 5. Evolution du cheptel de ruminants dans le monde (2000-2008) en  $10^6$  têtes

(FAO, 2009)

(1) : Lamas (Guanaco), vigognes, alpaga et autres

Les autres espèces de ruminants à intérêt zootechnique présentent des effectifs nettement plus faibles, et sont représentés par : les Chamois, les mouflons, les bubales, les bisons, les yacks, les koudous, les cerfs, les daims, les chevreuils, et les caribous.

## 2. Répartition écologiques des ruminants sur la planète

Les incessants déplacements de l'homme sur la planète qui l'ont conduit dans des zones écologiques très variées, l'évolution de ses besoins et ses actions de sélection et d'adaptation des espèces ont donné forme à de nombreuses races : 275 principales races

de bovins ; 800 races principales d'ovins ; 63 principales races de caprins, autant de buffles (Jarrige, 1989) bien adaptés à leurs zones d'exploitation (Tableau 6).

Il apparaît que les bovins sont localisés essentiellement dans les zones tropicales humides et subhumides, suivis des régions arides et semi arides, alors que les petits ruminants sont prépondérants dans les zones tropicales arides et semi-arides, suivis des hautes terres tropicales et tempérées (Steinfeld et al , 2006).

Zones écologiques	Zones géographiques	Climats	Ruminants hébergés
Toundra	Ex URSS, Laponie, Alaska, Canada	Long hiver, été T° de 10°C ; 600 mm	Rennes, Caribou
Forêt boréale	Canada intérieur et la Russie	Été 10°C ; hiver – 30°C ; 400-800 mm	Bisons ; Elans
Hautes montagnes	L'Asie centrale, Pérou, Bolivie	- 30°C en hiver raréfaction O <sub>2</sub>	Yack, Lama, Alpaga ; Guanaco, Vigognes
Contrées semi-arides	Sur tout les continents	Entre 200-400 mm	22 ; 28 ; 6% et 13% des ovins caprins, bovins, et buffles
Contrées arides	Afrique, Australie	< 200 mm	2/3 des camélidés, caprins
Zones tempérées	Tous les continents	Propice cultures d'herbe	Animaux haut rd surtout : bovins, caprins, ovins
Zones tropicales	Afrique, Asie, A. latine	Pluie, chaleur	Bovins, zébus, buffles

Tableau 6. Facteurs écologiques de répartition des ruminants sur la planète

### 3. Rôle social et religieux du ruminant

Les Ruminants ont joué un rôle important dans l'histoire de l'humanité. La domestication de quelques espèces ovines, bovines et caprines a été avec la culture des céréales, un des faits majeurs de l'évolution humaine. De nos jours encore, certaines tribus nomades de l'Asie centrale sont complètement dépendantes de l'élevage. De même, les sociétés modernes tirent de cette même activité économique, la plupart de leurs ressources en protéines d'origine animale sous forme de viande et de lait. Le cuir, pour une part essentielle, et la laine, pour la quasi-totalité de notre consommation, proviennent de quelques espèces de ruminants.

Les raisons pour lesquelles les ruminants sont utilisés dans le monde et plus particulièrement dans les pays en voie de développement, sont multiples où la priorité varie selon le lieu, la culture et les habitudes alimentaires des éleveurs (Leng, 1993), à savoir :

- Pour l'alimentation (par exemples : viande, lait et sang ou l'association de ces éléments) et aussi comme réserve alimentaire fiable pour les années difficiles.
- Comme emblèmes de prestige et signes extérieurs de richesse.
- Comme moyen de thésaurisation pour faire face à des dépenses imprévues ou programmées.
- Comme garantie contre l'inflation.

- Comme producteurs de bouses qui peuvent être utilisées comme combustibles ou engrais.
- A des fins religieuses (L'Aïd el-Kebir est l'une des principales fêtes rituelles annuelles de l'islam au cours de laquelle des moutons ou autres ruminants, sont sacrifiés en souvenir de cet acte) ou comme source de divertissement (par exemple les béliers de combat en Indonésie) ; emblème social, et vaches sacrées en Inde.
- Pour le travail (le labour, le piétinage des rizières, ...etc) et le transport.
- Pour produire peaux et cuir.
- Comme investissement effectué par les hommes d'affaires des villes, dont ce placement dans l'agriculture est souvent motivé par la possibilité d'obtenir des dégrèvements fiscaux.
- Pour l'exploitation des terrains inappropriés pour d'autres formes d'agriculture.

## 4. Les supports alimentaires des ruminants dans le monde

### 4.1. Terre et élevage

Globalement, 12 % des terres émergées du globe sont utilisées par l'agriculture. La part agricole de la surface totale des continents est de 53% pour l'Asie et 51% pour l'Océanie (continents à pâturages). Alors que la SAU est plus importante en Europe (61% SAT), suivie de l'Asie et de l'Amérique, respectivement 34 et 32% (**Tableau 7**).

Depuis 30 ans les terres agricoles ont à peine progressé (+8%). De ce fait, la terre disponible par habitant a reculé de 1,14 à 0,77 % (**Steinfeld et al , 2006**). Les superficies utilisées pour l'élevage des ruminants sont considérables. Les pâturages et les terres affectées à la production de fourrage représentent près de 80% de la SAT. Ils utilisent 3,4 milliards d'hectares sous forme de pâturages et 0,5 milliards d'hectares plantés en cultures fourragères. De ce fait, les terres réservées pour alimenter nos ruminants, représentent 30% de la surface totale du globe et 79% des surfaces agricoles totales (**Tableau 7**).

Surfaces	Surface totale (ST) (10 <sup>6</sup> Ha)	SAT		SAU		
		(10 <sup>6</sup> ha)	(% ST)	(10 <sup>6</sup> ha)	(% SAT)	(%ST)
<b>Afrique</b>	2 964,3	1 157,4	39	246,5	21	8,31
<b>Amérique</b>	3 894,4	1 197,2	30	393,4	32	10,1
<b>Asie</b>	3 093,9	1 662,8	53	573,2	34	18,5
<b>Europe</b>	2 207,2	474,2	21	293,4	61	13,2
<b>Océanie</b>	849,09	439,9	51	47	10	5,5
<b>Monde</b>	<b>13 009,1</b>	<b>4 931,8</b>	<b>37</b>	<b>1 553,6</b>	<b>31</b>	<b>11,5</b>

SAT : Surface agricole totale ; SAU : Surface agricole utile ; ha : hectare

Tableau 7. Répartition des terres selon les continents (2007)

(FAO, 2009)

Par ailleurs, le **tableau 7** montre qu'en 2007, la SAU en pourcentage de la surface totale est également répartie entre pays du Nord et pays du Sud (18,5 % en Asie et 13,2% en Europe). Mais, les pâturages sont plus développés dans les pays du Sud (29,7% contre 20,7% pour les pays du Nord) : les plaines de l'Amérique du Nord, les pampas de l'Amérique

du Sud et les steppes de l'Asie. Ces surfaces en pâturages ont diminué de 8% depuis 1961 dans les pays développés et ont augmenté de 14% dans les pays du Sud (**Tableau 8**).

Terres (10 <sup>6</sup> ha)	Années	Développés	En développement	Monde
Terres arables	1961	633,8	647,6	1 281,3
	1991	632,4	770,9	1 403,2
	2007	576,2	834,9	1 411,1
	% ST (2007)	10,9	10,8	10,8
Pâturages	1961	1 190,0	1 967,8	3 086,7
	1991	1 094,1	2 242,6	3 336,8
	2007	1083,4	2 294,8	3 378,2
	% ST (2007)	20,7	29,7	26,0
Forets	1991	1 815,7	2 252,6	4 068,3
	2007	1 829,0	2 108,4	3 937,3
	% ST (2007)	34,7	27,3	30,3
ST : Surface totale ; ha : hectare				

Tableau 8. Utilisation des terres par les pays développés et en développement en millions d'hectares (1961, 1991, 2007)

(FAO, 2009)

L'augmentation des surfaces allouées à l'élevage résulte bien souvent de la déforestation dans certains pays du Sud. Près de 70% des terres déboisées de l'Amazonie servent aujourd'hui de pâturages et de cultures fourragères (**FAO, 2006**).

## 4.2. Les supports alimentaires des uminants

Les aliments destinés aux ruminants sont représentés par : les fourrages (herbes de pâture, les résidus de récolte) et les concentrés (grains et graines oléagineuses, sous produits agroindustriels). Les déchets domestiques et les sous produits agro-industriels peuvent jouer une part importante comme source alimentaire.

Ils sont constitués principalement par les 10<sup>10</sup> tonnes de glucides structuraux synthétisés chaque année par photosynthèse. Les herbivores parmi lesquels les ruminants, sont les seuls capables d'utiliser à des fins de production de viande et de lait, cette biomasse (**Steinfeld et al , 2006**) et permettre le développement et l'exploitation par l'homme de ressources qui ne seraient pas possible autrement.

### 4.2.1. Potentiel fourrager dans le monde

#### □ Pâturages et fourrages

Les pâturages sont présents dans toutes les régions. Ils sont prépondérants en Océanie (58% de la surface totale dont 63% en Australie). Par contre, leur superficie est relativement limitée en Asie de l'Ouest et le Nord de l'Afrique (14%) et le Sud de l'Asie (15%). En revanche, l'Amérique du Nord, l'Afrique subsaharienne, l'Amérique latine, les Caraïbes et

les pays du CIS (Commonwealth independent states) détiennent 700 millions d'hectares des prairies du monde. Mais, menacées par l'urbanisation, le développement industriel, les incendies et les surpâturages.

Les prairies sont regroupées en 3 catégories :

- Pâturages extensifs dans les régions marginales avec 60% des pâturages, localisés dans les régions sèches et froides. Ce type de pâturage est dominant dans les pays en développement.
- Pâturages extensifs dans les régions à haut potentiel, localisés dans les régions tropicales humides et subhumides : l'Europe de l'Est et les USA.
- Pâturages intensifs cultivés, localisés en Union Européenne, Amérique du Nord, Japon et la Corée du Sud.

Dans l'union européenne, sont plus représentés, les pâturages temporaires (notamment les prairies artificielles) et les cultures fourragères comme source d'aliment frais à conserver.

Les pâturages les plus intensifs sont présents au Sud de l'Angleterre, en Belgique, aux Pays Bas, en France et en Allemagne avec une utilisation importante d'intrants : engrais minéraux, fumier, irrigation et mécanisation (**Steinfeld et al , 2006**).

#### □ **Cultures fourragères et résidus de cultures**

Les céréales fourragères (maïs, sorgho, avoine, orge principalement) restent parmi les cultures les plus utilisées dans le monde. En 2001, près de 670 millions de tonnes ont été consommés par le bétail, ce qui représente une surface d'environ 211 millions d'hectares. Elles représentent l'essentiel du panier alimentaire dans les systèmes de production intensifs notamment dans les parcs d'engraissement et de production laitière (**Steinfeld et al , 2006**).

Le maïs et l'orge sont les plus utilisés. Le maïs est dominant au Brésil et aux USA, alors que l'orge et le blé le sont plus en Europe et au Canada. Après les céréales, viennent les légumineuses, les racines et les légumes avec 45 millions de tonnes sur une surface de 22 millions d'hectares. Ces derniers sont prépondérants dans les pays de l'OCDE (Canada, France, Angleterre, Turquie ...). Dans certains cas, la production intensive de fourrages sert d'approvisionnement aux industries de transformation, telle la déshydratation de la luzerne et le compactage des foinés orientés essentiellement vers l'exportation. On retrouve ces industries surtout au Canada et aux USA.

Les graines oléagineuses peuvent être données directement au bétail, bien qu'elles soient en grande majorité transformées et que seuls leurs sous-produits soient utilisés pour l'alimentation animale. En 2001, la demande fourragère en graines oléagineuses a totalisé 14 millions de tonnes, soit l'équivalent de 6,6 millions d'hectares récoltés. Les principales graines oléagineuses servant à l'alimentation animale sont celles de soja, de coton et de tournesol.

Enfin, pour ce qui est des résidus de récolte : pailles (environ 3 milliards de tonnes), fanes et canne de maïs, constituent encore un fourrage essentiel dans les systèmes de production mixte dans les régions semi-aride et subhumides des tropiques (**Steinfeld et al , 2006**).

#### □ **Sous produits agro-industriels**

Le tourteau de soja est le produit le plus utilisé et le plus commercialisé dans le monde. La production de soja a triplé entre 1984 et 2004. Cependant, cette production est très concentrée géographiquement où 8 pays assurent 97% de la production mondiale. Les trois

premiers producteurs l'Argentine, le Brésil, et les USA produisent respectivement 36, 26 et 17% de la production.

Les autres sous produits, tels : résidus de brasserie, pulpes de tomates et d'agrumes et de betterave, les grignons d'olives et la mélasse... sont moins commercialisés et sont utilisés localement en cas de sécheresse ou pénurie fourragère, pour compléter les pâturages et les résidus de récoltes (**Steinfeld et al , 2006**).

Les déchets ménagers quant à eux prédominent dans les foyers ruraux des pays en développement.

Des chiffres déjà anciens (**Jarrige, 1989**), mais toujours d'actualité montrent que l'énergie métabolisable consommée par l'effectif des herbivores occupent 25% des terres. Au niveau mondial, l'élevage mobilise 4 milliards d'hectares dont 3,4 en surfaces pastorales (**FAO, 2007**). Une idée de la répartition de cette biomasse en termes d'énergie métabolisable est donnée dans le **tableau 9**.

	Pâture et prairie	Terre non agricole	Fourrages cultivés	Résidus de récolte	Grains	Sous-produits divers	Tourteaux	Auteurs
Monde	38	8	25	24	3	1	1	Jarrige (1989)
4 milliards d'hectares dont 0,5 milliard de fourrages cultivés								

*Tableau 9. Répartition en supports alimentaires de l'énergie métabolisable consommée par les ruminants (%)*

L'énergie métabolisable provenant des fourrages cultivés devraient encore progressés aux USA mais diminuer en Europe notamment dans les pays de l'union européenne à cause de la politique de diminution des aides à la production laitière (**Huyghe, 2005**).

#### 4.2.2. Systèmes fourragers dans le monde

L'activité de l'homme dans l'exploitation des animaux est rationnelle. Elle peut découler de connaissances empiriques ou scientifiquement vérifiées. Bien souvent les deux s'associent pour tirer le meilleur profit de cette activité. De ce comportement allié à un grand sens d'adaptation à un milieu, découlent deux types de conduite de l'élevage des ruminants :

**Un type de conduite dit extensif** : dans ce système, l'essentiel de l'alimentation est assuré par un prélèvement direct par l'animal de la végétation naturelle, spontanée. La nature se chargeant de régénérer cette biomasse gratuite, sans l'aide de l'homme. Les animaux en liberté mais surveillés (bovins en général) explorent de vastes surfaces sur des terres délimitées dont l'éleveur est bien souvent propriétaire (type pampas de l'Amérique du Sud). Dans le système pastoral, l'éleveur pasteur se déplace avec son troupeau sur de longues distances à la recherche de pâturages (petits ruminants en général). Dans le type de conduite extensif, les facteurs climatiques sont peu maîtrisés, peu d'intrants y sont injectés et les rendements zootechniques sont faibles.

**Un type de conduite dit intensif** : c'est un système où les connaissances scientifiques sur l'animal et sur les supports alimentaires en constituent les bases. Les races sont sélectionnées et spécialisées (lait, viande) ; la structure du troupeau est maîtrisée tout comme la reproduction du troupeau. Les intrants injectés dans le système sont élevés, les facteurs climatiques notamment la sécheresse par le biais de l'irrigation est mieux contrôlée ;

les rendements zootechniques sont plus élevés que dans le système extensif. Les supports alimentaires dans ce système sont entretenus par l'homme par injection d'intrants. Ils sont pour l'essentiel constitués de fourrages cultivés.

En réalité sur le terrain, il existe de nombreux sous groupes du système extensif ou intensif ou des associations entre les deux systèmes. **Steinfeld et Mäki-hokkonen (1999)** à travers une vaste étude mondiale, indiquent comment l'homme organise les supports alimentaires pour nourrir le bétail (**Figure 1**).

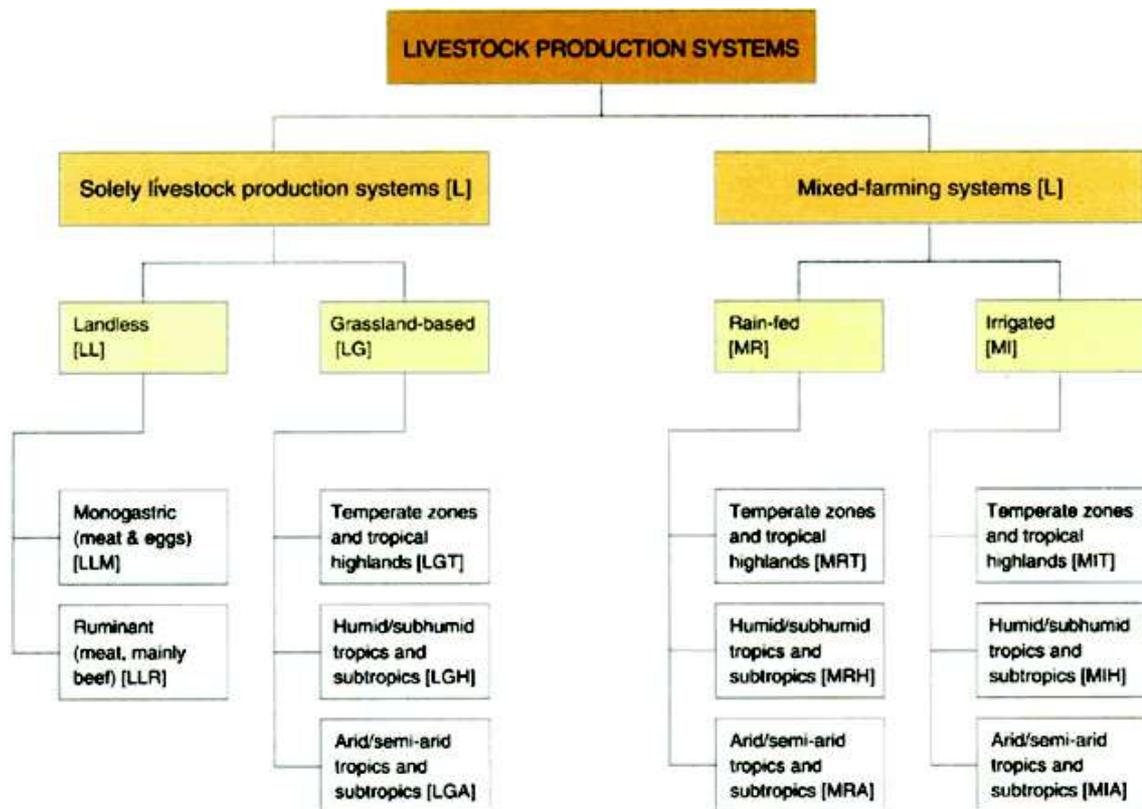


Figure 1. Les systèmes d'élevage dans le monde

Comme l'indique le **tableau 10**, la presque totalité de ces ruminants est exploitée selon les sous-systèmes : LLR, LG, MR et MI (**Tableau 10**).

Ces systèmes représentent environ 4 milliards d'hectares dont 0,5 milliard pour les fourrages cultivés. Ces fourrages cultivés qui bénéficient d'apports d'intrants importants, occupent 12,5% des surfaces fourragères dans le monde, mais produisent 25% de l'énergie métabolisable ingérée par les animaux. Le niveau de rendement permis par les espèces fourragères cultivées et la qualité des fourrages récoltés expliquent ces performances. Une

quarantaine d'espèces fourragères constitue la base de données des fourrages les plus cultivés dans le monde. Cette collection est dominée par des graminées (**Tableau 11**). La plus cultivée est le maïs.

Systèmes	Caractéristiques	Localisation
<b>Hors-sol industriel (LLR)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moins de 10 % de la MS produite dans l'exploitation est utilisée par les animaux.</li> <li>• Axé sur une seule espèce (bœufs) et proches des grands centres urbains</li> </ul>	Amérique du Nord, - Asie de l'Est et du Sud Est, Europe, Amérique latine et proche Orient.
<b>Pâturages (LG)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus de 10% de la MS produite dans l'exploitation est utilisée par les animaux.</li> <li>• Ils sont deux types :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Intensifs : basés sur des herbages et production fourragère d'excellente qualité. Assurent 17% de la production de bovins et veaux, 17% d'ovins et 7% de la production laitière mondiale.</li> <li>* Extensifs : occupe la plus part des zones sèches, ou les animaux broutent les plantes herbacées. Assurent 7% de la production de viande bovine, 12% d'ovins et 5% de production laitière.</li> </ul> </li> </ul>	- Europe, Amérique du Nord et du Sud, Océanie, et zone tropicale humide. - Zones tropicales sèches, climats continentaux de l'Afrique australe, Australie, Asie orientale, occidentale et centrale et l'Amérique.
<b>Agricole mixtes (MR ; MI)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10% de la MS provient des sous-produits végétaux et chaumes. Ils sont deux types :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>* Pluviaux (sans irrigation) : représente la plus part des systèmes agricoles mixtes. Assurent 48% de la production de viande bovine, 33% d'ovins et 53% de la production laitière.</li> <li>* Irrigués : existent partout dans le monde, mais limités en surfaces. Assurent 1/5 de la production de viande de bœuf, 1/3 de celle du lait et moins de 1/3 pour la viande ovine.</li> </ul> </li> </ul>	- Régions tempérées européennes et américaines, régions subhumides d'Afrique tropicale et d'Amérique latine. - Asie de l'Est et du Sud.

Tableau 10. Systèmes de production utilisés dans le monde (Steinfeld et al, 2006 ; FAO, 2009)



Dans certaines régions, les jeunes pousses sont traditionnellement utilisées comme légumes. La luzerne est considérée comme amélioratrice du sol, dans les petits et grands systèmes agraires, elle est hautement mellifère. Grâce à ses nombreuses floraisons à travers l'année, elle est d'un intérêt potentiel important pour les apiculteurs. Pour les régions chaudes et semi-arides, une étude complète est fournie par **Marble (1989)**.

C'est une culture qui exige une faible humidité et des sols bien drainés, neutres à alcalins, mais peut se développer sur les sols modérément acides. Cependant, elle ne tolère pas les climats humides à hautes températures ; ses faibles performances dans des sites humides, tropicaux et subtropicaux sur des sols acides ont été souvent démontrées. Des cultivars sont disponibles pour convenir aux conditions à partir des régions subtropicales sèches jusqu'aux limites les plus froides de l'agriculture.

En culture sèche, un minimum de 500 mm de précipitation par an est nécessaire dans les régions subtropicales, mais dans les zones plus froides elle peut être cultivée avec 300 mm. Des précipitations élevées, au-delà de 800 - 1 000 mm, sont moins favorables, à moins que ce soit sur des sols bien drainés et profonds. Avec plus de 1 000 mm, les sols sont généralement plus acides et l'humidité plus élevée, conduisant à plus de maladies foliaires. De plus, il y a risque de stagnation périodique de l'eau. Un terrain bien drainé et profond doit être choisi pour semer la luzerne destinée à la confection de foin, puisque les racines peuvent atteindre une profondeur de 3 à 5 m si l'humidité n'est pas limitante.

Deux principales sous espèces de *Medicago* sont impliquées dans le développement de la grande gamme de cultivars de luzerne maintenant disponibles : *M. sativa* à fleurs pourpres, sous-espèce *sativa* est la forme standard, *M. sativa* à fleurs jaunes, sous-espèce *falcata* (luzerne dont les gousses sont en forme de faucille) qui a beaucoup de rhizomes et est résistante à la gelée et à la sécheresse. *M. sativa* se développe en climats doux, au Sud de la région méditerranéenne. Lorsque les distributions des deux formes se chevauchent, on trouve des formes hybrides, autrefois identifiées comme *M. media* ou *M. varia*, mais maintenant connues comme *M. sativa* subsp. *varia*.

Le genre *Medicago* est représenté par un grand nombre d'espèces en régions méditerranéennes (60 espèces). En Algérie, 17 espèces spontanées endogènes de *Medicago* sont identifiées (**Abdelguelfi et al , 1988 ; Abdelguerfi, 2002 ; Abdelguerfi et Laouar, 2004**).

En Algérie, les surfaces en luzerne sont insignifiantes, environ 8000 ha : 4 263 ha consommés en sec et le reste consommés en vert, pour un rendement de 49,6 quintaux/ha (**MADR, 2007**). En France par exemple, la production peut atteindre 6000 UF avec un rendement de 95 quintaux/ha (**Huyghe, 2005**). La superficie cultivée est de 320 000 ha.

## Conclusion

---

L'élevage des ruminants est l'un des meilleurs utilisateurs des ressources naturelles (terres de diverses qualités, eau et biodiversité) pour répondre aux besoins d'une population mondiale en croissance continue et qui s'accroîtra encore durant les années à venir. De ce fait, ce secteur doit fournir encore plus de production en utilisant plus de terre, d'eau et de biodiversité. Le problème qui se pose aujourd'hui, est la pression qu'il va exercer sur ces ressources qui sont déjà limitées et utilisées pour d'autres productions agricoles. Car selon les derniers rapports de la FAO, l'élevage a sa part de responsabilité dans les problèmes environnementaux les plus pressants à savoir, le réchauffement de la planète, la dégradation des terres, la pollution de l'air et des eaux et la perte de biodiversité (**FAO,**

2006). Ainsi, pour bon nombre de spécialistes, le développement de ce secteur doit être réorienté pour préserver ces ressources pour les générations futures.

## Chapitre 3. L'élevage et les surfaces fourragères en Algérie

### 1. Potentiel agricole de l'Algérie

La proportion de la SAU par rapport à la superficie agricole totale est faible d'une étendue d'à peine 20% (**Tableau 12**), elle est inférieure (à part la Libye, 13%) à celle de la plupart des pays Méditerranéens de la rive Sud intégral : 30 ; 41 ; 50 respectivement pour le Maroc, la Syrie et la Tunisie (**Chabaca, 2009**). Elle dépasse 60% pour la Turquie (63%) et pour la France (66%).

Surface totale (ST)	Répartition des terres	
Algérie (238 174 100 ha)	SAT (42 443 830 ha/17,8% ST)	Pacages et parcours (32 942 086 ha/77,4% SAT)
		Terres improductives des surfaces agricoles (1 056 284 ha/2,8% SAT)
	SAU (8 445 490 ha/19,9% SAT)	Cultures herbacées (4 254 887 ha/48,37% SAU) dont 8,5% fourrages
		Terres au repos (jachères) (3 246 508 ha/40,51% SAU)
		Plantations fruitières (841 545 ha/9,65% SAU)
		Vignobles (77 730 ha/1,17% SAU)
		Prairies naturelles (24 820 ha/0,3% SAU)
		Terres alfâtières (2 504 990 ha/1,2% ST)
	Terres forestières (Bois, forêt, maquis) (4 227 700 ha/1,8% ST)	
	Terres improductives non affectées à l'agriculture (188 974 490 ha/79,2% ST)	

Tableau 12. Répartition des terres en (%) en Algérie

(MADR, 2011)

Les caractéristiques agro climatiques du pays sont peu favorables à une agriculture pluviale avec des risque de gels non négligeables (**Tableau 13**), sauf sur une partie très faible du territoire : zones per humide (1200-1800 mm) à la zone sub humide (800-900 mm) qui ne représente que 2% de la surface totale du pays (4,4 millions d'hectares).

Zones	Pluie (mm)	Types sols	Gel	Sirroco	Type climat	Caractéristiques
Littoral, plaines côtières	> 600	Profond, argilo limon et argilo - sableux	Faible	Faible	Doux, méditerranéen	Favorable aux cultures fourragères annuelles ou pérennes ; foin difficile en zone côtière
Sub-littoral, Nord des h <sup>tes</sup> plaines	600-450	Assez profond, peu caillouteux sur calcaire argilo limon	moyen	moyen	Semi-aride, doux à frais	Céréales fourragères ; irrigation d'appoint
Centre des h <sup>tes</sup> plaines	450-350	Calcaire peu profond réserve utile faible	fort	fort	Semi-aride, froid	Inadaptées Sauf irrigation intense Mais cultures fourragères possible autour des oueds et dans les oasis
Steppique	< 350	Superficiel caillouteux, ressuyage rapide	Très fort	Très fort	Aride, frais à froid	
Montagnes du Tell et de l'Atlas	Pente >12%	Superficiel Argileux, capacité rétention faible	Très faible à très fort	Très faible à très fort	Méditerranéen à aride froid	

Tableau 13. Caractéristiques agro-climatiques de l'Algérie

(In: Chabaca, 2009)

La zone semi aride plus importante (4,1% de la surface totale, soit 9,8 millions d'hectare) située dans la zone de pluie 600-300 mm (**Tableau 14**) est adéquate mais avec des risques importants de déficit en eau.

Etages	Pluviométrie (mm annuels)	Superficie (millions ha)	% superficie totale
Per humide	1200-1800	0,186	0,08
Humide	900-1200	0,774	0,32
Subhumide	800-900	3,40	1,42
Semi-aride	600-300	9,81	4,12
Aride	300-100	11,23	4,78
Saharien	< 100	212,77	89,5

Tableau 14. Les étages bioclimatiques en Algérie

(Nedjraoui, 2001)

Malgré ces handicaps naturels, le réseau d'irrigation n'est pas pour autant développé puisque, sur un potentiel irrigable de 1,750 millions d'hectares, 0,62 million était irrigués en 2004 et 0,81 en 2006 (**Moulai, 2008**) soit moins de 10% de la SAU, contre 35 ; 22 ; 19 et 13% respectivement pour la Turquie, la Syrie, le Maroc et l'Egypte (**AQUASTAT, 2007**).

Les fourrages cultivés en irrigués ne concerneraient que 5% des surfaces, soit 40 000 ha. Outre cette faiblesse des surfaces irriguées, 5 ha sur 7 irrigués sont équipés par la technique gravitaire qui est considéré par les auteurs comme inapproprié. Par ailleurs, la superficie minimale d'un périmètre irrigué doit être de l'ordre de 50 hectares pour assurer la rentabilité des équipements et des charges fixes et variables. Or, des superficies de 50 hectares ne représentent que 2% du total des exploitations (**Mesli, 2007**).

## 2. Potentiel fourrager de l'Algérie

## 2.1. Contexte général

L'Algérie par la richesse et la diversité de ses milieux et de ses terroirs constitue un immense réservoir de plantes diverses (3139 espèces), en particulier d'intérêt fourrager et/ou pastoral (**Abdelguerfi et Laouar, 2001**). Mais, les aires fourragères, 14% de la SAT (**Chabaca, 2009**) est à l'image de son potentiel agricole, comparativement à celles que possèdent le Maroc (47%) ; la Tunisie (30%) ; la Syrie (44%) ; celle de la Libye étant de 8%.

Si dans le monde, l'intensification fourragère a été la clé de la révolution agricole et agro-industrielle, en Algérie, les cultures fourragères, depuis la période coloniale à nos jours, n'ont jamais eu la place qui leur ait due pour parer à la diminution des ressources fourragères de pousses spontanées (**Abdelguerfi et Laouar, 2001**). Les conditions climatiques, la faiblesse du réseau d'irrigation, la compétition des céréales pour l'occupation des terres expliquent en partie la désaffectation pour les cultures fourragères.

Huit postes de supports alimentaires sont utilisés pour le bétail en Algérie, une synthèse de leur répartition géographique est donnée dans le **tableau 15**.

Supports alimentaires	Etages climatiques				
	Humide (1)	Sub humide (2)	Semi aride (3)	Arde (4)	Saharien (5)
Sous forêt	+	+	+		
Jachère	+	+	+		
Parcours et pacages			+	+	
Chaumes de céréales	+	+	+		
Paille	+	+	+		
Cultures fourragères	+	+	+		
Prairies naturelles	+	+			
Terres improductives					+

(1) humide : > 800mm ; (2) subhumide : 800-600mm ; (3) semi aride : 600-400mm ; (4) aride : 400-100 s'échelonne entre étage supérieur (400-300mm), moyen (300-200mm), inférieur (200-100mm) ; (5) Saharien : < 100mm. A 300mm, des cultures de céréales sont pratiquées.

*Tableau 15. Nature des ressources fourragères en Algérie et positionnement géographique*

(synthèse Nedjraoui, 2001 ; RGA, 2003 ; MADR, 2007)

Les surfaces totales consacrées à la production fourragère seraient de 34 millions d'hectares dont 33 millions d'hectares de parcours (97%) ; 0,5 million d'hectare de cultures fourragères (1,6%) ; 0,28 million d'hectare de prairies naturelles (1,6%). Les chaumes pâturés étant globalement égales aux surfaces en céréales cultivées chaque année.

Les fourrages cultivés sont consommés en foin de qualité moyenne : foin de vesce – avoine principalement et d'autres associations faiblement représentées : vesce-orge, et pois-orge ; les céréales fourragère : orge, avoine, seigle (8 à 10%). Les autres cultures tels que bersim, luzerne pérenne, sorgho, maïs restent très peu représentés (1 à 5%) ; la betterave fourragère est anecdotique avec 0,1 à 0,5 % des surfaces (**Abdelguerfi, 1987**).

L'orge sous toutes ses formes (grains, céréales fourragères et paille), constitue donc l'un des éléments clés des systèmes fourragers. Les légumineuses fourragères constituent

une ressource assez importante en hiver, et au printemps où le bersim est souvent la seule ressource fourragère verte pour le cheptel bovin laitier. Il est relayé en été par la luzerne pérenne et le sorgho.

Les sous produits agroindustriels sont peu représentés à part le son qui entre dans la composition des concentrés commerciaux et fermiers. Les arbustes fourragers sont peu représentés, peu ou pas d'ensilage tout comme des cultures intensives telles que le Ray-grass et la fétuque.

De façon générale, la production de semences des espèces fourragères et pastorales en est le frein le plus important à leur développement.

## 2.2. Evolution des surfaces agricoles et fourragères

De 1980 à 2007, les surfaces consacrées aux fourrages cultivés sont passées de 0,593 à 0,494 millions d'hectares (**Tableau 16**) avec une diminution de moitié de 2001 à 2003. Cela peut être partiellement expliqué par le manque de semences, car elles ne sont pas produites localement. L'Algérie importe annuellement des quantités massives de graines fourragères (le trèfle, la luzerne, les fétuques et le Ray-grass) avec 64 tonnes (2007) de graines pour la luzerne et le trèfle, 6,24 pour la fétuque et 4,72 pour le Ray-grass (**Issolah, 2008**).

Année	SAT	SAU	Fourrages naturels	Fourrages cultivés	Total fourrages	Total fourrages (% SAU)
67/79	41 174 070	6 827 048	194 102	148 408	342 510	5,01
80/89	39 733 129	7 675 500	136 737	593 336	730 073	9,51
90/99	40 284 789	8 133 265	140 953	490 016	630 969	7,75
2000	40 888 100	8 227 440	127 850	458 050	585 900	7,12
2001	40 983 000	8 193 740	142 690	243 520	386 210	4,71
2002	40 735 920	8 228 690	101 030	300 280	401 310	4,87
2003	40 785 000	8 270 930	299 020	272 790	571 810	6,91
2004	42 209 600	8 321 680	175 634	461 589	637 223	7,65
2005	42 380 630	8 389 640	144 737	484 152	628 889	7,94
2006	42 367 890	8 403 570	165 725	611 817	788 542	9,38
2007	42 448 840	8 414 670	227 761	493 793	721 554	8,57
2011	42 466 920	8 423 340	241 854	544 172	786 026	9,33
<b>Moyenne (00/11)</b>	<b>41 997 353</b>	<b>8 357 076</b>	<b>189 454</b>	<b>479 960</b>	<b>688 408</b>	<b>7,37</b>

Tableau 16. Evolution des superficies agricoles et fourragères (hectares)

(MARA, 1967-1979 ; MAP, 1982-1997 ; MA, 1998-2002 ; MADR, 2003-2007-2011)

En moyenne sur 30 ans, les surfaces consacrées aux fourrages cultivés ont diminué de 30%. Exprimées en pourcentage de la SAU, elles étaient de 8% en 1980 et de 6% en 2007, soit une diminution de 25%. La tendance pour le développement de la culture fourragère en Algérie durant cette période a été donc négative.

## 2.3. Productivité des différents supports alimentaires du troupeau

La productivité des principaux postes de production fourragère en Algérie (auxquels il faut ajouter la paille de céréale récoltée) est donnée dans le **tableau 17** (quelques détails en **annexe 1**).

Sources fourragères	Superficie /10 <sup>6</sup>	Productivité moyenne (UF/ha)	Observations
Parcours steppiques	15 à 20	100	Plus ou moins dégradés
Les forêts	> 3	150	-
Chaumes de céréales	< 3	300	Nécessité d'amélioration de la qualité des chaumes
Paille de céréales	2-3	500	+ 30% par traitement
Végétation des jachères pâturées	< 2	250	Nécessité d'orienter la végétation
Fourrages cultivés	< 0,5	1000 à 1200	Orge, avoine, luzerne, trèfle, sorgho, vesce-avoine
Les prairies permanentes	< 0,3	-	Nécessité d'une prise en charge

Tableau 17. Les ressources fourragères en Algérie

(Nedjraoui, 2001)

En première analyse, elle est très faible notamment pour les parcours. Ces derniers il y a une cinquantaine d'années recelaient entre 200 et 300 UF/an. Il en est de même des fourrages cultivés. Les mêmes espèces peuvent donner par exemple en France entre 4000 et 6000 UF, soit 4 à 6 fois plus (**Huyghe, 2005**). Ce constat révèle, cependant, pour les rendements des fourrages cultivés en Algérie, une réserve très importante de progression et une grande place à l'intensification.

Il faut néanmoins noter que selon **Moulai (2008)**, le niveau de productivité des ressources alimentaires du troupeau n'a pas été mesuré depuis 1996 tout comme l'affectation des surfaces.

#### 2.4. Evolution des rendements pour les fourrages cultivés et les prairies naturelles

Une diminution de surfaces comme nous venons de le montrer, peut être compensée par une augmentation des rendements à l'hectare du fourrage. La réponse pour les fourrages cultivés (FC) et les fourrages naturels (FN), deux ressources qui sont les plus susceptibles de répondre rapidement à une intensification est illustrée par la **figure 2** (détails en **annexes 2 et 3**).

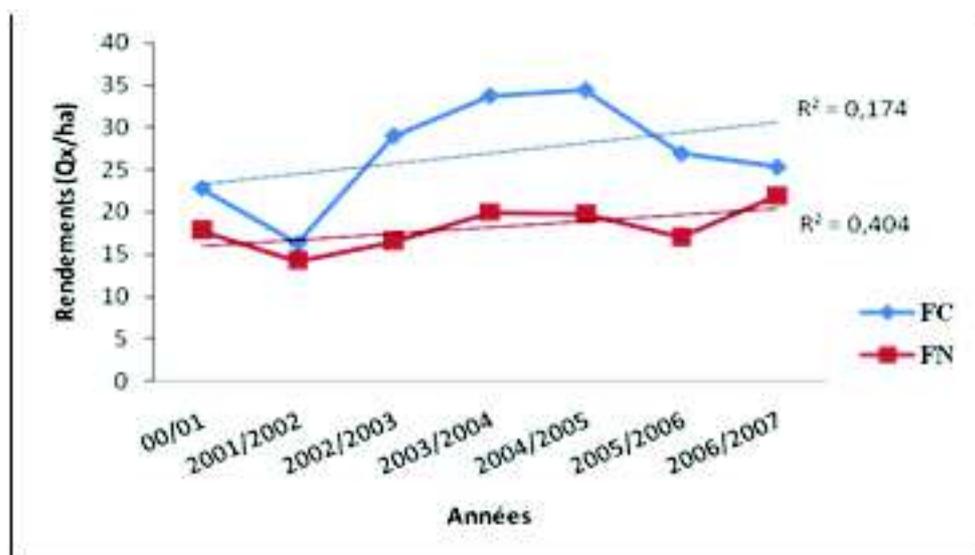


Figure 2. Evolution des rendements des FC et FN durant 8 ans (2000-2007)

Les rendements sur 7ans présentent une très grande variabilité avec un minimum de 14 et de 16 quintaux à l'hectare pour FN et FC et un maximum de 22 et de 34 quintaux respectivement. Les droites de tendance montrent bien une orientation positive des rendements avec le temps mais sans signification statistique.

En moyenne, avec 600 millions d'UF de production, les FC n'assurent que 5% des besoins du cheptel (12 milliards d'UF) et 7,5% de la production actuelle destinée à ce dernier (8 milliards d'UF). Dans des conditions d'intensification et de production raisonnable, ils pourraient en assurer pour les mêmes surfaces 15 à 20% des besoins du cheptel.

## 2.5. Production d'UF et besoins des animaux

L'analyse des disponibilités fourragères met en évidence le caractère extensif de la production fourragère basée essentiellement sur l'utilisation des pâturages (jachère, chaumes de céréales et pacages et parcours) qui assure 82% de la production fourragère. Tandis que les cultures fourragères fournissent moins de 20% (Houmani, 1999). Le tableau ci-dessous illustre l'apport en UFL des différentes ressources fourragères utilisées dans le pays en 1999.

Ressources fourragères	Apports en millions d'UFL/an	Répartition
Fourrages cultivés utilisés en vert	43	56% zone humide et subhumide
Fourrages cultivés utilisés en foin	577	92% zone humide et subhumide
Foins de prairies naturelles	73	53% zone humide 31% zone subhumide
Jachère	1443	49% zone subhumide 42% zone semi-aride
Pacages et parcours	3981	73% zone aride et semi-aride
Pailles de céréales	497	77% zone subhumide 12% zone semi-aride
Chaumes de céréales	997	61% zone sub-humide

Tableau 18. Apports en UFL des différentes ressources fourragères utilisées  
(Houmani, 1999)

Les besoins des animaux, s'élèveraient à 12 milliards d'UFL (Houmani, 1999) répartie entre 36% pour la zone semi-aride, 31% pour la zone subhumide, 22% pour la zone aride et 11% pour la zone humide. Les zones subhumides et semi-arides exprimeraient les 2/3 des besoins.

Il en résulte pour 1999 un taux de couverture des besoins de l'ordre de 66 %, soit un déficit fourrager de 4 milliards d'UFL/an (34%). En 2007, le MADR (2007) l'estime à 3,3 milliards d'UFL (33%) sur 3 ans (2004-2007).

### Conclusion

Il apparaît qu'aucun résultat significatif n'a été obtenu depuis 30ans, tant en surfaces cultivées qu'en rendements à l'hectare pour donner une meilleure place aux fourrages cultivés dans l'approvisionnement en aliment du cheptel. La maîtrise de la production fourragère n'est pas assurée. Par ailleurs, un déficit fourrager chronique est un élément persistant de nos élevages.

## 3. Le cheptel de ruminants en Algérie

### 3.1. Evolution

En Algérie, le secteur des productions animales utilise un nombre d'espèces et de type assez réduit. Généralement 4 ruminants (Ovins, Bovins, Caprins et camelins) et un monogastrique : le poulet, alors que la gamme locale est relativement riche (lapins, dindes et autres) (INRAA, 2006). Leur évolution durant ces dernières années est montrée sur la figure 3 (détail en annexe 4).

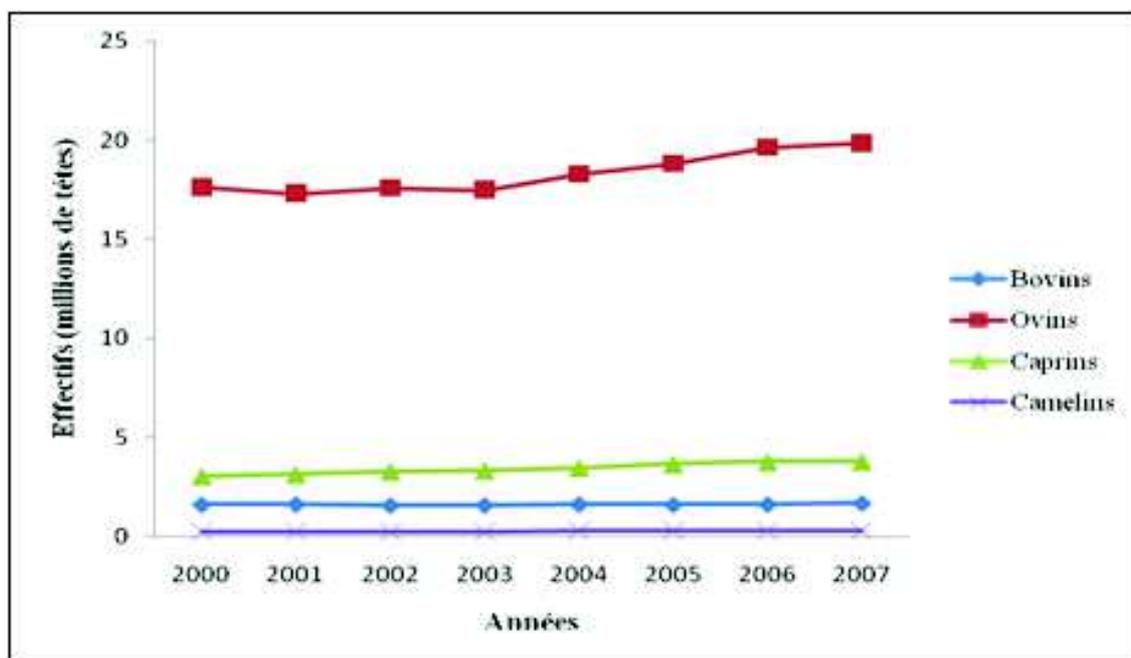


Figure 3. Evolution sur 8 ans (2000-2007) des effectifs de ruminants en Algérie

Le cheptel algérien de ruminants a été estimé en 2010 à près de 1,6 millions de têtes de bovins, 22 millions d'ovins, 3,8 millions de caprins et 0,29 millions de têtes de camelins (FAO, 2012), localisés essentiellement dans les zones steppiques (32%), dans les zones humides et sub-humides (29%) et dans les zones céréalières (23%). Répartie en 78% d'ovins, 14% de Caprins, 7% de bovins et 1% de camelins. La forte prédominance du cheptel ovien est marquée par une moyenne de progression de 12% sur 8 ans, soit 1,5% par an. Stable entre 2000 et 2003, la progression s'est amorcée à partir de 2004 (Annexe 4). Durant ces dernières années, cela peut être expliqué d'une part, par le resserrement du dispositif de contrôle aux frontières pour limiter le trafic des ovins et d'autre part, par les meilleures conditions alimentaires offertes au troupeau. Le cheptel bovin est resté relativement stable (0,5% par an) tout comme le cheptel caprin, et camelin, respectivement 0,4% chacun. Les frémissements de progression observés pour les bovins sont surtout dus aux importations de génisses pleines par l'Etat en accord avec la politique d'augmentation de la production laitière nationale. Exprimés en fonction du nombre d'habitants et comparativement à d'autres pays de la rive Sud de la Méditerranée, les résultats apparaissent dans le **tableau 19**.

	Bovins	Camélidés	Caprins	Ovins	Tot/ha	Ovin/ha
Algérie	1650	290	3800	20000	0,76	0,59
Egypte	5023	107	4237	5023	0,18	0,06
Lybie	130	47	1265	4550	0,96	0,73
Maroc	2414	45	5118	17078	0,80	0,55
Syrie	1168	24	1561	22865	1,23	1,11
Tunisie	695	232	1496	7301	0,97	0,73
Turquie	11037	106	5593	23975	0,56	0,33

Tableau 19. Effectifs comparés du cheptel de ruminants sur la rive Sud de la méditerranée en  $10^3$  de têtes

(FAO, 2008)

La Libye, la Syrie et la Tunisie, approche ou dépassent 1 ruminant per capita (0,46 en France). L'ovin domine en termes d'effectif. Quant à l'Algérie, moyenne dans le groupe, mais les quatre espèces sont mieux réparties. L'Égypte présentant l'effectif le plus faible. Les petits ruminants dominent dans les pays arides (rives Sud, Syrie, Algérie, Libye..) ou dans les régions arides des pays de la rive Nord comme l'Espagne et la Grèce. Les camélidés sont localisés dans les régions hyper arides des pays de la rive Sud.

Les bovins compte tenu de leurs exigences pour la qualité de l'alimentation, trouvent des conditions d'expansion plus propices dans les contrées à climats plus tempérés comme la Turquie et les pays de la rive Nord.

### 3.2. Localisation géographique des espèces en Algérie

L'effectif ovin est dominé par trois races qui totalisent 99% des effectifs (**Annexe 5**) : la Ouled djellal, 63% (steppe et hautes plaines) ; Hamra (Beni ighil), 25% (Ouest) et la Rembi, 11% (centre Est, steppe et hautes plaines).

Les ovins sont répartis sur toute la partie Nord du pays, avec toutefois une plus forte concentration dans la steppe et les hautes plaines semi arides céréalières (80% de l'effectif total). Il existe aussi, des populations au Sahara, exploitant les ressources des oasis et des parcours désertiques.

Pour la répartition des brebis sur les exploitations (**Annexe 6**), on note que :

- 65% des effectifs brebis sont détenus par 95% des exploitations comptant dans leur troupeau moins de 100 brebis ;
- 35% du capital « reproductrices » ovin est détenu par 4,8% des exploitations ayant de 100 à 1000 brebis dans leur élevage ;
- 2% des brebis sont détenues par 0,02% des exploitations. La moyenne de l'effectif « brebis » pour ces exploitations est de 2 282 têtes.

En conclusion, 65% du capital « reproductrices » ovin est réparti sur 95% des exploitations comptant dans leur troupeau moins de 100 brebis.

Les bovins sont essentiellement localisés dans la frange Nord du pays, dans le Tell et les hautes plaines comme le montre le **tableau 20**.

Zones écologiques	Effectifs	Part (%)
Littoral et sublittoral	397 485	31,4
Atlas tellien	503 135	39,7
Hautes plaines tellienne	213 004	16,8
Hautes plaines steppiques	128 135	10,1
Atlas saharien et Sahara	23 932	1,8

Tableau 20. Répartition du cheptel bovin

(AnGR, 2003)

Leur effectif depuis 10 ans fluctuent autour de 1,6 millions de têtes (**Annexe 4**). La population locale représente environ 78% (BL) du cheptel total, alors que le cheptel importé et les produits de croisement avec le bovin autochtone sont évalués à environ 22% (BLM et BLA) dont 59% sont localisés au Nord-Est, 22% au centre, 14% au Nord-ouest et seulement 5% au sud du pays. La race locale est composée de 5 populations principales : la Guelmoise ; la Cheurfa ; la Setifienne ; la Djerba ; la Kabyle et la Chaouia.

Pour le caprins, sa progression est très lente (0,45% par an). Les ressources génétiques caprines d'Algérie n'ont pas fait l'objet d'études et d'attention particulière, comparativement au reste des populations de l'espèce du bassin méditerranéen, contrairement à l'ovin.

La population caprine est localisée dans le littoral et le sublittoral (8%) ; l'Atlas tellien (9%) ; les hautes plaines telliennes (18 %) ; les hautes plaines steppiques (22 %) et l'Atlas saharien (33 %). Le cheptel caprin comprend également, en faible proportion (8 %), des chèvres améliorées importées d'Europe (Saanen, Alpine, Murcienne, Maltaise, Toggenbourg). Sur les parcours sylvopastoraux du Nord, la taille du troupeau est honnête (50 à 60 mères). En petits effectifs, ils valorisent mieux les parcours du Sahara. Sur les hauts plateaux, associés au troupeau ovin, ils jouent souvent le rôle de guide. Les petites exploitations en lisière des parcours sylvopastoraux peuvent constituer des troupeaux de 10 à 15 mères. Les principales races sont : Chèvre arabe ; Race Arabia ; Race Makatia ; Race kabyle et Race M'zabit.

Les camelin sont en déclin, victime de la motorisation, ils ont été éjectés de leur fonction traditionnelle qui était le transport. Images des grands espaces sahariens, les camelins en Algérie appartiennent à deux grands groupes génériques : le Chaâmbi et la Targui (Méhari). De ces deux groupes se dégagent une dizaine de types dont le Targui, le Reguibi, le Chambi, le Ouled sidi cheikh et le Sahraoui. Désormais orienté vers la production de viande. 7200 têtes par an, soit 4,5 % de l'effectif national sont abattus, produisant 1320 tonnes de viande.

### 3.3. Structure du troupeau

Elle apparaît dans le **tableau 21**

Cheptel	Effectif en têtes	Nombre d'exploitations	Têtes/expl.
<b>Bovins BLM</b>	279 885	33 995	8
dont Vaches BLM (18,9%)	124 075	33 995	4
<b>Bovins BLA</b>	288 491	44 554	6
dont Vaches BLA (20,51%)	134 400	44 554	3
<b>Bovins BLL</b>	896 287	136 376	7
dont Vaches BLL (60,55%)	396 810	136 376	3
<b>Total bovins</b>	<b>1 464 663</b>	<b>214 925</b>	<b>7</b>
dont vaches (44,73%)	<b>655 285</b>	<b>214 925</b>	<b>3</b>
<b>Ovins</b>	18 738 166	346 031	54
dont Brebis	7 649 333	314 766	24
<b>Caprins</b>	3 186 878	206 391	15
dont Chèvres	1 275 871	185 709	7
<b>Camelins</b>	333 933	10 650	31
dont Chamelles	169 146	9 847	17
<b>Total ruminants</b>	<b>23 723 640</b>		
BLM : bovin laitier moderne ; BLA : bovin laitier amélioré ; BLL : bovin laitier local ; Expl. : exploitation			

Tableau 21. Structure du cheptel ruminant

(RGA, 2003)

Il en ressort que :

**1. Le cheptel bovin** est réparti sur 214 925 exploitations et compte 44,7% de vaches laitières ;

- 85,9% des exploitations pratiquent un élevage de « type familial ». Elles détiennent 57,4% des effectifs de reproductrices avec une taille moyenne de 02 vaches par exploitation ;
- 13,1% des exploitations pratiquent un élevage de « type traditionnel ». Elles détiennent 31% des effectifs de reproductrices avec des troupeaux d'une taille moyenne de 09 vaches ;
- 0,9% des exploitations pratiquent un élevage de « type moderne » : elles détiennent 9,1% du total des reproductrices avec des troupeaux d'une taille moyenne de 45 vaches ;

- 0,1% des exploitations pratiquent un élevage de « type industriel » avec 2,5% du total des reproductrices et une taille moyenne de 171 vaches par exploitation (**Tableau 22**).

Classe de troupeau de vaches	Exploitations	Effectif en têtes	Effectif/ exploitation
1 à 4	175 185	376 071	2
5 à 9	20 340	126 065	6
10 à 19	6 331	77 131	12
20 à 49	1 694	44 918	27
50 à 99	230	14 532	63
> 100	97	16 568	171
<b>TOTAL</b>	<b>203 877</b>	<b>655 285</b>	<b>3</b>

Tableau 22. Répartition des vaches reproductrices selon la taille du troupeau (RGA, 2003)

**2.Le cheptel ovin** est réparti sur 346031 exploitations et compte 41% de brebis réparties sur 314766 exploitations. Il est à noter que 31 265 exploitations sont exclusivement orientées vers l'engraissement.

**3.Le cheptel caprin** est réparti sur 206391 exploitations (dont 40% de chèvres réparties dans 185709 exploitations).

**4.Le cheptel camelin** est réparti sur 10650 exploitations (dont 51% de chamelles réparties dans 9847 exploitations).

En Algérie, à l'exception des chamelles qui représentent la moitié du troupeau, la proportion de femelles dans le troupeau bovin, ovin et caprin est de 45, 41 et 40 % respectivement. Ces proportions sont les marques d'une conduite extensive des troupeaux et d'une philosophie particulière de la production et du marché. En effet, les éleveurs font profit plus des agneaux qui sont une source de revenus importants notamment à l'occasion des fêtes religieuses. Dans ce système, les disponibilités fourragères jouent un rôle crucial dans la régulation de l'offre animalière.

En prenant l'exemple des ovins, cette proportion est de 63% dans le troupeau Français, 55% au Maroc et 57% en Tunisie. Ces élevages semblent être de type « reproductrice » généralement très axés sur la production de viande. Dans ces élevages, les béliers représentent environ 3% et les jeunes autour de 40%.

#### 4. L'élevage intensif dans l'élevage national

Comme décrit précédemment, avec 23,5 millions de têtes de ruminants, l'ovin est prédominant avec 78% de l'effectif total. Alors que les bovins ne représentent que 6 %. Ces derniers sont localisés essentiellement dans le tell et les hautes plaines, ils appartiennent essentiellement à la race locale (78%), le reste est représenté par les races importées et leurs croisements avec le bovin local (**Guerra, 2007**). 48% des ovins et caprins et la quasi-totalité des camelins sont conduits selon des systèmes pastoraux (**Chiche, 2001**). Alors que les bovins sont conduits selon deux systèmes :

- Un système extensif (BLA, BLL) : il concerne les races locales et croisées, cet élevage est basé sur un système traditionnel de transhumance entre les parcours d'altitude et les zones de plaine. Le système extensif est orienté vers la production de

viande (78 pourcent de la production nationale), il assure également 40 pourcent de la production laitière nationale

Un système intensif (BLM) : il concerne principalement les races améliorées. Ce type d'élevage orienté vers la production laitière est localisé essentiellement dans les zones littorales. La taille des troupeaux est relativement faible 6 à 8 vaches laitières par exploitation. Ainsi, en 2008, ce système comprenait 230 000 vaches laitières, soit autour de 9 à 10 % de l'effectif national (30 % de l'effectif bovin) et assure près de 40 % de la production totale de lait de vache (**Nedjraoui, 2003 ; Djermoun et Chehat, 2012**).

Ces systèmes d'élevages sont en grande partie orientés vers la production de viande. La viande rouge étant assurée par l'espèce ovine (56%) et bovine (34%). Le reste étant assuré par les caprins (8%) et camelins (2%).

Quand à la production laitière locale, elle est assurée essentiellement par les vaches qui assurent 76% de la production domestique, alors que celles des ovins, caprins et camelins est destinée à l'alimentation des jeunes animaux, le reste étant autoconsommé par l'éleveur et sa famille (**Chehat et Bir, 2008**).

L'intensification peut se classer en plusieurs niveaux. On en distingue 4 (**Roberge, 1988**) :

**Niveau 1** : il peut s'agir de l'amélioration du pâturage naturel par des plantes fourragères plus performantes, avec ou sans travail du sol et d'apport d'engrais (pas pratiqué en Algérie).

**Niveau 2** : il peut s'agir de la culture fourragère proprement dite avec de faibles intrants, cela comprend les actions suivantes : le travail du sol avec de faibles moyens (manuel ou culture attelée) ; semis ou bouturage ; fertilisation limitée (faiblement pratiqué en Algérie).

**Niveau 3** : c'est une variante du niveau 2 avec des intrants plus importants : travail mécanisé

semis ou bouturage ; fertilisation optimum (timide en Algérie).

**Niveau 4** : à ce niveau s'ajoute la maîtrise de l'eau (irrigation) dont on comprend toute l'importance en milieu tropical sec ou semi aride (timide en Algérie).

Les productions en matière sèche s'accroissent avec l'intensification et pour une pluviosité donnée. Dans le cas d'une pluviosité de 1000 mm, on peut passer de 3 tonnes de matière sèche au niveau 2 à 30 tonnes de matière sèche au niveau 3. Si ces résultats techniques sont effectivement intéressants, il ne faut jamais oublier que la production fourragère est une production primaire destinée à être transformée en lait, viande ou travail.

C'est de cette transformation que dépendent les résultats économiques attendus et le meilleur résultat économique n'est pas toujours lié à la plus forte intensification (**Roberge, 1988**).

**Quel matériel génétique animal est susceptible d'être le meilleur transformateur de cultures fourragères intensifiées en Algérie ?**

Si on intègre les BLA et le BLM comme des bovins susceptibles de valoriser des fourrages de bonne qualité, l'effectif représenterait environ 600 000 têtes.

Par ailleurs, **Chabaca, 2009** estime à 1 million environ l'effectif ovin qui est annuellement engraisé en bergerie intégrale.

L'intensification de l'élevage en Algérie intéresserait environ 1,6 million de têtes à un niveau d'intensification fourragère faible allant de 2 à 4. Les niveaux 2 et 3 sont suppléés par une utilisation massive de concentrés.

Néanmoins, aucune étude scientifique ne semble exister sur l'élevage intensif en Algérie, comment le définir pour les différentes espèces de ruminants ?

Si, on doit répondre à une demande en produits animaux encore plus grande, l'intensification apparaît comme un objectif incontournable (**Chehat et Bir, 2008**).

## Conclusion générale

En résumé, l'élevage en Algérie révèle une spécialisation par zone agro écologique. L'élevage bovin est cantonné dans le Nord du pays, avec quelques incursions dans les autres régions, alors que les parcours steppiques sont le domaine de prédilection de l'élevage ovin et caprin où vit plus de 90% des effectifs créant une surexploitation de la sole. Les camelins dans le Sahara complètent cette répartition agro écologique des ruminants dans le pays.

Entre des pâturages qui sont de plus en plus dégradés et de faible productivité, des cultures fourragères dont les surfaces et les rendements à l'hectare stagnent ou baissent depuis 10 ans ; l'augmentation des besoins de la population en viande rouge et un élevage de plus en plus dépendant de l'importation d'orge (0 Tonne en 1962 ; 71000 en 1972 ; 100 000 en 1982 ; 110 000 en 1992 et 590 000 en 2002), l'élevage de ruminants dans le pays n'est pas sécurisé.

La nature des supports en herbe du pays met en évidence le caractère extensif de l'élevage basé essentiellement sur l'utilisation des pâturages : jachères, chaumes de céréales et paille de céréales (38%) et pacages et parcours (44%), soit 82% de la production fourragère. Les cultures fourragères avec une production d'UF de seulement 0,6 million ne participent que pour 7,5% à la production nationale totale (8 milliards) et à 5% des besoins réels (estimés à 12 milliards), la contribution des prairies étant très faible.

Le déficit fourrager serait donc de 4 milliards d'UF par an. Mais cette moyenne recèle des disparités régionales importantes, car l'analyse selon les zones agro écologiques montre un déficit beaucoup plus important dans la zone semi-aride (55%) et humide (45%). Alors que la zone subhumide enregistre le meilleur taux de couverture avec près de 72% qui s'expliquerait par une bonne association entre la céréaliculture et l'élevage.

L'amélioration du niveau alimentaire de notre cheptel reposerait sur 3 éléments clés : l'intensification et la diversification des cultures fourragères, la production de semences fourragères adaptées aux zones écologiques et enfin, le maintien et la régénération des prairies naturelles et les parcours pastoraux par un ensemencement adéquat.

A cet ensemble on ajoutera l'outil « qualité » de la production des fourrages qui détermine le niveau de production des animaux. Le rôle de la recherche dans la mise en place d'outil comme la table de valeur alimentaire des fourrages algériens, fait donc partie des domaines d'investigation et des progrès à accomplir pour accompagner la modernisation de notre élevage que nous appelons tous de notre vœux, sans oublier l'action majeure de la sensibilisation et de la vulgarisation.

---

# Partie II. Matériel et méthodes

## Chapitre 4. Mise en œuvre générale

Il s'agit donc dans un premier temps, de mettre à jour dans le cadre algérien, toutes les données disponibles sur la composition chimique, la valeur nutritive et la valeur alimentaire des fourrages et coproduits agricoles et agro-alimentaires.

Ce travail de recensement des données trouve sa place et sa justification dans la politique volontariste de modernisation de l'agriculture algérienne instaurée depuis 2004 par le gouvernement (PNDAR).

Les fourrages retenus sont ceux dont la méthodologie qui leur a été appliquée était celle qui remplissait les conditions de fiabilités pour l'établissement d'une table de composition chimique et de valeur alimentaire de nos fourrages, ainsi :

Pour la composition chimique, tous les dosages de l'analyse fourragère ont été réalisés avec les mêmes méthodes provenant de deux sources : le fascicule de méthodes du laboratoire des aliments de l'INRA de Theix et celle de l'official methods of analysis (**AOAC, 1975 ; AOAC, 1990**). Toutes les mesures ont été faites en double ou en triples. Lorsque des échantillons étaient encore disponibles, nous avons dosé les composés pariétaux (NDF et ADF) par la méthode séquentielle de **Van Soest (1963)** ou estimé par des équations.

Les valeurs mesurées de digestibilité de la matière organique (dMO) et des matières azotées (dMA) sont celles obtenues *In vivo* avec des moutons non castrés de race Ouled Djellal âgés de 24 à 36 mois, pesant entre 42-54 kg sur un nombre suffisant de sujets (3 à 5). Ils ont été alimentés *ad libitum* (10 à 15% de refus) à un niveau alimentaire (NA) moyen de 1,4(0,93 à 2,8).

Les deux sources de méthodes utilisées par les structures algériennes qui ont mené des études sur les fourrages du pays, sont celles du laboratoire des aliments de l'INRA de Theix (Dr Demarquilly) pour la digestibilité et pour la récolte des fourrages verts (la définition des cycles et stades a été rapporté dans **INRA(2007)**). Celle-ci a eu lieu sans interruptions du début à la fin du cycle de végétation et la digestibilité est étalée sur une semaine (IDEB).

L'autre source de méthodes est celle des méthodes européennes (**Charlet-Levy, 1969**), la digestibilité est mesurée sur une période de 8 à 10 jours, selon les structures de recherche. Dans tous les cas, les deux sources appliquent la procédure de la récolte totale des fèces (méthode de référence).

### 1. Les informations recherchées sur les fourrages

---

Sont celles nécessaires pour établir une table de composition chimique des aliments :

- Espèces botaniques, nature, origine et traitements technologiques subis par le fourrage ;
- Stade, cycle de développement de la plante et mode de conservation ;
- Composition chimique : matière sèche (MS), matière minérale (MM) ; matière organique (MO) ; matières azotées totales (MAT) ; cellulose brute (CB) ; la paroi

totale représentée par le neutral detergent fiber (NDF) ; la ligno-cellulose, représentée par le résidu de l'acide détergent fiber (ADF) ; les minéraux majeurs (P ; Ca, Mg principalement) et les minéraux mineurs (Mn, Se ; Cu...)

- La digestibilité des composants chimiques, principalement : celle de la matière organique (dMO), des matières azotées (dMA) de la paroi totale ou de la cellulose brute ;
- L'ingestibilité des fourrages (MSI) exprimée en g/kg de P<sup>0,75</sup> ou en g/j/animal, le poids de l'animal ayant été donné.

## 2. Définition des groupes d'échantillons

---

Les échantillons répertoriés étaient de nature très différente : fourrages verts, foin, pailles, sous-produits agricoles et agroalimentaires... Compte tenu de la masse d'informations que nous recherchons pour chaque fourrage, à priori, peu de fourrages les avaient en totalité.

Nous avons créé 5 groupes de fourrages :

**Groupe 1** . Tous les fourrages cultivés et étudiés sur le territoire algérien. G1 constitue la base de données des fourrages algériens.

**Groupe 2** . Issu de G1 rassemble tous les fourrages renseignés dans les rubriques suivantes : MS ; MM ; MAT ; CB ; la dMA et la dMO. Pour ce groupe, nous avons complété la connaissance de la composition chimique par l'estimation de NDF et d'ADF.

**Groupe 3** . Il est défini pareillement que le groupe 2 et intègre les fourrages remplissant les mêmes conditions de composition chimique à la différence que pour ces fourrages, nous disposons en plus de la MSI et du niveau alimentaire.

**Groupe 4** . Ce groupe accepte tous les fourrages du groupe 1, certains sont renseignés sur leur teneur en minéraux, notamment le calcium et le phosphore. Il accepte également, tous les fourrages répertoriés qui n'ont pu être admis dans les groupes 2 et 3.

Les échantillons de fourrages de ce groupe 4 sont appelés à être reconstitués. Ce groupe sera alimenté sur une durée de 4 ans par la mise en culture tous les ans des espèces qui le composent. De même des pailles et des sous-produits agroalimentaires seront récoltés.

Reconstitués après validation statistique, ils serviront à poursuivre des travaux sur la valeur alimentaire des fourrages algériens en investiguant sur les teneurs en minéraux et la valeur azotée dans le nouveau système des protéines digestibles dans l'intestin. Préalablement, ils auraient servi à tester la méthode SPIR (spectroscopie proche infra rouge) pour évaluer la composition chimique des fourrages. Car il nous semble que le programme de travail visant à connaître la valeur alimentaire des fourrages algériens doit intégrer les espèces spontanées de la steppe et des hauts plateaux. Dans cette optique où plusieurs centaines de plantes pourraient être concernés, des outils rapides et fiables d'analyse doivent être disponibles, la SPIR pourrait répondre à cette attente.

**Groupe 5** . Dans ce travail, les fourrages de ce groupe reliés dans la littérature consacrée aux fourrages méditerranéens, serviront à la validation croisée des modèles de prédiction de la valeur nutritive, du niveau alimentaire (NA) et des quantités ingérées (MSI).

## 3. Traitements réalisés sur les groupes de fourrages

---

### Groupe 1

Il s'est agi d'un travail exhaustif de recensement effectué pendant deux ans. Les principales sources de données que nous avons trouvées sont :

- Le recueil de données établi par le ministère de l'agriculture il y a près 40 ans ;
- Les mémoires d'ingénieurs, de magister et de thèse de doctorat réalisées à l'INA ou dans d'autres structures de recherche en Algérie (ITELV ; universités, INRAA, ITGC ; l'URBT...);
- Les articles scientifiques publiés ;
- Les sources de la littérature ou de communications personnelles de collègues de terrain ;

Les archives anciennes de l'époque coloniale.

### Groupe 2

La composition chimique des fourrages de ce groupe a été complétée par l'estimation des teneurs en NDF et en ADF en utilisant la relation forte qui existe entre CB et NDF et ADF :

$$\mathbf{NDF = 1,14CB+260 \text{ et } ADF = 0,95CB+40 \text{ (g/kg MS) ; } R^2 = 0,91}$$

(INRA, 2007).

Différentes expressions de la valeur nutritive des fourrages ont été calculées à l'aide de formule éprouvée de l'INRA France (1981 à 2007) :

- EB (énergie brute) =  $4\,478 + 1,265\text{MAT}$  ( $R^2=0,81$  ; ETR=37 ; n=8) (kcal/kgMS)
- dE (digestibilité de l'énergie) =  $0,957\text{dMO} - 0,068$  ( $R^2 = 0,99$  ; ETR=0,6 ; n=59) (kcal/kgMS)
- ED (énergie digestible) =  $\text{EB} \cdot \text{dE}$  (kcal/kgMS)
- EM (énergie métabolisable) =  $\text{ED} \cdot (\text{EM}/\text{ED})$  (kcal/kgMS)
- $\text{EM}/\text{ED} = 0,8286 - 0,0000877\text{CB} - 0,000174\text{MAT} + 0,0243\text{NA}$  ; ( $R^2=0,90$  ; ETR = 0,0093 ; n = 268)
- EN (énergie nette) =  $\text{EM} \cdot \text{k}$
- UFL (unités fourragères « lait ») =  $\text{EM} \cdot \text{kl} / 1700$  où :  $\text{kl} = 0,60 + 0,24(q - 0,57)$  ;  $q = \text{EM} / \text{EB}$ .
- UFV (unités fourragères « viande ») =  $\text{EM} \cdot \text{kmf} / 1820$

où :  $\text{kmf} = ((\text{km} \cdot \text{kf} \cdot 1,5) / (\text{kf} + (\text{km} \cdot 0,5)))$  avec :  $\text{kf} = 0,78q + 0,006$  et

$$\text{km} = 0,287q + 0,554$$

Les unités : MAT et CB (g/kgMS) ; dMO (%).

De même, la dMO *In vivo* des fourrages de ce groupe a été mise en relation statistique avec chacun de leurs composants chimiques ou de leurs associations à chaque fois que cela se révélait nécessaire pour améliorer la précision des modèles calculés.

### Groupe 3

Les fourrages de ce groupe, serviront à la prédiction des quantités ingérées et du niveau alimentaire. Ces fourrages sont renseignés sur leur composition chimique (MS, MM, MO, MAT et CB) et la teneur en composés pariétaux (NDF et ADF) selon les méthodes

classiques. La mesure de la digestibilité de la matière organique (dMO%), la quantité de matière sèche ingérée (QMSI) de l'ensemble des fourrages de ce groupe est déterminée par les méthodes *In vivo*.

75 % des fourrages de ce groupe sont tirés des travaux réalisés dans le Département des productions animales de l'ENSA par d'autres collègues, 25% par nous mêmes. Dans tous les cas, les mêmes méthodes leur sont appliquées.

### I. Mesure de la digestibilité des composants

Tout comme la composition chimique, les premières expériences de digestibilité sur les ruminants ont eu lieu au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle. La digestibilité d'un constituant chimique exprime la proportion disparue entre sa consommation et son excrétion dans les fèces. La digestibilité de la matière organique (dMO) des fourrages est une base essentielle pour estimer la valeur énergétique. Elle est le facteur de variation le plus important de la valeur énergétique du fait des pertes fécales (20 à 60% de la MO ingérée) lors de la transformation des fourrages en produits animaux (**Daccord, 2005**).

Les méthodes de mesure de la digestibilité sont nombreuses (directes et indirectes), elles sont visibles en **Annexe 7**. Celle qui a été utilisée est la méthode *in vivo* (de référence), de la collecte totale des fèces.

#### I.1. Déroulement des essais

L'essai s'étale sur un mois environ, 3 à 4 moutons de race Ouled Djellal sont utilisés pour chaque fourrage. Après une période d'adaptation de 10 à 20 jours dans des boxes individuels, les animaux sont montés en cage à métabolisme (**Figure 4**) pour 8 à 10 jours afin de mesurer la digestibilité de ces fourrages.



Figure 4. Animal dans une cage à métabolisme en cours de mesure de digestibilité

Chaque animal reçoit quotidiennement sa ration divisée en deux repas (9h et 16h00), composée de l'aliment à tester *ad libitum* (10 à 20% de refus) et d'eau à volonté.

Après 15 jours d'adaptation aux régimes et 2 jours d'observations en cage à métabolisme, on entame les mesures quotidiennes, du distribué, des refus, des fèces et éventuellement, la récolte des urines émises.

L'atelier dans lequel ces mesures ont été faites est représenté par la **figure 5**.

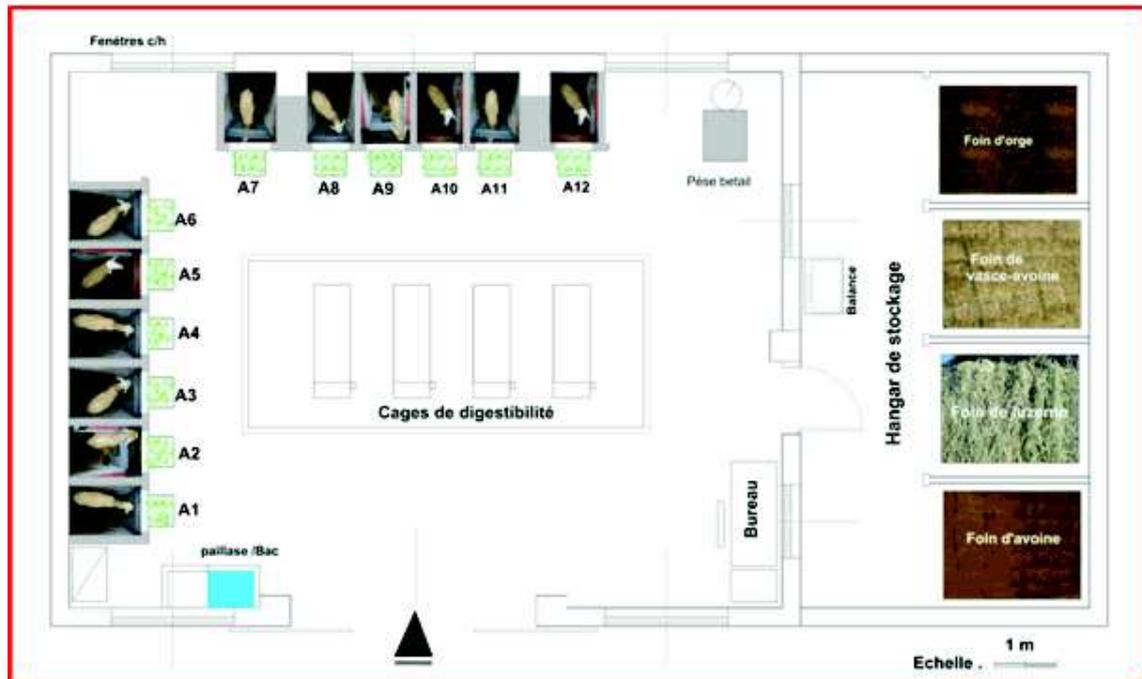


Figure 5. Atelier de digestibilité

## I.2. Les mesures

### · Distribué et refus

Le distribué et le refus sont pesés quotidiennement par une balance de précision, afin de déterminer les quantités ingérées.

Un échantillon de 100 g est prélevé pour déterminer la MS, puis cumulé, broyé et conservé en vue d'analyses chimiques.

### · Les fèces

Chaque matin et durant la période de digestibilité, la récolte de fèces suivi d'une pesée est réalisée. Les fèces souillées sont récoltées et pesées séparément. Un échantillon de 100 g des fèces propres est prélevé et séché à l'étuve à 105°C, durant 24 h, puis cumulé, broyé et conservé en vue d'analyses.

## I.3. Analyses chimiques des échantillons

Les analyses portent sur les distribués, les refus et les fèces. Les composants dosés selon les méthodes de l'**AOAC (1990)** sont : la MS, MM, MO et les MAT. La paroi totale (NDF), la lignocellulose (ADF) et la lignine (ADL) sont dosés selon la méthode séquentielle de **Van Soest (1963)**. Toutes les analyses sont effectuées en triple.

#### I.4. Calculs

- Digestibilité « *in vivo* »

La digestibilité apparente de la matière sèche (dMS), de la matière organique (dMO) et des matières azotées totales (dMAT) des fourrages est obtenu par l'expression classique :

$$CUD \text{ apparent } (\%) = \frac{\text{Quantité ingérée (g)} - \text{Quantité excrétée (g)}}{\text{Quantité ingérée (g)}} \times 100$$

- Le niveau alimentaire (NA)

Le niveau alimentaire énergétique (NAe) est calculé en estimant les besoins d'entretien en énergie à 23 g MODI/j/kg P<sup>0,75</sup> (INRA, 1978) :  $NAe = MODI (g/j/kg P^{0,75}) / 23$

#### II. Mesure de l'ingestibilité des fourrages

La connaissance des quantités de fourrage qu'un ruminant peut ingérer est indispensable pour formuler des rations efficaces. Elle conditionne la quantité d'éléments nutritifs ingérés par le ruminant, et par là, les performances qu'il peut réaliser quand il reçoit le fourrage à volonté (Demarquilly et al, 1981). Toutefois, l'ingestibilité reste un paramètre peu maîtrisable, du fait qu'elle dépend d'un bon nombre de facteurs complexes en interactions continues.

De ce fait, pour un animal donné, la quantité volontairement ingérée dépend des caractéristiques du fourrage, qui déterminent son ingestibilité, et des caractéristiques de l'animal qui déterminent sa capacité d'ingestion.

Ces deux paramètres sont régulés par des mécanismes à court et long terme qui dépendent de l'état de l'animal, ses besoins et l'état de ces réserves corporelles. Cependant, si la capacité d'ingestion est déterminée par des mécanismes de contrôle à long terme, l'ingestibilité dépend en revanche des mécanismes à court terme intégrant le processus de rassasiement dans lequel interviennent des signaux physiques (encombrement du rumen), des signaux chimiques (produits terminaux de la digestion) et la motivation à ingérer qui est plus ou moins stimulée par les qualités sensorielles du fourrage (Andrieu et Baumont, 2000).

La mesure sur animal est coûteuse par le nombre d'animaux, la durée nécessaire et la quantité de fourrages que la procédure exige. Néanmoins, elle est la plus adaptée pour appréhender l'ensemble des phénomènes qui régulent les quantités de MSI, nous l'adoptons. D'autres méthodes sont données à titre indicatif en **annexe 8**.

#### III. Calculs et mode d'expression des quantités ingérées (MSI)

Elle est obtenue par l'expression classique :  $MSI = MSD - MSR$  où :

MSD = matière sèche distribuée

MSR = matière sèche refusée

Les résultats sont exprimés en g de MS/animal/jour et g MS/kg P<sup>0,75</sup>/jour.

Habituellement, les quantités volontairement ingérées sont exprimées par unité de poids par animal et par jour (kg/animal/jour). Mais, ce mode d'expression n'est pas utilisé pour comparer l'ingestion d'espèces animales de taille et poids différents. On préfère, le poids vif élevé à la puissance de 0,54 à 1. Le choix de la puissance est fonction de la qualité du fourrage. Avec des fourrages de qualité médiocre, la capacité d'ingestion est liée beaucoup plus à la capacité de réplétion du rumen et le taux de passage du fourrage. Pour ces fourrages, on choisit 1 et l'ingestion est exprimée par kg de poids ou en % du poids. Alors que les fourrages de bonne qualité, semblent être contrôlés par des mécanismes physiologiques ; l'ingestion est alors exprimée par rapport au poids métabolique ( $P^{0,75}$ ), pour tenir compte du fait que les besoins énergétiques sont proportionnels à cette expression du poids vif (Dulphy et al , 1994 ; Decruyenaere et al , 2009).

Sauvant et al (2006), rapportent que l'expression de l'ingestion en pourcent du poids vif (% PV) est le meilleur mode d'expression pour comparer les fourrages et les espèces animales entre elles. Car, sur cette base, les relations entre l'ingestion et le taux de sortie des particules du rumen ou digestibilité de l'énergie ne sont pas influencé par l'espèce. Le cas est différent quand l'ingestion est exprimée par rapport au poids métabolique.

Néanmoins, nous utiliserons dans ce travail, l'écriture  $P^{0,75}$  très communément employée par les chercheurs du monde.

Les composants chimiques, la dMO, le NA et la QMSI mesurés par les méthodes standards, ont été utilisés pour prédire des quantités ingérées par la mise en relation statistique entre le NA et chacun des composants chimiques, ou bien en ajustant le NA seul et la MSI ou en l'associant à un ou plusieurs composants chimiques des fourrages à un modèle linéaire simple ou multiple.

#### Groupe 4

Cet échantillon en voie de reconstruction sur 4 ans a vu une première année de mise en culture, de récolte et d'analyse chimique.

#### I-Les conditions de mise en culture :

dans le but de compléter les informations manquantes (Ca, P, PDI ...) des échantillons du groupe 1, une reconstitution de tous les fourrages de ce groupe 1 est prévu durant 4 ans au sein de l'institut technique des élevages « ITELV » (commune de Birtouta, wilaya d'Alger) dont les coordonnées géographiques sont les suivantes : latitude 36,6547°N, longitude 3,0520°E.

L'ITELV s'étend sur une superficie agricole totale de 453,49 ha. Le climat est de type méditerranéen, avec une période sèche et chaude en été, fraîche et humide en hiver. La moyenne annuelle des précipitations était de 529 mm durant l'année 2008 et 627 mm en 2009. La récolte de nos échantillons s'étale de septembre 2008 à octobre 2009 où l'évolution moyenne des températures et de la pluviométrie est représentée dans le graphique de la figure 6.

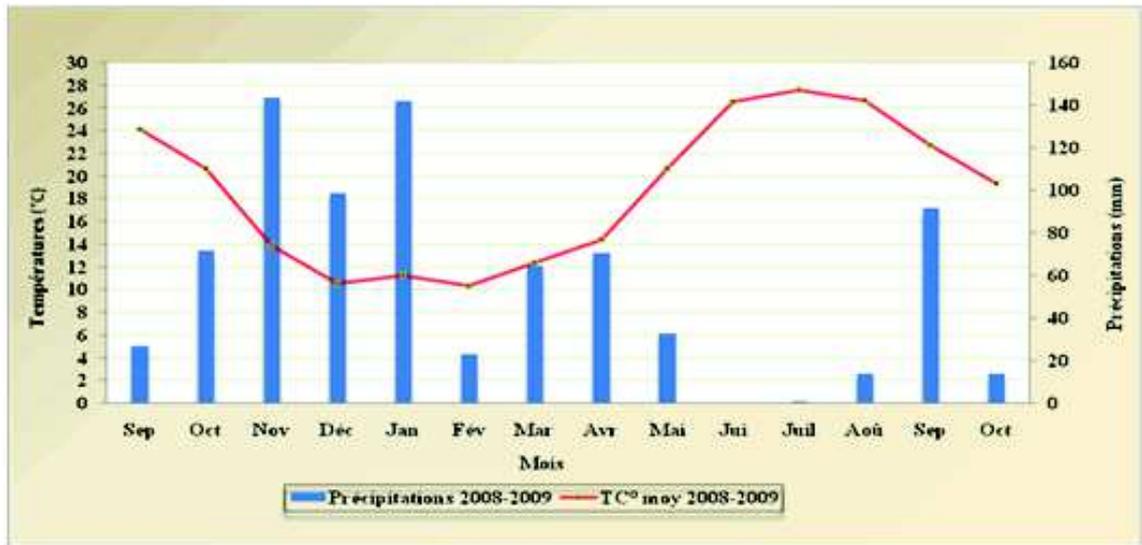


Figure 6. Températures et pluviométrie moyenne durant la période d'échantillonnage (2008/2009)

L'année de notre échantillonnage était pluvieuse (800 mm) et froide. Ceci empêchait l'apparition des bourgeons du bersim au 2<sup>ème</sup> cycle durant le mois de février. On a assisté aussi à une hausse des températures à partir du mois de mai, ce qui accéléré la formation des grains des graminées (orge et avoine). Les précipitations et les températures ont été irrégulières durant l'année d'échantillonnage.

Le sol a une texture argileuse lourde, basique, et calcaire. Pauvre en matière organique, présentant une faible teneur en Ca et P assimilable (Lounaoussi et Tibahine, 2005).

La localisation des parcelles expérimentales de l'ITELV est visible sur la figure 7.

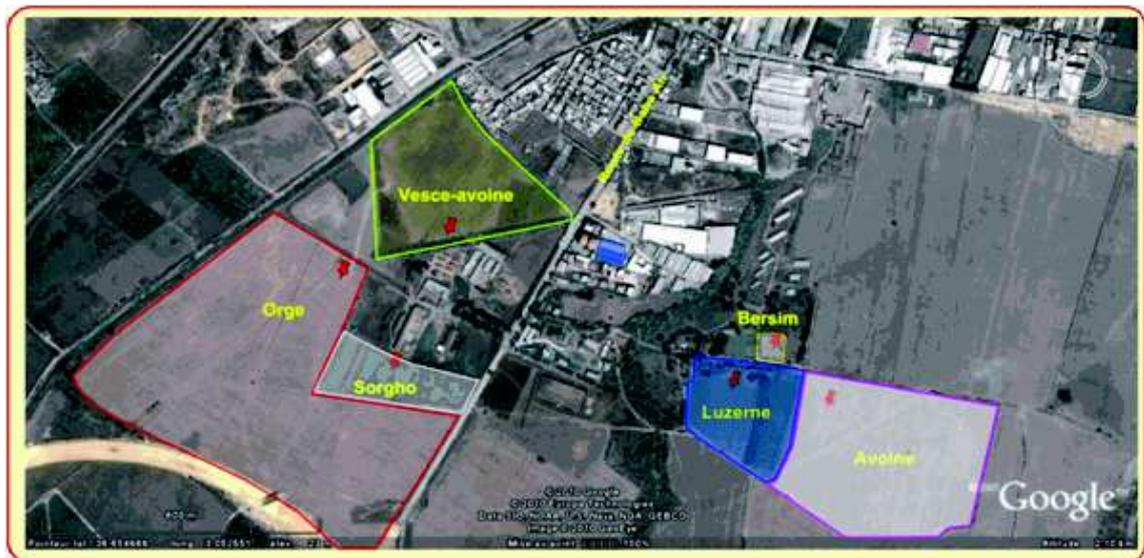


Figure 7. Localisation des parcelles expérimentales (ITELV)

La mise en culture a concerné 6 espèces : l'avoine, l'orge, le sorgho, la luzerne, le trèfle d'Alexandrie (bersim) et l'association vesce-avoine. Leur principales caractéristiques sont données en annexe 7.

Les pratiques culturales appliquées à ces cultures sont rapportées brièvement dans le **tableau 23**

Espèces	Variétés	Précédent cultural	Travail du sol	Superficie (ha)	Date de semis	Dose de semis	Irrigation	Exploitation
Orge	SAIDA	Céréale	Le labour, Recroisage (cover-crop), Semis, Hersage	53	28/10/2008 au 11/11/08	120 kg/ha	-	- En vert, foin et ensilage
Avoine	-	Céréale (Orge)	Le labour, Recroisage (cover-crop), Semis (Epandeur centrifuge), Hersage	29	15/12/08	120 kg/ha	-	- Ensilage et foin
Sorgho	-	-	Labour moyen (30 cm de profondeur), Recroisage (cover-crop), Semis, (Epandeur centrifuge), Hersage	1,5	24 et 25/04/2009	50 kg/ha (à la volée)	Aspersion	- En vert et pâturage
Luzerne	-	-	Le labour, Recroisage (cover-crop), épandage d'engrais (NPKS), passage rotavator, Semis, Hersage	3 ha	04/03/2008	40 kg/ha	Régulière	- En vert et foin
Bersim	multi-coupe (Egypte)	Céréale	Sans labour (semis direct, par semoir à 2 cm de profondeur)	0,2 ha	05/10/2008	22 kg/ha	-	- En vert (fauche)
Vesce-avoine	-	-	Le labour, Recroisage (cover-crop), Semis, Hersage	08 ha	12/11/2008	80 kg vesce+40 kg avoine	-	- En foin, après séchage au champ par beau temps.

Tableau 23. Les pratiques culturales appliquées aux espèces fourragères concernées

## II-Les conditions de récolte et de conservation des échantillons

Les 6 espèces ont fait l'objet d'un échantillonnage sur le terrain (tous cycles et stades confondus) durant l'année 2008/2009. Ce dernier a été effectué selon la méthode recommandée par l'**AFNOR (1985)**.

La détermination des différents stades au champ a été faite selon les définitions données par l'**INRA 2007 (annexe 10)**.

Pour constituer au champ, on parcourt la parcelle en zig zag sur une longueur de 100 à 300 m, en évitant les coins. On prélève des poignées qui sont coupées à la faucille, à 5 cm du sol, pour éviter de souiller la plante et lui permettre de bien reprendre sa végétation (reprendre le cycle suivant). Une quantité de 4 à 5 kg en frais d'échantillon global est récoltée. Une fois mélangée, une quantité de 1 kg est prélevée, il constitue l'échantillon représentatif. Ce dernier est soigneusement séché dans une étuve ventilée et réglée à 50 °C pendant 48 heures après avoir été débarrassé de toutes particules étrangères à la nature de la plante. Ensuite, il est finement broyé dans un broyeur à marteaux munie d'une grille de 1 mm de diamètre, puis conservé dans un flacon hermétiquement fermé et bien identifié (le nom, le stade, le cycle et la hauteur de la plante, le lieu et la date de prélèvement) pour analyses.

De l'échantillon global une poignée est prélevée pour déterminer la MS à l'échantillonnage.

Le nombre total d'échantillons récoltés durant l'année concernée est de 48, avec 46 fourrages en vert et 2 foin (avoine et vesce-avoine). A cela s'ajoute 6 autres fourrages secs (2 foin et 4 pailles) provenant d'expérimentations faite à l'ENSA, soit au total 54 échantillons de fourrages. L'identification de ces derniers est portée en **tableau 24**.

Iden.	Echantillons	Iden.	Echantillons
C1	Avoine-montaison	C28	Bersim-1ercycle-végétatif
C2	Avoine-épiaison	C29	Bersim-1er cycle-bourgeonnement
C3	Avoine-floraison	C30	Bersim-1er cycle-début floraison
C4	Avoine-grain laiteux	C31	Bersim-1er cycle- floraison
C5	Avoine-grain pâteux dur	C32	Bersim-2ème cycle-végétatif
C6	Avoine-grain vitreux	C33	Bersim-2ème cycle- bourgeonnement
C7	Orge-feuillu	C34	Bersim-2ème cycle-début floraison
C8	Orge-montaison	C35	Bersim-2ème cycle-floraison
C9	Orge-épiaison	C36	Bersim-3ème cycle-végétatif
C10	Orge-floraison	C37	Bersim-3ème cycle-floraison
C11	Orge-grain laiteux	C38	Bersim-4ème cycle-végétatif
C12	Orge-grain pâteux	C39	Bersim-4ème cycle-floraison
C13	Sorgho-1er cycle-montaison	C40	Bersim-5ème cycle-végétatif
C14	Sorgho-1er cycle-début épiaison	C41	Bersim-5ème cycle-début floraison
C15	Sorgho-1er cycle-épiaison	C42	Vesce-avoine-végétatif- feuillue
C16	Sorgho-1er cycle-floraison	C43	Vesce-avoine-végétatif-montaison
C17	Sorgho-1er cycle-grain laiteux	C44	Vesce-avoine-formation gousses-formation grains
C18	Sorgho-1er cycle-grain pâteux dur	C45	Vesce-avoine-gousses laiteuses-grain laiteux
C19	Sorgho-2ème cycle-épiaison	C46	Vesce-avoine-gousses pâteuses-grain pâte dur
C20	Sorgho-2ème cycle-floraison	C47	Foin d'avoine
C21	Sorgho-2ème cycle-fin floraison	C48	Foin de Vesce -avoine
C22	Sorgho-2ème cycle-grain pâteux	C49	Foin d'orge
C23	Luzerne-2ème cycle-bourgeonnement	C50	Foin de luzerne
C24	Luzerne-2ème cycle-début floraison	C51	Paille de blé
C25	Luzerne-2ème cycle-floraison	C52	Paille d'orge
C26	Luzerne-2ème cycle-fin floraison	C53	Paille traitée à l'ammoniac
C27	Luzerne-5ème cycle- végétatif	C54	Paille traitée à l'urée

Tableau 24. Identification des échantillons récoltés

### III-Analyse fourragère classique et analyse SPIR des échantillons reconstitués

Les échantillons de ce groupe ont fait l'objet d'une analyse fourragère classique où la MS, MM, MO, MAT, et les constituants pariétaux sont dosés selon les méthodes standards (cf : **annexe 11** pour plus de détails).

Compte tenu du nombre élevé d'échantillons qui sont étudiés et vont être étudiés dans le futur pour l'établissement d'une TVAF, il nous a semblé indispensable de tester une autre méthode de dosage plus rapide pour compléter notre source de données. Cette technique est la SPIR (spectrométrie dans le proche infrarouge).

Le choix de cette méthode repose sur l'opportunité qui nous a été offerte de le réaliser dans un laboratoire spécialisé à Montpellier (France), elle est rapide et ne nécessite pas de réactifs toxiques et coûteux souvent difficiles à obtenir en Algérie.

Par exemple, l'analyse des protéines brutes par la méthode de Kjeldahl est basée sur la minéralisation de l'azote organique en utilisant de l'acide sulfurique chaud et du catalyseur toxiques. L'analyse au laboratoire demande environ 3 heures. En utilisant la spectroscopie proche infrarouge (SPIR) la même mesure peut être réalisée en moins d'une minute, sans manipulation de réactifs toxiques. De plus, si le spectromètre proche infrarouge (PIR) est correctement étalonné, beaucoup d'autres analyses du même échantillon peuvent être réalisées sans coût additionnel (**Bertrand, 2002**).

### III.1. Historique de la méthode SPIR

La première application analytique de la SPIR a été développée en **1962 par Karl Norris** qui travaillait comme ingénieur au ministère de l'agriculture des USA. Dans cette première étude, les auteurs décrivent une méthode permettant de mesurer la teneur en eau d'échantillons de céréales. Dans ces essais, l'eau est tout d'abord extraite des grains par dissolution dans le méthanol et les mesures spectrales sont effectuées en transmission sur l'extrait méthanolique.

En **1968, Ben-Gera et Norris** ont montré qu'il était possible d'obtenir des spectres en réflexion diffuse qui soient exploitables sans mettre en jeu un solvant comme le méthanol. Ils ont également eu l'idée révolutionnaire d'utiliser la régression linéaire multiple pour établir les équations prédictives liant les valeurs spectrales aux analyses de laboratoire. En 1972, sous la conduite de P. Williams, le laboratoire de la *Canadian Grain Commission* a adopté la technique PIR comme méthode d'analyse de routine de la protéine dans le blé, en remplacement du dosage de Kjeldahl. Pendant la période 1972-1973, cette décision a eu comme conséquence d'éviter l'utilisation de 47 tonnes de réactif chimique fortement agressif. En **1976, Shenk** et son équipe sont parvenus à estimer par SPIR la qualité et la digestibilité de fourrages destinés à l'alimentation des ruminants (**Norris et al , 1976**). La SPIR est alors apparue comme méthode utilisable dans les industries alimentaires, pétrochimiques et pharmaceutiques (**Bertrand, 2002**).

### III.2. Principe

La spectroscopie peut être définie comme l'étude de l'interaction de la lumière avec la matière. On appelle « infrarouge » le rayonnement correspondant aux longueurs d'onde directement supérieures à celles du spectre de la lumière visible. Conventionnellement, l'infrarouge se situe entre 800 et 2500 nm (**Bastianelli, 2007**) (**figure 8**).

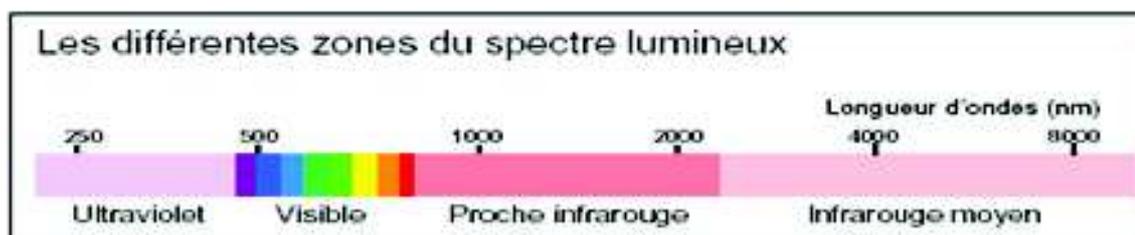


Figure 8. Les zones du spectre lumineux

L'absorption des rayonnements par les échantillons dépend de la composition de la matière organique. En effet, les liaisons chimiques sont capables d'absorber les rayonnements correspondant à certaines fréquences particulières. C'est cette propriété des liaisons chimiques de la matière organique que va utiliser la spectroscopie dans le proche infrarouge pour établir un lien entre l'absorption de la lumière et la composition de l'échantillon.

Pour faire cette analyse, l'échantillon va être éclairé à différentes fréquences (ou longueurs d'onde). L'absorption de la lumière à chacune de ces longueurs d'onde constitue le «spectre» de l'échantillon. Ce spectre peut être constitué de plusieurs centaines de longueurs d'onde pour chacune desquelles on a mesuré l'absorption de la lumière.

Cette mesure se fait avec un spectromètre soit en transmission (on mesure la lumière traversant un échantillon fin), soit en réflexion (on mesure la lumière réfléchie par l'échantillon).

Le spectre est caractéristique d'un échantillon, car, il regroupe des informations (quantité et caractéristiques) de chacun de ses constituants organiques (protéines, matières grasses, fibres, etc.). Cette richesse d'information constitue l'avantage et la difficulté de l'analyse SPIR : beaucoup d'informations sont présentes dans un spectre, mais elles sont complètement emmêlées. Pour surmonter cette difficulté, il faut faire appel à des méthodes statistiques complexes, qui vont permettre de relier les spectres aux analyses chimiques obtenues au laboratoire : c'est la phase d'étalonnage ou « calibration ».

### III.3. La calibration ou étalonnage

Une calibration est une régression linéaire entre les caractéristiques des échantillons (teneurs en constituants chimiques) et l'information « infrarouge » (valeurs de l'absorbance de la lumière à différentes longueurs d'onde).

L'établissement de modèles mathématiques qui permettent de relier le spectre infrarouge aux résultats de ces mesures répond au modèle classique :

$$y = \beta_0 + \sum x_i \beta_i$$

$y$  est la valeur à prédire ;  $x_i$ , l'absorbance à la longueur d'ondes  $i$  et  $\beta_i$  sont les coefficients du modèle à estimer (**Bertrand, 2002**).

L'interprétation des résultats utilise donc les critères statistiques « classiques » pour évaluer la qualité d'une équation de régression linéaire ( $R^2$  et RSE).

Chaque équation de calibration est spécifique d'un paramètre chimique pour une matière première donnée : ce travail doit donc être répété pour chaque nouvelle matière première.

Pour juger la qualité d'une calibration, trois groupes d'informations complémentaires sont présentés : la caractérisation de la population sur laquelle le modèle a été établi, la qualité de la régression et sa validation (sa précision lors de l'utilisation pratique de la calibration).

Le **tableau 25** présente les différents critères statistiques utilisés pour l'établissement d'une équation de prédiction des composants chimiques par la technique SPIR.

<b>Caractérisation de la population d'établissement du model</b>	Nombre, moyenne et écart-type. Minimum ente 60 et 100 échantillons avec une bonne variabilité pour une calibration robuste.	-
<b>Caractérisation du model de calibration</b>	- SEC (écart-type résiduel de calibration) - R <sup>2</sup> (coefficient de déterminaion)	- Indices de la précision des calibrations et de l'ajustement des données.
<b>La validation du model</b>	- SECV (écart-type résiduel de la validation croisée) mesure la précision sur la population de départ. - SEP (écart-type résiduel de la prédiction) mesure la précision sur des échantillons totalement nouveaux. - RPD (ratio performance /déviation) rapport entre variabilité de la population et la précision de lalibration (SECV et SEP).	- Ces deux critères mesures la précision avec laquelle le model de calibration pourra prédire de nouveaux échantillons.  - Indication de l'information apporté par le model. Model interessant avec un RPD =3-4 et très bon au dela de 6.

Tableau 25. Critères statistiques utilisés pour l'analyse SPIR (CIRAD, 2007)

### III.4. Mesures

Les 54 échantillons de fourrageont fait l'objet de cette mesure. L'échantillon en double est placé à l'aide d'une spatule dans des capsules à fond en quartz bien nettoyées au préalable. Une fois la capsule remplie (2 à 5 g), elle est fermée à l'aide d'un bouchon en carton recyclable bien identifié. L'ensemble est inséré sur le chariot du spectrophotomètre et la lecture se fait à travers la cellule en quartz.

La prise des spectres PIR s'est faite en réflexion diffuse entre 400 et 2500 nm à l'aide d'un spectromètre FOSS 6 500 (Foss NIR Systems, Silver Spring, MD, USA). La **figure 9** montre l'appareillage utilisé.



Figure 9. Appareillage de mesure SPIR : Cirad-UR18  
TA C-18/A Campus international de Baillarguet à Montpellier

### III.5. Calculs

Les lectures des différents échantillons sont faites à des longueurs d'ondes comprises entre 400 et 2500 nm par pas de 2 nm. Les valeurs d'absorbance obtenues sont ajustées à un modèle préétabli de 900 fourrages hétérogènes provenant du Liban, de la Turquie et du Kazakhstan (**modèle LTK**). Les spectres sont étalonnés pour déterminer l'analyse fourragère, les phénols totaux, les tanins, la paroi Van Soest et la digestibilité pepsine cellulase. Nous l'utilisons pour la seule composition chimique. Les résultats sont exprimés en % MS.

### Groupe 5

Les fourrages de ce groupe sont destinés à la validation croisée des modèles de prédiction établis, ces fourrages sont renseignés totalement :

- En terme d'analyse fourragère : MS, MM, MAT et de composés pariétaux : NDF et ADF.
- En terme de digestibilité *In vivo* des composants chimiques ci-dessus à l'exception des MM.
- En terme d'ingestibilité des fourrages.

Ces fourrages sont prélevés de la table des fourrages méditerranéens établis par l'**INRA (1978)**, ils sont au nombre de 48. Ces derniers proviennent de différent pays de la méditerranée (Algérie, Espagne, France, Maroc et Tunisie).

Les méthodes d'obtention de ces données sont celles décrites plus haut (cf : fourrages du groupe 3 et **annexe 11**).

## 4. Analyse statistique des résultats

---

### 4.1. Statistiques descriptives

L'ensemble des résultats a fait l'objet d'analyse statistique descriptive : coefficient de variation, Minimum, Maximum, moyenne, écart type et quartiles.

#### 4.2. ANOVA à un facteur :

Par un ajustement sur le modèle :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$$

où  $Y_{ij}$  est la variable expliquée ;  $\mu$ : la moyenne générale

$\alpha_i$  : l'effet facteur

$e_{ij}$  : l'erreur résiduelle du modèle. Puis, le test de Student compare les facteurs deux à deux.

#### 4.3. Calculs des modèles de prédiction

Des régressions linéaires simples ou multiples sont calculées ; elles intéressent tous les groupes de fourrages et répondant à l'écriture :

$$Y_i = a_0 + a_1X_{1i} + a_2X_{2i} + a_3X_{3i} + \dots + e_i \text{ où}$$

$Y_i$  est les variable prédites : dMO ; dMA ; UFL ; UFV ; NA ; QMSI

$X_{1i} + X_{2i} + X_{3i} + \dots$  Les variables explicatives : composants chimiques (CC) des fourrages, dMO et NA.

$e_{ij}$  : l'erreur résiduelle du modèle.

Les modèles présentant un  $R^2$  et un écart type résiduel (ETR) satisfaisants sont retenus pour la prédiction de la variable intéressée.

Pour le groupe 3, les équations de prédiction de la QMSI sont appliquées à l'ensemble des fourrages du groupe 1, après validation par les fourrages du groupe 5. Puis, à ces fourrages sont appliqués le système des unités d'encombrement développé par **Dulphy et al (1987) et Dulphy et Demarquilly (1994)** pour mieux les caractériser.

La démarche est résumée dans le **tableau 26**.

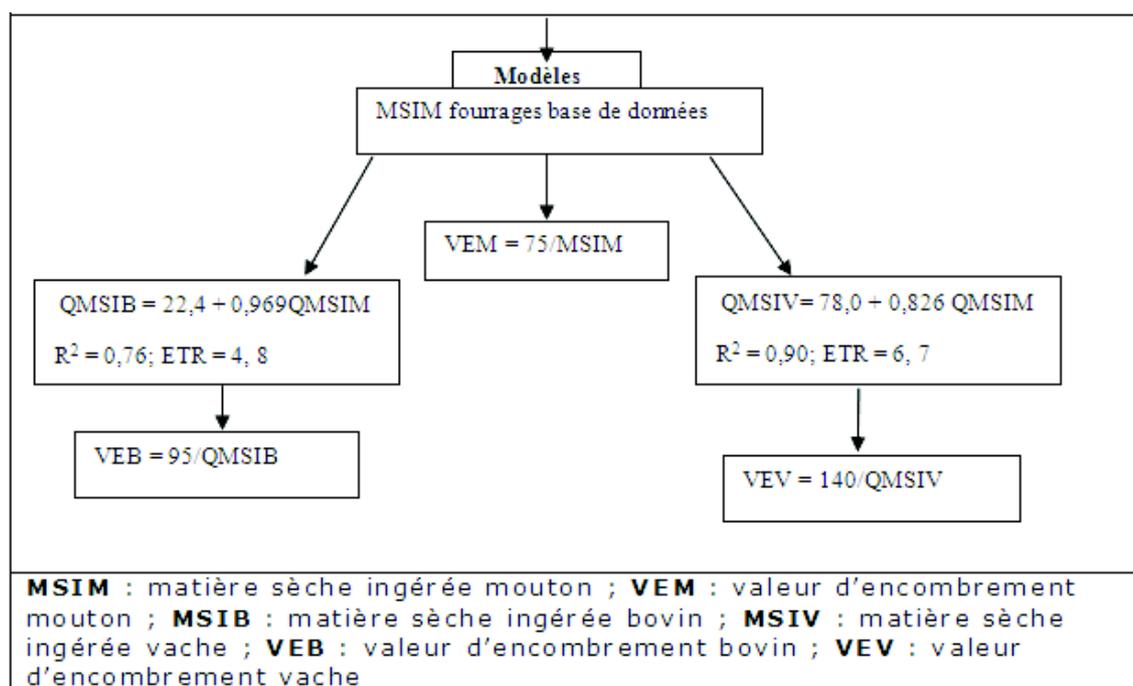
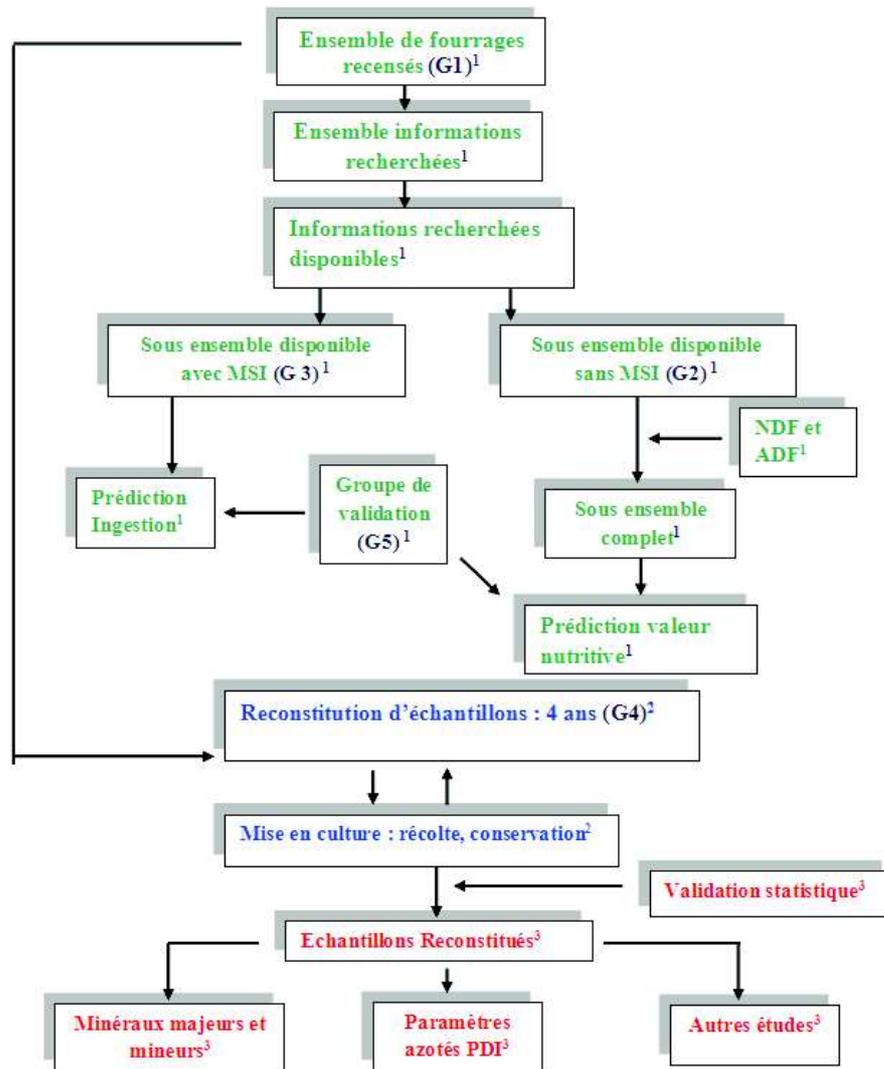


Tableau 26. Organigramme de calcul des composants de l'ingestibilité des fourrages

Les calculs sont effectués avec le logiciel S-PLUS, 4-5<sup>e</sup> Edition (1998).

L'organigramme de la **figure 10** résume l'ensemble de la démarche : travail achevé, travail partiellement réalisé et travail à réaliser



1 : travail réalisé ; 2 : travail partiellement réalisé ; 3 : travail à réaliser

Figure 10. Démarche générale de travail

## Partie III. Résultats et discussion

### Chapitre 5. Fourrages du groupe 1

#### 1. Somme des données disponibles sur les fourrages algériens

---

Depuis une cinquantaine d'années, 541 essais réunissant 122 aliments ont été réalisés dans le pays (**Annexe 12**), soit en moyenne, environ 5 essais par aliment. Le nombre d'essais ayant varié de 1 par exemple pour une fétuque élevée, feuillue à 13 pour un bersim 1er cycle, 14 pour une avoine grains laiteux, 19 pour une luzerne, 19 pour un foin de vesce avoine, 28 pour une paille de blé. Il apparaît une correspondance forte entre le nombre d'essais réalisés et la place qu'occupe le fourrage réellement dans les habitudes de l'affouragement des animaux dans le pays.

Les 122 aliments recensés se divisent en : 75 fourrages verts (37 graminées, 38 légumineuses), 11 foin, 1 luzerne déshydratée, 4 pailles (traitées ou non à l'ammoniac), 12 sous produits divers, 3 sous produits de palmerais, 5 sous-produits de taille, 6 arbres et arbustes, 3 parcours sahariens et 2 concentrés (okara et le son de blé). Néanmoins, la collection ne comporte que 5 espèces de légumineuses (Trèfle d'Alexandrie, Luzerne, Févérole fourragère, Pois fourrager) et 6 graminées (Fétuque élevée, Ray gras d'Italie, Sorgho, Orge, Avoine, Maïs fourrager) ainsi que des associations Vesce - Avoine et Pois - Avoine.

Pour l'ensemble de ces 122 échantillons, la teneur moyenne en CB est de 26,7% (Min : 3,7 ; Max : 49,0), celle des MAT de 14,3% (Min : 3,9 ; Max : 31,4) quant à la dMO, la moyenne est de 65,1% (Min : 31,4 ; Max : 85,9). Pour les fourrages grossiers, cette dMO a varié de 31,4 % pour les grignons d'olive à plus de 80% pour l'orge feuillue, feuilles de pêcher et Ray gras feuillu.

Pour la majorité des fourrages, la valeur énergétique en UF Leroy était fournie ; cette UF est en cours dans le pays depuis 70 ans. Celle en UF Lait et en UF Viande était donnée pour 26 et 27 aliments respectivement sur les 122 aliments recensés.

Pour l'azote, dans ce recensement, l'expression « matières azotées digestibles » (MAD) est largement utilisée par les auteurs. En effet, ce mode d'expression a encore cours en Algérie, dans la formation agronomique et sur le terrain. Le concept de protéines digestibles dans l'intestin à la française, PDIN et PDIA a été utilisé respectivement pour 12 et 11 fourrages, sur 122, soit 10% des fourrages recensés.

De ces 122 aliments, nous avons dépouillé 71 fourrages conventionnels (58%) qui étaient renseignés complètement pour les 4 paramètres suivant : MS, MAT, CB, dMO. Cette collection de 71 aliments, représente la moyenne de 288 essais qui proviennent des travaux de l'IDEB et de l'ITELV et de leurs structures décentralisées.

#### Conclusion

---

---

L'étude des fourrages en Algérie après l'indépendance est concentrée principalement dans deux centres : l'ITELV (depuis les années 70) et l'INA d'El Harrach (depuis les années 80). Le nombre de fourrages étudié est conséquent puisqu'il dépasse 120 en près de 600 essais. Néanmoins, le nombre d'essais dépassant 12 a été fait sur le bersim, l'avoine fourragère, la luzerne, le foin de vesce avoine et les pailles de céréale qui atteint 28 essais. Ces trois derniers fourrages composent l'essentiel des rations fournies à l'animal dans le pays. Les rations consommées sont donc de valeur alimentaire faible à moyenne.

## Chapitre 6. Les fourrages du groupe 2

Le nombre de fourrages répertoriés répondant à la définition du groupe 2 complété par l'estimation de l'NDF et ADF était de 71 se répartissant en 32 graminées, 30 légumineuses et 9 associations légumineuse-graminée, regroupant 371 essais. Ce nombre de fourrages est faible, comparativement aux tables françaises (INRA, 2007) qui présentent plus de mille aliments ; mais plus élevé que celui des tables de l'ADAS (1992) en Grande Bretagne qui propose 52 fourrages : 22 fourrages verts, 18 ensilages et 12 foins. Le NRC (1996) propose quant à lui, 100 fourrages de référence mais le cycle et le stade de végétation ne sont pas donnés.

### 1. Composition chimique

---

S'agissant du regroupement de fourrages de nature, d'espèces, de cycles et de stades différents, nous observons, une grande dispersion des composants chimiques. Ainsi pour les teneurs en MAT, le minimum est de 4 % et le maximum de 25 % (Tableau 27). L'étude des quartiles montre que 25 % de l'échantillon (18 fourrages) ont une teneur en MAT inférieure ou égale à 10 %. De même, 25 % de l'échantillon ont une teneur en MAT égale ou supérieure à 20 %. 75 % de l'échantillon a donc une teneur en azote comprise entre 10 % et 20 %. La moyenne se situant à 15 %. Il s'agit donc dans l'ensemble d'un échantillon de bons fourrages. Pour la cellulose brute, les valeurs respectives pour le premier et le troisième quartile sont de 25 % et de 32 % ; 28 et 35 % pour l'ADF. La valeur minimale et maximale pour ce dernier composant est portée par le Trèfle d'Alexandrie cycle 1 végétatif (21 %) et la paille de blé (44 %).

# Éléments princeps de la valeur alimentaire des fourrages algériens pour le ruminant

N°	Aliment	Nombre d'essais	MS (%)	MM	MAT	CB	NDF	ADF
			(SdMS)					
1	Féruque - cycle 2 - feuille	2	17,4	13,3	20,9	21,4	50,4	24,3
2	Féruque - cycle 4 - feuille	2	20,0	13,7	17,2	24,1	53,5	28,9
3	Féruque - cycle 6 - début épaves	2	28,5	7,2	14,7	28,5	59,8	35,0
4	Féruque d'Italie - feuille	4	13,8	16,7	18,0	18,7	47,8	20,7
5	Ray-grass d'Italie - épi à 10 cm	7	16,8	11	15,4	21,9	50,8	24,8
6	Ray-grass d'Italie - épi à 10 cm	7	14,0	14,4	18,0	23,0	52,2	25,8
7	Ray-grass d'Italie - épaves	6	14,0	10,1	18,1	24,4	53,8	27,2
8	Ray-grass d'Italie - fin épaves	6	16,5	11,0	11,4	28,1	58,0	30,7
9	Ray-grass d'Italie - floraison	7	24,7	8,9	9,4	31,8	62,2	34,2
10	Avoine - nouaison	4	16,9	14,3	15,7	27,5	57,5	30,1
11	Avoine - floraison	8	25,4	9,2	7,4	31,9	62,2	34,3
12	Avoine - grain latex	14	31,8	9,2	10,2	37,5	68,5	38,4
13	Avoine - grain vernal	4	31,0	9,4	6,5	36,2	67,2	38,4
14	Orge - feuille	4	12,2	14,3	23,0	29,2	59,3	31,7
15	Orge - nouaison	6	13,9	12,8	17,0	25,2	54,7	27,9
16	Orge - floraison	9	27,0	11	11,4	34,8	65,7	37,1
17	Orge - grain latex	4	25,0	10,6	9,6	32,6	63,1	35,0
18	Orge - grain pâteux	4	31,2	7,1	8,0	33,8	64,5	36,1
19	Sorgho - 1er cycle - nouaison	4	16,4	11,3	9,2	27,5	57,5	30,1
20	Sorgho - 1er cycle - début épaves	3	19,7	10	8,3	30,1	60,2	32,6
21	Sorgho - 1er cycle - épaves	3	27,2	8,5	7,4	32,4	62,9	34,9
22	Sorgho - 1er cycle - floraison	2	23,8	6,0	6,7	33,4	64,0	35,7
23	Sorgho - 1er cycle - grain latex	2	24,9	5,8	6,2	30,2	60,4	32,7
24	Sorgho - 1er cycle - grain pâteux dur	2	37,0	7,9	5,5	28,6	59,7	32,1
25	Sorgho - 2ème cycle - épaves	4	17,8	11,8	10,8	28,6	58,8	31,2
26	Sorgho - 2ème cycle - floraison	4	23,6	9,7	8,1	31,8	61,7	33,7
27	Sorgho - 2ème cycle - fin floraison	2	25,7	9,1	6,4	34,7	65,8	37,0
28	Sorgho - 2ème cycle - grain pâteux	2	29,9	10,2	5,8	34,0	64,7	36,3
29	Sorgho - 3ème cycle - début épaves	3	17,8	10,4	13,2	28,2	58,1	28,8
30	Luzeine - 1er cycle - végétant	3	19,9	10,9	15,2	29,2	52,8	25,9
31	Luzeine - 1er cycle - bouquetonnement	6	20,5	10,4	12,3	25,6	55,2	28,3
32	Luzeine - 1er cycle - début floraison	4	24,5	8	10,8	28,6	58,6	31,2
33	Luzeine - 1er cycle - gousses	2	20,5	9,8	15,4	34,8	65,7	37,1
34	Luzeine - 2ème cycle - début floraison	6	23,8	9	11,6	28,1	59,2	31,6
35	Luzeine - 2ème cycle - floraison	4	28,2	9,5	17,8	31,9	61,9	33,9
36	Luzeine - 2ème cycle - fin floraison	3	32,2	8,5	15,7	36,2	67,2	38,3
37	Luzeine - 2ème cycle - bouquetonnement	6	25,4	8,8	24,3	25,2	57,7	27,9
38	Luzeine - 2ème cycle - début floraison	2	29,8	9,2	21,4	29,6	59,7	32,1
39	Luzeine - 2ème cycle - floraison	6	19,9	9,5	16,2	28,1	58,2	29,8
40	Luzeine - 2ème cycle - végétant	4	18,8	10,3	15,2	26,5	56,2	29,2

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute ; NDF : azote total détergé ; ADF : azote détergé fibre ; IQ : premier quartile ; 2Q : deuxième quartile ; 3Q : troisième quartile ; Min et Max : minimum et maximum ; ETR : coefficient d'efficacité de digestion.

**Tableau 27 (suite). Composition chimique des fourrages algériens**

N°	Aliments	Nombre d'essais	MS (%)	MM	MAT	CB	NDF	ADF
			(SdMS)					
41	Luzeine - 2ème cycle - bouquetonnement	2	22,7	8,0	23,8	29,6	59,7	32,1
42	Luzeine - 2ème cycle - début floraison	2	21,1	8,6	11,8	28,5	60,5	32,8
43	Luzeine - 2ème cycle - végétant	6	16,4	10,5	10,0	25,2	54,7	27,9
44	Trefle d'Alexandrie - 1er cycle - végétant	19	19,7	11,7	20,0	18,8	46,9	21,4
45	Trefle d'Alexandrie - 1er cycle - bouquetonnement	4	13,8	10,9	20,2	23,8	53,1	26,6
46	Trefle d'Alexandrie - 1er cycle - début floraison	4	15,4	11,5	17,2	25,8	55,4	28,2
47	Trefle d'Alexandrie - 1er cycle - floraison	3	19,9	9,5	16,0	28,1	59,2	31,6
48	Trefle d'Alexandrie - 2ème cycle - végétant	7	17,6	14,2	20,9	25,5	55,1	29,4
49	Trefle d'Alexandrie - 2ème cycle - bouquetonnement	6	19,4	12,4	21,8	24,0	53,8	26,8
50	Trefle d'Alexandrie - 2ème cycle - début floraison	6	14,7	11,3	18,4	26,1	55,7	28,8
51	Trefle d'Alexandrie - 2ème cycle - floraison	4	15,6	11,5	18,6	29,9	60,1	32,4
52	Trefle d'Alexandrie - 2ème cycle - végétant	4	15,7	12,6	21,8	23,5	52,8	26,9
53	Trefle d'Alexandrie - 3ème cycle - floraison	4	18,2	11,2	18,1	28,4	58,4	31,0
54	Trefle d'Alexandrie - 3ème cycle - végétant	4	14,8	9,7	22,5	23,0	52,2	25,8
55	Trefle d'Alexandrie - 3ème cycle - floraison	2	19,5	8,6	15,4	21,0	61,2	33,4
56	Trefle d'Alexandrie - 3ème cycle - végétant	4	13,4	13,1	23,6	24,2	53,8	27,0
57	Trefle d'Alexandrie - 3ème cycle - début floraison	2	19,9	9,8	17,8	26,1	55,7	28,8
58	Vesce-avoine - végétant - feuille	9	13,1	12,7	16,8	20,5	49,4	23,5
59	Vesce-avoine - végétant - nouaison	3	14,1	13,4	13,1	28,2	58,2	30,8
60	Vesce-avoine - début floraison - épaves	2	16,6	11,6	12,4	31,4	61,9	33,9
61	Vesce-avoine - floraison - floraison	2	19,6	10,5	10,2	32,4	62,9	34,9
62	Vesce-avoine - floraison - gousses	2	25,5	11,7	8,5	35,7	63,0	34,8
63	Vesce-avoine - gousses latexes - grain latex	3	30,1	9,5	9,6	32,4	66,7	37,9
64	Vesce-avoine - gousses pâteuses - grain pâte dur	3	35,6	8,9	12,9	28,7	59,9	32,2
65	Foin - avoine	3	21,8	9,8	13,6	27,4	57,2	30,1
66	Foin de luzerne	19	18,5	10,7	16,8	21,9	46,8	21,9
67	Foin de vesce - avoine	19	22,5	9,6	12	37,5	68,8	39,7
68	Luzeine déshydratée	3	31,2	10,5	10,7	34,5	63,1	36,2
69	Paille de blé	28	82,1	7,2	3,9	42,0	73,9	43,9
70	Paille traite à l'ammidon	12	88,6	7,7	7,4	46,9	72,4	42,9
71	Paille traite à l'urée	11	87,5	7,5	14,2	42,2	74,1	44,1
	N	371	71	71	71	71	71	71
	Moyenne	-	27,4	10,3	16,0	29,3	69,4	31,8
	IQ	-	16,2	8,9	9,4	25,2	58,1	27,9
	2Q	-	27,0	11,6	20,6	25,6	63,1	35,0
	Minimum	-	12,2	6,8	3,9	18,4	46,9	21,4
	Maximum	-	92,8	16,7	28,2	42,2	74,1	44,1
	Ecart type résiduel	-	20,7	2,1	6,9	6,2	8,9	6,0
	CV (%)	-	75,8	20,4	39,4	17,8	9,9	18,4

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute ; NDF : azote total détergé ; ADF : azote détergé fibre ; IQ : premier quartile ; 2Q : deuxième quartile ; 3Q : troisième quartile ; Min et Max : minimum et maximum ; ETR : coefficient d'efficacité de digestion.

**Tableau 27. Composition chimique des fourrages algériens**

Sur les 71 fourrages, 23 (**Annexe 13a, 13b**) ont trouvé leur homologue (espèces, stade et cycle) dans les tables **INRA (1988, 2007)**. La composition chimique de ces 23 fourrages est globalement comparable à celle du groupe 1 sauf le NDF (+5 % pour les fourrages algériens) mais à contrario, ADF est légèrement plus élevé pour les fourrages INRA (4 %). Ce sont donc les hémicelluloses (+14 %) qui caractériseraient le plus les composés pariétaux des fourrages de notre échantillon comparativement au groupe de fourrages de l'**annexe 12**.

Pour cette première analyse et pour cette première récolte, il semblerait que les différences entre composition chimique des fourrages de la table INRA France et celle des fourrages obtenus en Algérie sont faible lorsqu'ils présentent les mêmes caractéristiques d'espèces, de stades et de cycles.

Les facteurs qui pourraient générer des différences sont ceux liés à la plante et ceux liés aux conditions du milieu.

### 1.1. Facteurs liés à la plante

La composition chimique des fourrages évolue en fonction de la famille botanique, l'espèce, la variété, et l'âge (stade et cycles de développement). Elle évolue également avec le mode d'utilisation ou de conservation du fourrage (**Baumont et al , 2005**).

En général, entre graminées et légumineuses, il existe une nette différence, tant du point de vue morphologique que chimique. Les légumineuses sont plus riches en azote et en acides organiques que les graminées, et moins riches en fibres. Par contre, les graminées sont plus riches en glucides hydrosolubles, surtout fructosanes (**Jarrige, 1981**).

Des différences entre des variétés d'une même espèce peuvent être notées. Ainsi, **Kamalak et al (2005)**, rapportent des différences significatives en CB (25 à 31%) et matières azotées (15 à 21%) entre 14 variétés de luzerne.

Cependant, l'âge (maturité) et le stade de développement ou de récolte sont les facteurs les plus importants qui font varier la composition chimique (**Enoh et al , 2005**). Plus la plante vieillit, plus la teneur en MAT et sucres solubles diminue et celle de la MS et de la paille augmente (**Tremblay et al , 1995 ; Ball et al , 2001 ; Niwinska, 2005 ; Karabulut, 2009**). Cette évolution est bien visible dans le **tableau 27** notamment pour les céréales fourragères.

Pour les minéraux, **Arrigo (2006)**, rapporte que les repousses ont des teneurs en minéraux supérieures aux premiers cycles de 57% pour le Ca et 30% pour le P. Par contre, le prolongement du premier cycle de 30 jours, réduit la teneur en P de 26% et celle en Ca de 8%.

La méthode de conservation (foin, ensilage, séchage en grange ou par déshumidification) fait varier aussi la composition chimique, mais cela dépend en premier lieu de la composition chimique du fourrage initial, et en second lieu des conditions de conservation. De ce fait, la perte de feuilles, la respiration des plantes, et le lessivage par la pluie au cours de séchage au champ du foin peuvent diminuer la qualité du fourrage d'une manière significative (**Cherney, 2008**). Les acides aminés sont particulièrement sensibles au mode de conservation (**Arrigo, 2006**).

### 1.2. Facteurs liés aux conditions du milieu

Les facteurs environnementaux influençant la composition chimique des fourrages sont d'ordre climatiques (la température, l'intensité lumineuse et l'eau) et pédologiques (fertilité du sol).

La température est le facteur qui induit les plus grandes variations dans la qualité d'un fourrage. Elle détermine les espèces qui poussent dans une région, le taux de maturation des plantes et le rapport feuilles/tige. La température optimale de croissance est de 20°C pour les espèces des saisons froides et 30-35°C pour les espèces des saisons chaudes. Sous des températures élevées le taux de croissance des plantes est plus important que ceux cultivées à des températures plus fraîches, avec un rapport feuille/tige réduit (**Buxton, 1995**). En outre, le NDF des fourrages cultivés sous des températures élevées est généralement moins digeste que celui de fourrages cultivés sous des températures fraîches car plus lignifiés.

De même, les températures élevées augmentent les monosaccharides dans les fourrages et inversement (**Archibald, 1960**).

L'intensité lumineuse et le photopériodisme ont une influence sur la morphologie, la croissance, la floraison et la maturité des fourrages. Ainsi, de longues photopériodes améliorent la qualité des fourrages à travers une importante photosynthèse, qui augmente les sucres solubles qui diluent mécaniquement le NDF. Par contre, pour des photopériodes très longues, le rapport tige/racine augmente et celui de feuille/tige diminue. La conséquence est une diminution de la teneur en MAT des fourrages.

### 1.3. Facteurs liés à la fertilisation et aux conditions de culture

La fertilisation en générale et notamment azotée et la disponibilité en eau agissent favorablement sur la croissance des fourrages (**Van Soest et al , 1978**). Les nitrates, réduit en ammonium sont rapidement incorporés dans les acides aminés (**Buxton, 1995**).

En situation de sécheresse, qui freine la croissance du fourrage, le nitrate peut s'accumuler dans la plante jusqu'à atteindre des niveaux toxiques chez l'animal.

On voit bien que la fertilisation azotée peut augmenter la teneur du fourrage en azote, ceci particulièrement chez les graminées. Parallèlement, diminue celle en NDF, mais ADF est peu modifié (**Johnson et al , 2001**).

**Almodares et al , (2009)** confirme ces résultats sur le maïs et le sorgho. Ils rajoutent que la fertilisation peut réduire également les sucres solubles.

Dans ces conditions, les fourrages algériens et autres cultures exposés à des conditions de températures moins favorables et souffrant traditionnellement d'un défaut de fertilisation, ne sont pas en mesure de révéler leur potentialité. Des 15 pays méditerranéens étudiés par **Chabaca (2009)**, l'Algérie se classe en dernier avec 12 kg d'engrais par hectare contre respectivement : 17 ; 21 ; 33 ; 43 ; 61 et 375 kg, pour la Syrie, la Tunisie, la Lybie, le Maroc, la Turquie et l'Egypte. Les pays de la rive Nord consomment entre 105 (Grèce) et 203 kg/ha (France).

D'autres facteurs comme les maladies, les attaques de prédateurs peuvent diminuer le rapport feuille/tige modifiant ainsi, la composition chimique des fourrages (**Cherney, 2009**).

## 2. La digestibilité et la valeur énergétique

---

Les valeurs nutritives des 71 fourrages sont présentées dans le **tableau 27**. Les conditions d'obtentions sont satisfaisantes : chaque valeur représente en moyenne 5 essais (2 à 28), mobilisant entre 20 à 25 sujets d'âge et de poids différents. Le nombre d'essais le plus élevé intéresse les fourrages les plus utilisés dans le pays : paille de blé, 28 essais ; foin de luzerne 19 ; foin de vesce avoine 19 ; avoine stade grains laitieux, 14.

### 2.1. Digestibilité de la matière organique

La digestibilité moyenne de l'échantillon est néanmoins, relativement élevée, 66% avec un minimum à 51% et un maximum à 80%. L'étude des quartiles montre que 25% des données ont une digestibilité inférieure ou égale à 61%, il s'agit essentiellement des foins de vesce avoine des pailles traitées et des céréales fourragères consommé en sec. L'échantillon comporte également un nombre appréciable de très bons fourrages puisque 25% (18) présente une dMO comprise entre 71 et 80%.

La digestibilité de la matière organique (dMO) des fourrages est une base essentielle pour estimer leur valeur énergétique, du fait des pertes fécales (20 à 60% de la MO ingérée) lors de la transformation des fourrages en produits animaux (**Daccord, 2005**).

Connaître les facteurs de variations de la dMO est utile. Mais, le rumen est un écosystème complexe, régi par de nombreux processus interactifs entre l'animal, l'aliment et l'environnement. Néanmoins, les plus communs, sont représentés par deux catégories : ceux liés aux fourrages et ceux liés à l'animal.

### 2.1.1. Facteurs liés aux fourrages

La composition chimique des fourrages est celle qui influence le plus la digestibilité de ces derniers (**Andrieu et Baumont, 2000**). Comme il a été dit précédemment, celle-ci varie en fonction de plusieurs facteurs dont les plus importants sont l'âge, le cycle et le stade de développement auquel est exploité le fourrage, eux mêmes liés à l'environnement. Ainsi, l'influence de l'âge se traduit à travers la teneur en CB et en lignine qui augmentent au fur et à mesure que la plante vieillit, tandis que celle de l'azote diminue (**Demarquilly et Andrieu, 1992**).

Au cours du premier cycle, la digestibilité de la matière organique d'une espèce donnée est à son maximum au début de la croissance des graminées, puis diminue lentement jusqu'à un stade compris entre le stade épi à 10 cm ou l'apparition des premiers épis suivant les espèces. Ces faits sont vérifiés dans le **tableau 24** par exemple avec la fétuque élevée, le Ray gras et les céréales fourragères.

Pour les légumineuses, elle diminue régulièrement tout au long du premier cycle (**Demarquilly et Andrieu, 1988**).

De façon générale, la digestibilité des repousses est toujours inférieure à celle du premier cycle des fourrages correspondant.

De même, le mode d'utilisation du fourrage (séchage, broyage et la granulation) influe sur la digestibilité de par le temps de mastication et de rumination, l'insalivation, la motricité du rumen et du segment digestif postérieur, tout comme la taille, la densité des particules, le pH ruminal et l'activité microbienne (**Ajmal Khan et al , 2003 ; Daccord, 2005**). Alors, que le mode de conservation (séchage en grange ou au champ et l'ensilage) n'a pas d'effets significatifs sur la digestibilité de la matière organique si les travaux de récolte et de conservation sont faits avec soin (**Arrigo, 2004**).

### 2.1.2. Facteurs liés à l'animal

Le niveau d'alimentation est l'un des premiers facteurs qui influent sur la digestibilité. Ainsi, les animaux digèrent plus de nutriments quand ils sont alimentés en quantité limitée que s'ils le sont à volonté (**Okine et Mathison, 1991**). Par conséquent, plus l'ingestion augmente, plus la digestibilité diminue, cela s'expliquerait par une augmentation du temps de transit dans le rumen. On sait en effet que, le niveau alimentaire influence la dMO. Elevé, il peut entraîner une baisse de celle-ci pouvant nécessiter parfois une correction de la dMO (**Sauvant, 2003**). La baisse est d'autant plus forte que la dMO de la ration est élevée. L'effet qui peut être calculé par l'équation :  $\text{Effet (\%)} = 11,2 - 0,19 \text{ dMO ration}$  (**Sauvant, Giger-Reverdin, 2009**), est négligeable, lorsque la dMO est de l'ordre de 60%. Pour l'ensemble de nos échantillons dont la dMO est de l'ordre de 66%, elle serait surestimée en moyenne de 1,5%.

L'âge et le poids des animaux semble peu ou pas affecté la digestibilité des fourrages (**Demarquilly et Andrieu, 1987**), bien que l'on admet que le ruminant, atteint sa capacité digestive maximale à l'âge adulte. Cependant, l'effet du sexe et de la race est faible et mal connu (**Dulphy et al , 1995**).

## 2.2. Autres composants de la valeur nutritive

Comme c'était prévisible, à l'analyse de la composition chimique, le paramètre de la valeur nutritive le plus dispersé est celui des MAD (qui varient entre 14 et 206 g/kg de MS). Il en est de même des UFV (0,48 à 1,01). Un quart des fourrages ont une valeur respective en MAD et en UFV inférieure ou égale à 14g /kg MS et à 0,48 UFV/kg de MS. Ces données s'expliquent par la composante de notre échantillon qui comporte aussi bien des légumineuses en vert (riches en azote) que des pailles ou des foin de mauvaise qualité (lignifiés et pauvres en azote).

Par contre, les valeurs de l'EM sont peu dispersées (CV de 11%). Le troisième quartile indique que 75% des valeurs sont compris entre 2,2 et 2,6 Mcal/kgMS (**Tableau 28**). Les valeurs moyennes de l'EM, de l'UFL et de l'UFV pour les 71 fourrages sont respectivement de 2,4 Mcal/kg de MS ; 0,82 et 0,74.

L'ensemble des valeurs des 23 fourrages homologues de l'INRA est comparable avec un léger avantage pour les fourrages algériens : +5 ; +8 ; et +3% respectivement pour l'EM, les UFL et pour les UFV. L'avantage aurait pu être plus élevé pour l'EM donc a fortiori pour les UFL et UFV, si nous avions calculé l'EM avec un NA de 1,7 comme c'est le cas pour l'INRA France. Ce résultat laisserait envisager en moyenne pour ces 22 fourrages, une meilleure utilisation digestive par le mouton Ouled Djellal.

N°	Aliment	MS (%)	dMO (%)	MAD (g/kg MS)	EB	ED	EM (Kcal/kg MS)	ENL	ENEV	UFL	CVY
1	Féruce - cycle 2 - féruce	17,4	73,2	197	4742	3319	2680	1605	1598	934	0,83
2	Féruce - cycle 4 - féruce	20	71,7	1498	4347	2524	2158	1480	1480	938	0,83
3	Féruce - cycle 6 - débet épinasse	24,5	62,7	87,1	4686	2929	2176	1391	1391	1182	0,71
4	Rap-gens d'Italie - féruce	12,8	78,6	137,5	4708	3381	2929	1788	1834	1305	1,05
6	Rap-gens d'Italie - spg à 10 ms	16,9	74,7	162,6	4873	3337	2723	1644	1654	937	0,91
8	Rap-gens d'Italie - spg	14,0	72,7	170	4880	3231	2602	1574	1585	939	0,86
7	Rap-gens d'Italie - épinasse	14,8	75,7	184	4602	3035	2589	1536	1536	939	0,83
8	Rap-gens d'Italie - fu épinasse	16,5	69,0	77	4622	3049	2480	1479	1448	947	0,80
9	Rap-gens d'Italie - formation	24,7	64,3	58,5	4597	3826	2332	1350	1390	979	0,71
10	Arvision - maximum	16,9	72,0	134	4497	3248	2488	1585	1585	939	0,87
11	Arvision - formation	23,4	57,0	25,2	4572	3480	2647	1685	1685	949	0,89
12	Arvision - gros labrum	11,8	57,0	50	4582	2408	1964	1112	1000	645	0,52
13	Arvision - gros vites	61,0	56,0	43	4560	2441	2000	1137	1002	647	0,57
14	Orpa - féruce	12,2	78,8	169	4769	3339	2600	1578	1602	1204	0,99
15	Orpa - maximum	23,4	57,0	25,2	4490	3336	2689	1682	1682	939	0,89
16	Orpa - formation	27,0	64,9	60	4622	3868	2329	1361	1362	940	0,72
17	Orpa - gros labrum	25,0	62,0	60	4599	2728	2228	1291	1217	978	0,67
18	Orpa - gros pinon	21,2	65,8	44	4579	2790	2287	1294	1292	978	0,70
19	Sergio - au cycle - maximum	18,4	63,0	70	4628	2787	2228	1232	1238	978	0,69
20	Sergio - Le cycle - débet épinasse	19,7	61,0	50	4583	2472	2096	1270	1192	975	0,66
21	Sergio - Le cycle - épinasse	22,2	60,0	40	4572	2622	2153	1241	1198	973	0,64
22	Sergio - Le cycle - formation	23,8	59,0	38	4580	2570	2114	1214	1168	971	0,62
23	Sergio - Le cycle - gros labrum	23,9	60,0	39	4556	2639	2127	1244	1161	973	0,64
24	Sergio - Le cycle - gros pinon dur	37,0	61,0	27	4548	2632	2180	1270	1195	975	0,66
25	Sergio - 2ème cycle - épinasse	17,6	62,0	79	4612	2733	2339	1298	1222	978	0,67
26	Sergio - 2ème cycle - formation	23,8	62,0	32	4580	2710	2229	1290	1221	978	0,67
27	Sergio - 2ème cycle - débet épinasse	21,7	59,0	197	4537	2537	2077	1188	1188	979	0,69
28	Sergio - 2ème cycle - gros pinon	29,9	60,0	27	4551	2610	2148	1238	1158	973	0,64
29	Sergio - 2ème cycle - débet formation	17,6	62,0	97	4646	2733	2340	1299	1234	978	0,67
30	Licence - Le cycle - végétatif	13,8	77,0	208	4797	3331	2620	1574	1570	1000	0,84
31	Licence - Le cycle - bourgeonnement	23,9	66,0	167	4713	3440	2717	1685	1685	979	0,89
32	Licence - Le cycle - débet formation	24,5	62,0	167	4739	2838	2251	1300	1268	978	0,67
33	Licence - Le cycle - grosas	20,3	58,0	123	4673	2291	2086	1190	1087	979	0,60
34	Licence - 2ème cycle - débet formation	23,8	65,0	172	4751	2952	2360	1275	1308	981	0,72
35	Licence - 2ème cycle - végétatif	22,6	63,0	142	4702	3142	2527	1338	1382	973	0,65
36	Licence - 2ème cycle - fu formation	21,2	59,0	124	4497	2637	2139	1212	1154	971	0,61
37	Licence - 2ème cycle - bourgeonnement	23,4	67,0	166	4783	3088	2447	1434	1379	984	0,76
38	Licence - 2ème cycle - débet formation	23,8	65,0	189	4749	2880	2388	1323	1348	978	0,68
39	Licence - 2ème cycle - formation	23,9	66,0	127	4688	2900	2300	1318	1389	979	0,70
40	Licence - 2ème cycle - végétatif	18,8	69,5	202,5	4797	3187	2552	1496	1498	980	0,80

MS : matière sèche ; dMO : digestibilité de la matière organique ; MAD : matière azotée digestible ; EB : énergie brute ; ED : énergie digestible ; EM : énergie métabolisable ; ENL : énergie nette lat ; ENEV : énergie nette viciée ; UFL : unité fourragère lat ; CVY : unité fourragère viciée ; IQ : la première qualité ; IQ2 : deuxième qualité ; Min et Max : minimum et maximum ; ATR : atout type relatif ; CV : coefficient de variation.

**Tableau 28. Valeur énergétique et azotée des fourrages algériens**

N°	Aliment	MS (%)	dMO (%)	MAD (g/kg MS)	EB	ED	EM (Kcal/kg MS)	ENL	ENEV	UFL	CVY
41	Licence - 4ème cycle - bourgeonnement	22,7	67,0	190	4779	2970	2362	1374	1397	981	0,72
42	Licence - 4ème cycle - débet formation	23,1	62,0	187	4748	2787	2312	1272	1302	975	0,65
43	Licence - 4ème cycle - végétatif	18,4	70,5	202,5	4784	3131	2572	1492	1492	980	0,80
44	Treffe d'Alger - Le cycle - végétatif	13,7	77,1	194,5	4731	3488	2831	1718	1740	1011	0,96
45	Treffe d'Alger - Le cycle - bourgeonnement	13,8	76,0	160	4735	3440	2774	1715	1689	999	0,93
46	Treffe d'Alger - Le cycle - débet formation	13,4	69,0	140	4702	3102	2312	1404	1449	987	0,80
47	Treffe d'Alger - 2ème cycle - formation	16,9	66,0	133	4603	2800	2127	1248	1262	979	0,70
48	Treffe d'Alger - 2ème cycle - végétatif	17,6	74,7	162,8	4742	3387	2732	1640	1647	997	0,90
49	Treffe d'Alger - 2ème cycle - bourgeonnement	13,4	72,1	172	4754	3413	2742	1683	1652	997	0,91
50	Treffe d'Alger - 2ème cycle - débet formation	14,7	71,0	140	4711	3198	2383	1358	1354	999	0,80
51	Treffe d'Alger - 2ème cycle - formation	15,6	66,0	125	4688	2918	2308	1348	1342	974	0,74
52	Treffe d'Alger - 2ème cycle - végétatif	13,7	77,5	170	4754	3332	2832	1717	1740	1011	0,96
53	Treffe d'Alger - 2ème cycle - formation	16,2	65,0	139	4682	2909	2352	1375	1352	981	0,72
54	Treffe d'Alger - 2ème cycle - débet formation	14,8	72,2	173	4760	3424	2791	1655	1661	997	0,91
55	Treffe d'Alger - 2ème cycle - formation	18,7	64,0	107	4673	2919	2322	1342	1378	979	0,70
56	Treffe d'Alger - 2ème cycle - végétatif	13,4	75,0	171	4764	3418	2740	1647	1655	997	0,91
57	Treffe d'Alger - 2ème cycle - débet formation	20,3	63,0	134	4730	2832	2391	1329	1325	978	0,69
58	Vaccorville - végétatif - féruce	13,1	77,0	139	4691	3453	2848	1710	1710	1011	0,95
59	Vaccorville - végétatif - maximum	18,1	70,0	92	4664	3100	2718	1658	1648	1004	0,90
60	Vaccorville - débet formation - épinasse	16,6	71,0	97	4635	3148	2559	1525	1528	990	0,80
61	Vaccorville - épinasse - formation	19,6	68,0	70	4607	2660	2440	1440	1440	982	0,77
62	Vaccorville - formation - grosas - formation grosas	23,2	62,0	26	4588	2718	2128	1288	1312	978	0,67
63	Vaccorville - grosas - labrum - gros labrum	20,3	64,0	61	4588	2814	2300	1342	1388	979	0,70
64	Vaccorville - grosas - pinon - gros pinon dur	25,6	62,0	90	4641	2884	2348	1375	1352	981	0,72
65	Pois - épinasse	21,6	69,3	91,5	4659	3081	2510	1488	1459	983	0,80
66	Pois de labrum	58,5	61,5	118,3	4691	2797	2217	1278	1284	975	0,66
67	Pois de vicié - maximum	25,2	66,0	115	4588	2930	2388	1358	1388	979	0,80
68	Licence débet formation	20,2	62,0	118	4740	2931	2351	1361	1358	989	0,78
69	Paille de blé	82,1	53,8	14,6	4527	2198	1600	1006	877	659	0,48
70	Paille de blé à l'humidité	88,6	51,8	23,2	4572	2280	1840	1000	890	661	0,50
71	Paille de blé à l'azote	81,2	52,0	16,1	4659	2342	1875	1055	920	682	0,52
	N	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
	Moyenne	25,4	65,8	118,2	4668	2940	2380	1389	1348	982	0,74
	IQ	18,2	61,0	63,0	4697	2472	2196	1279	1302	878	0,66
	IQ2	27,8	73,8	102,8	4798	3121	2580	1588	1614	1009	0,83
	Minimum	12,2	68,8	13,7	4627	2198	1900	1096	877	649	0,48
	Maximum	92,4	79,8	296,8	4797	3439	2919	1786	1834	1081	0,91
	Erreur type	28,7	71	83,8	76,8	348,7	274,1	139,6	208,2	82,1	0,23
	CV (%)	76,8	108,8	168,8	1,8	13,8	13,2	13,5	17,2	12,8	17,8

MS : matière sèche ; dMO : digestibilité de la matière organique ; MAD : matière azotée digestible ; EB : énergie brute ; ED : énergie digestible ; EM : énergie métabolisable ; ENL : énergie nette lat ; ENEV : énergie nette viciée ; UFL : unité fourragère lat ; CVY : unité fourragère viciée ; IQ : la première qualité ; IQ2 : deuxième qualité ; Min et Max : minimum et maximum ; ATR : atout type relatif ; CV : coefficient de variation.

Tableau 28. Valeur énergétique et azotée des fourrages algériens

### 3. Modèles de prédiction de la valeur énergétique et azotée

#### 3.1. Modèles de prédiction de la dMO

Des composants chimiques : CB ; NDF ; ADF ; MM et MAT (seuls ou en association), considérés comme variables prédictives, il en résulte 9 combinaisons dont le R<sup>2</sup> approche ou dépasse 0,70 (**Tableau 29**).

Variables explicatives	Expression	Equations	N°	R <sup>2</sup>	P <	ETR	n
CB	g/100g MS	dMO = -1,14CB+99,18	1	0,70	0,001	3,92	71
CB ; MM	-	dMO = - 0,8597CB+1,1514 MM+79,06	2	0,77	0,001	3,42	71
CB ; MAT	-	dMO = -1,04CB+0,136MAT+94,20	3	0,70	0,001	3,91	71
NDF	-	dMO = -1,0118NDF+125,94	4	0,65	0,001	3,94	71
ADF	-	dMO = -1,198ADF+103,87	5	0,75	0,001	3,33	71
NDF ; MM	-	dMO = - 0,7594NDF+1,168MM+98,87	6	0,67	0,001	3,43	71
ADF ; MM	-	dMO = - 0,90ADF+1,177MM+82,25	7	0,79	0,001	3,24	71
NDF ; MAT	-	dMO = -0,9132NDF+0,0154MAT+117,77	8	0,71	0,001	3,91	71
ADF ; MAT	-	dMO = -1,0939ADF+0,0136MAT+98,51	9	0,73	0,001	3,91	71

Tableau 29. Modèles de prédiction de la digestibilité de la matière organique (%)

La CB et les MAT sont respectivement en corrélation négative et positive avec la dMO. Ce résultat est classique (**Demarquilly et Jarrige, 1981 ; Assoumaya, 2007**). Dans ce travail, la CB à elle seule explique 70% des variations de la dMO (**équation 1**). La précision, exprimée par l'ETR est acceptable, elle est comparable à celle donnée dans la littérature pour des modèles similaires (entre 3 et 4 points pour **INRA, 2007**). Elle est également du même ordre de grandeur que celle obtenue habituellement lors des mesures sur animaux : environ 3 points (**Sauvant et al , 2005**).

L'introduction dans le modèle 1 du composant matières minérales améliore R<sup>2</sup> de 10% (**équation 2**) et la précision de 13%. Cette corrélation positive de la dMO avec les matières minérales n'est pas étonnante. Les cendres n'apportent pas certes, directement de l'énergie mais, elles contiennent des minéraux qui sont des puissants activateurs de l'activité microbienne dans le rumen donc de la dMO (**Morales et Dehority, 2009**). Néanmoins, les cendres, par crainte de leur souillure par de la terre lors de la récolte des fourrages, sont rarement introduites dans les modèles de prédiction.

Les MAT prédisent nettement moins bien la dMO. Elles en expliquent moins de 40% des variations avec une précision de l'ordre de 6 points. Les résultats classiques de l'INRA bien qu'assez variables, montrent une meilleure prédiction de la dMO par les MAT (R<sup>2</sup> de l'ordre de 0,60 à 0,75). En effet, les MAT plus que la CB, dépendent de la fertilisation azotée du sol (notamment dans le cas des graminées) ; mais leur action est plus faible sur la dMO que la CB (**Andrieu et Weiss, 1981**). Cette action limitée est probablement accrue dans un système fourrager où la fertilisation azotée est hétéroclite comme c'est le cas en Algérie. Par ailleurs, la liaison MAT-dMO dans un groupe de fourrages de même espèce est meilleure (**Andrieu et Weiss, 1981**) que pour un groupe de fourrages rassemblant des espèces différentes en cycles et en stades, ce qui est notre cas. De même, l'impact de l'azote sur la digestibilité de la MO n'est plus significatif à partir d'une teneur du fourrage de 15% en cet élément (**Demarquilly et Jarrige, 1981**). Or, la moitié de notre échantillon a une teneur en azote de 15%. Dans ces conditions, l'introduction des MAT dans l'**équation 3** n'améliore dans ce travail, ni la précision, ni R<sup>2</sup> (**tableau 29**).

La fraction ADF est le composant le mieux corrélé avec la dMO (équation 5). A lui seul, il en explique 75% des variations (7% de plus que la CB) et apporte une précision de 3,3 points (15% de mieux que la CB). Néanmoins, tout comme la CB, associé aux MAT (équation 9) le modèle n'améliore ni le  $R^2$  ni l'ETR tandis que les MM associées à ADF (équation 7), fait passer le  $R^2$  de 0,75 à 0,79.

La meilleure prestation de ADF n'est pas étonnante, la lignine est fondamentalement le facteur originel de l'indigestibilité des parois (Demarquilly et Jarrige, 1981 ; Ramirez et al , 2004), il est normal qu'elle permet de mieux prédire la digestibilité que la CB. ADF contient en effet deux fois plus de lignine (15%) que la CB (7,5%). Par ailleurs, il est indiqué (Demarquilly et Jarrige, 1981) que la supériorité de la lignine sur la CB est maximale, lorsqu'elle est appliquée à des fourrages d'espèces et de cycles différents, ce qui est le cas de notre échantillon.

### 3.2. Modèles de prédiction des UFL, UFV et de l'énergie métabolisable

Variables explicatives	Expression	Equations	N°	R <sup>2</sup>	P<	ETR	N
MAT	g/100g de MS	UFL=0,0012MAT+0,648	10	0,37	0,001	0,09	71
CB	-	UFL = -0,0018CB+1,3585	11	0,74	0,001	0,06	71
CB ; MM	-	UFL = -0,0014CB+0,0018MM+1,0427	12	0,79	0,001	0,05	71
CB ; MAT	-	UFL = 0,0002MAT-0,0017CB+1,281	13	0,72	0,001	0,06	71
NDF	-	UFL= -0,0162NDF+1,7871	14	0,69	0,001	0,06	71
ADF	-	UFL= -0,0192ADF+1,4333	15	0,76	0,001	0,06	71
NDF ; MM	-	UFL= -0,0123NDF+0,0183MM+1,3627	16	0,68	0,001	0,05	71
ADF ; MM	-	UFL= -0,0146ADF+0,0184MM+1,0943	17	0,80	0,001	0,05	71
NDF ; MAT	-	UFL= -0,0147NDF+0,0002MAT+1,6584	18	0,65	0,001	0,06	71
ADF ; MAT	-	UFL= -0,0176ADF+0,0002MAT+1,3493	19	0,74	0,001	0,06	71
MAT	-	UFV= 0,0013MAT+0,5467	20	0,35	0,001	0,10	71
CB	-	UFV= -0,0021CB+1,350	21	0,75	0,001	0,07	71
CB ; MM	-	UFV = -0,0016CB + 0,0021MM + 0,9763	22	0,79	0,001	0,06	71
CB ; MAT	-	UFV= -0,0019CB+0,002MAT+1,280	23	0,71	0,001	0,07	71
NDF	-	UFV= -0,0185NDF+1,8383	24	0,70	0,001	0,07	71
ADF	-	UFV= -0,0219ADF+1,4349	25	0,77	0,001	0,06	71
NDF ; MM	-	UFV= -0,0138NDF+0,0216MM+1,3371	26	0,71	0,001	0,06	71
ADF ; MM	-	UFV= -0,0163ADF+0,0218MM+1,0339	27	0,80	0,001	0,05	71
NDF ; MAT	-	UFV= -0,017NDF+0,0002MAT+1,7178	28	0,67	0,001	0,07	71
ADF ; MAT	-	UFV= -0,0204ADF+0,0002MAT+1,3582	29	0,71	0,001	0,07	71
dMO	%	EM=38,4745dMO-149,4676	30	0,98	0,001	10,8	71
MAD	-	EM=3,3423MAD+2014,613	31	0,43	0,001	208,4	71

Tableau 30. Modèles de prédiction des UFL, UFV et de l'énergie métabolisable

Les effets, la hiérarchie et la nature des composants chimiques et leurs associations, observés dans la formations des équations de prédiction de la dMO sont les mêmes que ceux enregistrés pour la prédiction des UFL et des UFV des fourrages (**Tableau 30**) à savoir : ADF et CB, meilleurs prédicateurs seuls (**équations 11 ; 21 ; 15 et 25**) ; amélioration de la prédiction avec l'introduction des cendres dans les modèles (équations 12 ; 17 ; 22 et 27). Ces résultats sont logiques, la dMO est le facteur essentiel de la valeur énergétique des fourrages.

Quant à l'EM, elle est particulièrement bien prédite par la dMO seule qui explique 98% de ses variations. Sa prédiction par les MAD trouve naturellement, les mêmes limites et difficultés que pour la prédiction de ladMO.

### 3.3. Prédiction des matières azotées digestibles

Les MAT sont les composants universels utilisés par les auteurs pour prédire la valeur en MAD des fourrages. En effet, elles expliquent toujours plus de 90% des variations de la teneur en MAD des fourrages (**INRA, 1978, 1989**). Nos résultats sont en lignes avec ceux de la littérature en utilisant MAT seules, mais sans conséquences significatives (**équations 32 et 33**) en association avec la CB.

$$\text{MAD}=8,824\text{MAT}-22,43 ; (R^2=0,94; \text{ETR}=12,76; P<0,0001) \text{ (32)}$$

$$\text{MAD}=0,8319\text{MAT}-0,089\text{CB}+11,3056 ; (R^2=0,95; \text{ETR}=12,34; P<0,0001) \text{ (33)}$$

Néanmoins, la précision de ces modèles est plus faible (12 points de MAD) que celle donnée par **L'INRA (1978)**, 6 points pour des fourrages de même espèce, elle est expliquée par la dispersion de la teneur en azote de notre échantillon de fourrages (4 à 25% de la MS).

## Conclusion

---

L'échantillon étudié présente une gamme de fourrages très représentatifs de la diversité rencontrée et de ce qui est consommé par les animaux en Algérie. Néanmoins, les plus utilisés par les éleveurs dans le pays sont situés dans le premier quartile ayant une digestibilité de la matière organique ne dépassant pas 65%.

Bien que moins usités dans la littérature, les modèles « toutes espèces » dans notre cas ont donné des résultats de  $R^2$  et de précision comparables et parfois meilleurs que ceux proposés dans la littérature pour des espèces seules. La cellulose brute et le complexe cellulose-lignine (ADF) ont été les meilleurs prédicteurs pour la digestibilité de la matière organique et pour les UF lait et viande. Quant à l'azote, exprimé en matières azotées digestibles, la prédiction par la teneur en azote des fourrages est bonne. Les modèles que nous retenons pour une prédiction de routine sont présentés en **tableau 31**.

Variables explicatives (g/100g MS)	Equations	N°	R <sup>2</sup>	P <	ETR	n
CB	dMO = -1,14CB+99,18	1	0,70	0,001	3,92	71
CB ; MM	dMO = -0,8597CB+ 1,1514 MM+79,06	2	0,77	0,001	3,42	71
ADF	dMO = -1,198ADF+103,87	5	0,75	0,001	3,33	71
ADF ; MM	dMO = -0,90ADF+1,177MM+82,25	7	0,79	0,001	3,24	71
CB	UFL = -0,0018CB+1,3585	11	0,74	0,001	0,06	71
CB ; MM	UFL = -0,0014CB+0,0018MM+1,0427	12	0,79	0,001	0,05	71
ADF	UFL= -0,0192ADF+1,4333	15	0,76	0,001	0,06	71
ADF ; MM	UFL= -0,0146ADF+0,0184MM+1,0943	17	0,80	0,001	0,05	71
CB	UFV= -0,0021CB+1,350	21	0,75	0,001	0,07	71
CB ; MM	UFV = -0,0016CB + 0,0021MM + 0,9763	22	0,79	0,001	0,06	71
ADF	UFV= -0,0219ADF+1,4349	25	0,77	0,001	0,06	71
ADF ; MM	UFV= -0,0163ADF+0,0218MM+1,0339	27	0,79	0,001	0,05	71
MAT	MAD = 8,824MAT-22,43	32	0,94	0,001	12,8	71

Tableau 31. Modèles de prédiction retenus pour une prédiction de routine

Sur la base du R<sup>2</sup> et de l'ETR, ces équations sont comparables et parfois supérieures à celles notamment de l'INRA France, utilisées couramment pour prédire la digestibilité de la matière organique, des UF lait et viande ainsi que des matières azotées digestibles. Nous les préconisons pour calculer la valeur énergétique des fourrages algériens. Il convient néanmoins de ne pas utiliser les modèles incluant les matières minérales si on n'est pas certain que l'échantillon n'ai pas été souillé par de la terre.

## Chapitre 7. Les fourrages du groupe 3

Ce groupe compte 20 fourrages renseignés sur tous les paramètres chimiques et nutritionnels du groupe de fourrages 1 auquel s'y ajoutent, la quantité de matière sèche ingérée et le niveau alimentaire. Les composants chimiques, la digestibilité de la matière organique et le niveau alimentaire, de ce groupe 3 de fourrages sont utilisés dans ce travail, comme variables prédictives pour modéliser, les quantités ingérées chez le ruminant.

### 1. Considérations générales sur l'ingestibilité des fourrages

Depuis plus d'un siècle, avec le début de l'industrialisation de l'élevage, une attention toute particulière est sans cesse donnée à la connaissance des facteurs qui déterminent sa

rentabilité (**Crampton, 1957**). Parmi ces facteurs, la quantité de matière sèche ingérée (QMSI), vecteur des quantités d'éléments nutritifs absorbés par le ruminant lorsqu'il reçoit un fourrage à volonté est le plus important, elle détermine les performances que l'animal peut réaliser (**Demarquilly et al , 1981 ; Mc Meniman et al , 2009**). Sa connaissance est indispensable notamment pour les femelles en lactation (**Faverdin 1992 ; Ellis et al , 2006**) afin d'établir des rations à moindre coût, adaptées aux besoins des animaux. Par ailleurs, dans les pays du Sud, la QMSI est souvent le facteur limitant des productions (**Assoumaya et al , 2007**). Elle dépend pour un animal donné, des caractéristiques du fourrage, qui déterminent son ingestibilité, et des caractéristiques de l'animal qui déterminent sa capacité d'ingestion.

Ces deux paramètres sont régulés par des mécanismes à court et long termes qui dépendent de l'état de l'animal, ses besoins et l'état de ces réserves corporelles. Cependant, si la capacité d'ingestion est déterminée par des mécanismes de contrôle à long terme, l'ingestibilité dépend en revanche des mécanismes à court terme intégrant le processus de rassasiement dans lequel interviennent des signaux physiques (encombrement du rumen), des signaux chimiques (produits terminaux de la digestion) et la motivation à ingérer qui est plus ou moins stimulée par les qualités sensorielles du fourrage (**Andrieu et Baumont, 2000**).

Les quantités de matières sèches qu'un ruminant peut ingérer, sont donc fonction d'un bon nombre de facteurs, qu'on peut catégoriser en facteurs liés aux fourrages, à l'animal et à l'environnement.

### 1.1.Facteurs liés aux fourrages

L'ingestibilité des fourrages dépend fondamentalement de l'importance et la structure des parois indigestibles et de l'importance et de la nature du contenu cellulaire. Ces caractéristiques dépendent de la famille, de l'espèce végétale et surtout la composition morphologiques, c'est-à-dire du stade de végétation et de l'âge. Elles sont en gros les mêmes que celles qui conditionnent la digestibilité (**Damarquilly et al , 1981**).

A même digestibilité, les légumineuses sont nettement plus ingestibles que les graminées, en raison de leur temps de dégradation sur des temps courts. L'étude d'**Andrieu et Baumont (2000)**, illustre bien cette constatation. Avec une digestibilité de 72% pour une luzerne et une féтуque, leur pouvoir encombrant au bout de 12 h est de 36% et 47% respectivement. L'ingestibilité augmente avec la teneur en matières azotées, mais cela est différent d'une espèce à une autre (**Demarquilly et Andrieu, 1992**). En revanche, elle diminue quand la teneur en CB et en paroi augmente (**Van Soest, 1965**). Alors que l'année, le lieu de culture et la variété ont peu d'influence sur une espèce à un stade donné du premier cycle. Quand à la fertilisation azotée, elle modifie peu ou pas l'ingestibilité (**Peyraud et Astigarraga, 1998**).

La fenaison entraîne aussi une diminution de l'ingestibilité qui suit celle de la digestibilité, ceci s'explique par les pertes subies par la respiration, le lessivage et la perte de feuilles. Ainsi, que la baisse d'appétibilité du foin lors de développement de moisissures si les conditions de fanages ne sont pas respectées (**Damarquilly et al , 1981**).

### 1.2.Facteurs liés à l'animal

La capacité d'ingestion des animaux dépend de plusieurs facteurs, tel : l'espèce, le génotype, le poids, le sexe, l'état d'engraissement, l'état physiologique et le type de production (lait ou viande). Ainsi que d'autres facteurs indépendants de l'aliment : la santé,

le bien-être et l'environnement (**Beranger et Micol, 1980**). Ces variations s'expliquent avant tout par des besoins différents (**Dulphy et al , 1995**).

Dans un lot d'animaux comparables, il existe des variations notables des quantités ingérées, même corrigées par rapport au poids métabolique ou au poids vif, et des variations encore plus élevées des caractéristiques du comportement alimentaire.

Les brebis taries ont la même capacité d'ingestion qu'un mouton standard, mais cette capacité est multipliée par 1,75 et 1,40 respectivement pour des brebis en début de lactation et en fin de lactation, et ce constat est valable pour toute espèce confondue, c'est-à-dire que la capacité d'ingestion des animaux augmente avec leurs besoins (**Dulphy et al , 1994**).

### 1.3. Facteurs liés à l'environnement

La température est un facteur essentiel affectant l'ingestion d'un fourrage. En effet, lorsque l'animal se trouve dans la zone de neutralité thermique, l'ingestion volontaire est peu affectée. Par contre, au delà de cette zone, l'ingestion peut être très variable. Dans des conditions de basses températures, l'animal produit plus de chaleur pour maintenir sa température constante, en dépensant plus d'énergie et cela en ingérant plus (**Chermi et al , 1991**). Dans le cas de fortes températures, l'effet inverse se produit, tel est le cas dans la majorité des pays de la rive Sud de la méditerranée. Quand à l'humidité son effet est peu important (**Caja et al , 1997**). De même, ces auteurs rapportent que dans les conditions méditerranéennes, la photopériode et la température ambiante ont peu d'influence sur l'ingestion volontaire des moutons, et qu'il n'était pas nécessaire de corriger les consommations alimentaires dans les conditions pratiques habituelles contenues dans les limites de la zone de thermoneutralité des ovins (4 à 27°C).

**Michalet-Doreau et Gatel (1983, 1988)**, rapportent que les quantités volontairement ingérées des fourrages variaient dans le même sens que la longueur du jour. Ainsi, l'ingestion s'accroît avec l'allongement de la durée d'éclairement chez les ovins quelque soit leur catégorie (jeunes, adultes ou mâles castrés). Toutefois, les auteurs ne sont pas unanimes pour confirmer l'effet de la durée d'éclairement sur l'ingestion, du fait que les essais montrent une grande disparité, ce qui ne permet pas de chiffrer avec précision l'importance de la réponse de l'animal aux variations de durée d'éclairement.

## 2. Estimation de l'ingestibilité

Plus que pour l'étude de la digestion, la mesure directement sur l'animal de la QMSI est longue, coûteuse et nécessite une grande quantité de fourrage ce qui limite sa détermination en routine (**Karsli et Russel 2002**). Sa prédiction par des méthodes indirectes plus faciles et moins coûteuses à mettre en œuvre est l'outil développé depuis quelques décennies par les chercheurs. Globalement, ces méthodes sont les mêmes que celles préconisées pour prédire la digestibilité de la matière organique (du fait d'une relation étroite entre dMO et QMSI) : chimique, biologique (digestibilité in vitro, sachets en nylon, gaz test) et physique (spectrométrie proche infra rouge). Elles consistent à quantifier les principales variables qui régulent la prise alimentaire chez l'animal que l'on tente d'ajuster à des modèles mathématiques (**Journet et al, 1965 ; Faverdin, 1992 ; Dulphy et Demarquilly, 1994 ; Pittroff et Kothmann, 2001b ; Mc Meniman et al, 2009**).

**Lønne Ingvarsen (1994)** a dénombré 31 variables liées à l'animal ; parmi les plus utilisées : l'espèce, la catégorie animale, le sexe, la race, le poids vif, l'âge, l'état de gestation, le numéro et le stade de lactation, le niveau de performances, naissances simples

ou multiples, l'état de santé de l'animal ; 30 liées aux caractéristiques du fourrage parmi lesquelles : l'âge de la plante, la composition chimique, la digestibilité, les profils de dégradation dans le rumen, le taux de passage, la forme physique du fourrage, la nature et la qualité de la conservation, la palabilité, la teneur en matière sèche. Des facteurs de gestion du système d'élevage tels que, le temps d'accès à la nourriture, le mode et la fréquence de distribution de l'aliment, l'utilisation d'additifs alimentaires sont également retenus tout comme des facteurs environnementaux : la photopériode et la température. Par ailleurs, depuis une décennie, d'autres variables liées à la protection de l'environnement comme le rejet de CO<sub>2</sub> ou de CH<sub>4</sub> par le ruminant suscitent de l'intérêt (Yearsley et al, 2001 ; Sauvant et Giger-Reverdin, 2009). L'annexe 14 résume les principales équations utilisées pour la prédiction des quantités ingérées. Il est clair que la QMSI déterminée dans les conditions des pays du Nord ne peut être transférée sans précautions préalables dans les pays du Sud. En Algérie, où l'élevage se modernise, aucun modèle de prédiction de l'ingestibilité des fourrages n'est établi.

### 3. Composition chimique, ingestibilité et niveau alimentaire des fourrages du groupe 3

---

L'échantillon est composé de 30% de fourrages verts, 50% de foin et de 20% de paille. De ce fait, une forte dispersion des composants chimiques est observée. Pour la MS et les MAT les teneurs minimales et maximales sont respectivement de 12 à 93,7% et de 4 à 20% (tableau 32). L'étude des quartiles montre que 25% de l'échantillon a une teneur en MAT inférieure ou égale à 10,4% et 75% (15 fourrages), une teneur comprise entre 10,4 et 20,0%. La composition de l'échantillon avec deux tiers de foin et de paille, est représentative des fourrages consommés par le bétail dans le pays. De même, il est globalement en ligne tant sur le plan de la composition chimique : NDF et MAT (moyenne respective de 59,3 et 12,9%,) contre 15 et 59% pour la base de données (Chibani et al, 2010) de laquelle il est extrait, que de la DMO : 62,2% contre 66% respectivement. La QMSI passe d'un facteur 1 pour la paille de blé non traitée (44 g/kgP<sup>0,75</sup>) à un facteur de 2,16 (95 g/kgP<sup>0,75</sup>) pour le bersim cycle 1. La moyenne de l'échantillon est de 60 g/ kg P<sup>0,75</sup>. Bien que la taille de notre échantillon soit trop faible pour une comparaison robuste, sur la base des valeurs de Demarquilly et al, 1981, la QMSI de fourrages verts ingérée par nos moutons est en moyenne plus faible que celle observée en France (70 g contre 74 g/kg P<sup>0,75</sup>) mais supérieure pour le foin (61 g contre 58) et surtout pour la paille, 44 g contre 36 g/kg P<sup>0,75</sup>. Nos moutons locaux consommeraient par kgP<sup>0,75</sup> plus de fourrages de qualité médiocre à moyenne que ceux des pays européens, notamment la France.

N°	Fourrages	MS (%)	MM	MO	MAT	CB	NDF	ADF	dMO %	QMSI (g/ kg P <sup>0,75</sup> )	NA
1	Bersim , végétatif, C1	12,0	18,0	82,0	19,0	19,3	48	16,5	74,8	69,7	1,88
2	Bersim, végétatif, C1 (30 cm), vert	16,5	11,9	88,1	18,4	15,5	43,7	18,7	76,5	95,4	2,36
3	Bersim, végétatif, C1 (68,5 cm) vert	20,4	9,8	90,2	17,6	23,4	52,7	26,2	70,8	78,7	2,19
4	Ray Gras d'Italie, C1, feuillu	13,4	9,8	90,2	13,0	24,4	54,3	23,4	74,4	58,1	1,7
5	Ray Gras d'Italie, C1, épi à 10 cm en vert	15,3	10,2	89,8	10,6	28,5	55,5	24,4	70,4	59,8	1,64
6	Pois-avoine en vert	22,3	10,0	90,0	13,8	26,3	56	29	70,5	50,1	1,4
7	Foin ray gras d'Italie, épi à 10 cm	86,1	16,5	83,5	20	15	44,5	27,7	72,2	57,3	1,5
8	Foin ray-gras d'Italie, début épiaison	90,7	14,3	85,7	16,1	22,3	51,4	26	65,2	54,6	1,33
9	Foin Ray Gras d'Italie, floraison	86,8	13,4	86,6	10,8	28,1	58	30,7	61,2	51,6	1,19
10	Foin luzerne, C1, début floraison	85,1	12,2	87,8	17,7	24,6	54	27,4	62	63,4	1,5
11	Foin luzerne, fin bourgeonnement	89,9	12,9	87,1	16,6	34,4	65,2	36,7	60,8	66,2	1,52
12	Foin vesce-avoine	91,1	7,7	92,3	5,7	38,5	69,9	40,6	58,3	49,8	1,16
13	Foin de luzerne, 4ème cycle, floraison	85,3	9,5	90,4	14,0	29,8	60,1	32,3	63,0	75,3	1,85
14	Foin d'avoine, épiaison	87,0	9,4	90,5	9,0	32,6	63,2	35,0	55,2	55,8	1,31
15	Foin de vesce-avoine, gousse-épiaison	86,9	8,1	91,9	13,9	29,9	60,1	32,3	52,3	62,7	1,59
16	Foin d'orge, épiaison	86,9	8,6	91,3	13,1	30,3	60,6	32,8	57,1	62,1	1,56
17	Paille de blé non traitée	90,0	7,0	93,5	4,0	43,9	76	45,7	47,7	43,7	0,85
18	Paille d'orge non traitée	93,7	13,1	86,8	4,2	40,1	60,3	38,6	49,8	45,4	0,85
19	Paille de blé traitée à l'urée	84,7	7,2	86,2	12,0	43,6	75,8	45,4	51,2	56,4	1,08
20	Paille de blé traitée à l'ammoniac	87,9	5,4	94,6	10,1	44,4	76,7	40,4	52,2	53,7	1,15
	Moyenne	66,60	10,75	88,93	12,98	29,75	59,30	31,49	62,28	60,49	1,48
	1Q	21,83	8,48	86,75	10,48	24,15	53,68	26,15	54,48	53,18	1,18
	3Q	88,40	12,95	90,70	16,85	35,43	63,70	37,18	70,58	64,10	1,66
	Minimum	12,00	5,40	82,00	4,00	15,00	43,70	16,50	47,70	43,70	0,85
	Maximum	93,70	18,00	94,60	20,00	44,40	76,70	45,70	76,50	95,40	2,36
	Ecart-type	33,68	3,25	3,24	4,76	8,94	9,72	8,11	9,20	12,25	0,40
	CV (%)	50,58	30,26	3,64	36,66	30,04	16,40	25,77	14,77	20,25	26,74

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; NDF : neutral detergent fibre ; ADF : acid detergent fibre ; dMO : digestibilité de la matière organique ; QMSI : quantité matière sèche ingérée ; NA : niveau alimentaire ; 1Q : premier quartile ; 3Q : troisième quartile ; ETR : écart-type résiduel ; CV : coefficient de variation ; P<sup>0,75</sup> : poids métabolique ; C1 : cycle 1.

Tableau 32. Présentation des fourrages sources de l'établissement des modèles de prédiction de l'ingestion

Le NA varie de 0,85 (paille de blé non traitée) à 2,36 (bersim, cycle 1) logiquement en liaison avec la QMSI (Tableau 33). La paille de blé ou d'orge distribuée seule, ne couvrirait donc pas les besoins d'entretien du mouton standard de 50 kg. Mais traitée à l'urée ou à l'ammoniac, elle génère un NA de 1,12 en moyenne, valeur comparable à celle d'un foin de vesce-avoine traditionnel (1,16).

#### 4. Equations de prédiction de l'ingestibilité

En combinant les variables explicatives, 23 équations ont pu être établies, elles apparaissent dans le tableau 33.

Variable Prédite g/kgP <sup>0,75</sup>	Variables explicatives (g/100gMS) sauf NA	Equations	N°	R <sup>2</sup>	P	ETR
MSI	MAT	MSI= 1,7496MAT+36,698	1	0,46	0,0009	9,19
MSI	CB	MSI= - 0,7891CB+83,964	2	0,33	0,007	10,28
MSI	MM	MSI= 0,712MM+52,835	3	0,03	0,424	12,35
MSI	NDF	MSI= - 0,664NDF+99,885	4	0,27	0,016	10,69
MSI	ADF	MSI= - 0,8975ADF+88,753	5	0,35	0,005	10,11
MSI	MS	MSI= - 0,1712MS+71,89	6	0,22	0,036	11,10
MSI	dMO	MSI= 0,7471dMO-13,960	7	0,31	0,01	10,41
MSI	NA	MSI=28,631NA+18,101	8	0,85	0,000	4,76
MSI	MAT x MM	MSI= - 1,0085MM+1,593MAT+43,605	9	0,51	0,002	9,01
MSI	CB x MAT	MSI= - 0,108CB+1,349MAT+43,026	10	0,46	0,004	9,44
MSI	ADF x MAT	MSI= - 0,337ADF-1,349MAT+53,5902	11	0,49	0,003	9,24
MSI	CB x dMO	MSI= - 0,493CB+0,329dMO+54,642	12	0,34	0,02	10,46
MSI	MAT x dMO	MSI= 0,217dMO-1,461MAT+27,956	13	0,47	0,003	9,34
MSI	MS x MAT x CB	MSI= - 0,101MS+1,706MAT-0,145CB + 40,809	14	0,52	0,006	9,21
MSI	ADF x MM x MAT	MSI= - 0,633ADF-1,549MM+1,753MAT-76,678	15	0,58	0,002	8,55
MSI	NA xMS	MSI= 0,097MS+34,186NA+3,377	16	0,89	0,000	4,17
MSI	NA xMAT	MSI=28,892NA-0,002MAT+18,094	17	0,89	0,000	4,90
MSI	NA xMM	MSI=29,041NA-0,194MM+19,583	18	0,85	0,000	4,86
MSI	NAx CB	MSI= 34,387NA+0,343CB-0,623	19	0,88	0,000	4,40
MSI	NA xADF	MSI=36,425NA+0,487ADF-8,797	20	0,89	0,000	4,14
MSI	NAxMAT x ADF	MSI=36,064NA+0,232MAT+0,532ADF-11,225	21	0,90	0,000	4,20
MSI	NAxMSxMM	MSI= - 0,174MM+0,097MS+34,524NA+ 4,794	22	0,89	0,000	4,25
MSI	NAxMAT x CB	MSI=32,495NA+0,4819MAT+0,486CB-8,353	23	0,89	0,000	4,31

Tableau 33. Equations de prédiction de la MSI (g/kgP<sup>0,75</sup>) (n=20)

Une première série de régressions simples (**1 à 6**), utilise comme variable explicative de la QMSI, chaque composant chimique dosé des fourrages. Le R<sup>2</sup> et la précision (jugée par l'écart type résiduel) s'établissent en moyenne respectivement à 0,27 (0 avec les MM à 0,46 avec les MAT) et à 10,6 g/kgP<sup>0,75</sup> de MS (9,19 avec les MAT à 12,3 avec les MM).

La dMO n'est pas meilleure comme variable explicative, R<sup>2</sup> = 0,31 ; précision de 10,4 g. La part expliquée de la QMSI par la teneur en MS des fourrages est de 22% proche à celle de NDF (27%), mais inférieure à celle de la CB (33%).

En associant ADF, CB, MAT, MM, MS et dMO dans des régressions multiples, nous obtenons une deuxième série d'équations (**9 à 15**). Le R<sup>2</sup> moyen est de 0,41 (0,34 à 0,58) et la précision est améliorée passant de 10,6 à 9,3 g de MS/kgP<sup>0,75</sup>. L'association ADFxMAT est légèrement plus efficace (+6%) que CBxMAT. La lignine est en effet fondamentalement le principal obstacle à l'ingestibilité des fourrages.

A contrario de la composition chimique, le NA (**équation 8**) explique à lui seul 85% des variations de la QMSI, la précision remontant à 4,7 g de MS/kgP<sup>0,75</sup>. Cependant, sa mesure *In vivo* en routine présente les mêmes inconvénients que celle de la dMO avec en plus une durée d'expérience plus importante. Nous l'avons donc associé à la composition chimique pour le prédire. Il en est sorti 3 équations intéressantes (**24 ; 25 et 26**). Celle liée à la MS bien qu'apportant un meilleur ETR ne sera pas retenue à cause des difficultés liées au dosage de la MS en conditions de terrain sur les fourrages verts.

$$\text{NA} = -0,024\text{ADF} + 0,031\text{MAT} + 1,848 \quad (R^2 = 0,68; \text{ETR} = 0,23; P = 0,0000) \quad (24)$$

$$\text{NA} = -0,0053\text{MS} + 0,047\text{MAT} + 1,218 \quad (R^2 = 0,73; \text{ETR} = 0,21; p = 0,0000) \quad (25)$$

$$\text{NA} = -0,0183 \text{CB} + 0,034 \text{MAT} + 1,581 \quad (R^2 = 0,61; \text{ETR} = 0,26; p = 0,0003) \quad (26)$$

A titre de comparaison, la paroi exprimée en ADF, semble impacter d'avantage le NA, que lorsqu'elle est exprimée en CB. Cette différence est logique car l'ADF est plus riche en lignine que la CB. Par contre, dans l'équation 26 le coefficient affecté à l'azote est légèrement plus élevé (+9%) que celui de l'équation 24.

Le NA ainsi calculé, lorsqu'il est associé aux variables explicatives des équations **1 à 6** pour calculer la MSI, donne une troisième série d'équations (**16 à 23**) dont le R<sup>2</sup> moyen est de 0,88 ; la précision passe de 9,6 g à 4,4 g de MS/kgP<sup>0,75</sup>. Cette dernière valeur compte parmi les meilleures rencontrées dans la littérature. Les équations 21 et 23 sont retenues pour le calcul final de la QMSI :

$$\text{MSI (gMS/kg P}^{0,75}) = 36,064\text{NA} + 0,232\text{MAT} + 0,532\text{ADF} - 11,225 \quad (R^2 = 0,90; \text{ETR} = 4,2) \quad (21)$$

$$\text{MSI (gMS/kg P}^{0,75}) = 32,495\text{NA} + 0,4819\text{MAT} + 0,486\text{CB} - 8,353 \quad (R^2 = 0,89; \text{ETR} = 4,31) \quad (23)$$

Comme pour le calcul du NA, elle diffère par le mode d'expression de la paroi : en CB ou en ADF. Dans l'équation 21, le NA tout comme l'ADF contribue plus à la formation du modèle, leur poids y est plus important que dans l'équation 23. Par contre, celui des MAT pèse deux fois moins.

## Chapitre 8. Fourrages du groupe 4

Ce groupe de fourrages rassemble tous les fourrages du groupe 2. Il est en cours de reconstitution, afin de disposer de quantités suffisantes de fourrages pour aborder l'étude des minéraux de nos fourrages, celle des valeurs azotées dans les nouveaux systèmes de PDI et celle d'autres méthodes indirectes de prédiction de la valeur nutritive et alimentaire des fourrages algériens (Gaz-test, spectroscopie proche infra rouge, *in sacco*, *in vitro*...). Cette reconstitution devait durer 4 ans. Ce groupe 4 pourrait également à l'avenir être étoffé et accueillir des fourrages d'autres soles comme celle de la steppe, des chaumes et de la jachère. Dans ce cas, le nombre de fourrages à traiter pourrait augmenter dans de

fortes proportions ce qui nécessiterait de disposer de méthodes rapides d'évaluation des fourrages.

Ce chapitre comportera deux parties :

- Une partie comparant la composition chimique de 54 fourrages homologues du groupe 2 (**G2 54**) à celle des 54 fourrages du groupe 4 (G4<sub>54</sub>) de la première année de culture (nous rappelons que 4 ans de répétition sont prévues). Ce travail nous permettra de voir si la composition chimique des 54 fourrages du groupe 4 de cette première année de reconstitution, « colle » à celle de leurs homologues du groupe 2 .
- La deuxième partie se consacrera à la comparaison entre les deux méthodes de dosage, MCC (méthode chimique classique) et méthode SPIR, afin de pouvoir proposer le choix d'une méthode pour la suite des travaux.

### 1. Analyse globale de l'échantillon G4<sub>54</sub>

---

Sur la base de la MCC, les résultats sont portés dans le **tableau 34**. Ils n'appellent pas de commentaires particuliers. Ils s'alignent à ceux classiques comparant, les fourrages de légumineuses (plus riches en moyenne en azote et enMM et moins riches en composées pariétaux) aux fourrages de graminées. La faible valeur des fourrages secs algériens dont la moyenne de la teneur en MAT n'atteint pas 10%, est également soulignée. Il est à indiquer néanmoins que dans les fourrages secs sont décomptés des pailles de céréales.

Analyse statistique	MS (%)	MS (%)	Composition chimique et fraction pariétale classique (%MS)							
	A l'échant	Anal	MMc	MOc	MATc	NDFc	HCc	ADFc	CLc	ADLc
<b>Graminées en vert (n=22)</b>										
Moyenne	28,18	91,60	7,88	88,62	7,84	58,78	23,86	34,92	27,36	7,56
Ecart-type	12,51	3,48	2,28	4,44	4,46	7,81	4,41	5,32	4,37	5,46
Minimum	11,30	81,83	5,96	81,63	2,82	40,08	13,57	23,47	18,54	2,10
Maximum	66,71	98,58	16,14	94,04	23,95	69,67	33,74	42,85	35,04	21,81
1Q	20,56	90,46	6,40	84,54	4,94	54,57	20,51	32,42	24,42	3,89
3Q	32,96	93,17	8,49	92,92	8,38	64,78	27,43	39,17	30,81	11,10
CV (%)	44,38	3,80	28,90	5,01	56,89	13,28	18,47	15,25	15,99	72,21
<b>Légumineuses en vert (n=19)</b>										
Moyenne	22,71	92,11	9,71	82,39	16,63	40,25	12,61	27,64	20,04	7,60
Ecart-type	7,00	1,58	1,48	2,52	3,17	3,16	3,58	3,82	2,76	1,67
Minimum	13,65	89,17	6,87	77,28	11,43	35,57	5,93	19,59	15,47	4,13
Maximum	33,69	95,62	13,73	87,42	24,76	46,01	19,54	36,12	25,82	11,27
1Q	16,04	91,01	8,36	81,09	14,02	37,47	9,85	25,63	18,36	6,72
3Q	29,66	92,81	10,50	84,03	18,02	42,33	15,18	30,55	22,16	8,64
CV (%)	30,84	1,72	13,26	3,06	19,07	7,86	28,39	13,82	13,75	21,92
<b>Associations vesce-avoine en vert (n=5)</b>										
Moyenne	27,12	92,59	7,09	85,50	15,58	45,05	18,64	26,41	21,04	5,37
Ecart-type	13,67	2,48	0,57	2,95	3,96	9,76	4,51	6,27	5,48	1,27
Minimum	13,77	90,33	6,34	83,02	11,35	33,98	12,36	18,20	13,71	4,01
Maximum	48,18	96,79	7,59	90,45	20,68	53,80	24,71	33,35	27,86	7,30
1Q	16,15	91,48	6,63	83,92	12,03	35,25	17,05	21,61	17,61	4,49
3Q	28,82	92,47	7,56	85,85	18,07	53,59	20,24	29,79	23,51	5,58
CV (%)	50,41	2,68	8,05	3,45	25,42	21,66	24,19	23,74	26,06	23,56
<b>Fourrages secs (n=8)</b>										
Moyenne	91,10	91,57	7,43	91,21	8,83	69,84	26,30	43,54	36,53	7,01
Ecart-type	2,69	3,12	0,66	2,81	5,19	8,65	6,75	4,26	4,18	1,80
Minimum	85,60	85,60	6,48	86,57	4,59	56,70	16,40	38,85	31,51	5,60
Maximum	94,30	94,71	8,22	93,52	16,99	80,30	36,10	51,22	43,40	10,29
1Q	90,09	90,09	6,94	89,36	5,22	62,41	20,95	41,19	33,63	5,85
3Q	92,72	94,38	8,10	93,05	13,12	76,29	30,49	45,95	39,57	8,03
CV (%)	2,95	3,41	8,85	3,08	58,80	12,39	25,65	9,79	11,46	25,63
<b>Ensemble de l'échantillon</b>										
Moyenne	35,48	91,18	8,38	86,52	11,79	52,63	19,78	32,85	25,56	7,29
ET	25,45	2,74	1,98	4,80	5,79	12,86	7,18	7,36	6,86	3,71
Minimum	11,30	81,83	5,96	77,28	2,82	33,98	5,93	18,20	13,71	2,10
Maximum	94,30	98,58	16,14	94,04	24,76	80,30	36,10	51,22	43,40	21,81
1Q	19,38	90,54	6,80	82,57	6,68	40,08	13,63	27,31	19,34	4,83
3Q	33,52	93,17	9,78	91,78	16,93	62,76	25,44	38,85	30,81	8,64
CV (%)	71,74	3,00	23,61	5,54	49,13	24,44	36,28	22,42	26,85	50,81

Tableau 34. Composition chimique des échantillons par famille botanique et catégorie de fourrage

## 2. Croisement de la composition chimique de l'échantillon du groupe 2 (G2<sub>54</sub>) à celui du groupe 4 (G4<sub>54</sub>)

Le croisement des deux échantillons **G2 54** et **G4 54** s'est fait sur la base de la MS, des MAT et de la CB. La comparaison est étudiée en se référant à leurs statistiques élémentaires telles présentées dans le **tableau 35** et à des équations de régressions liant les composants chimiques de **G2 54** à ceux de **G4 54**.

Il ressort que 50% de **G4 54** a une teneur en MS comprise entre 11,3 et 32,0%, contre 12,20 et 28,38% pour **G2 54**. La différence entre ces deux moyennes est de 9%. Elle est de 13,00 % pour les MAT et seulement 6% pour la CB.

Entre le 3<sup>ème</sup> quartile et la valeur maximale : MS 1 et MS 2 ; MAT 1 et MAT 2 et CB 1 et CB 2 présentent des valeurs comparables.

	MS 1	MS 2	Distance (%)	MAT 1	MAT 2	Distance%	CB 1	CB 2	Distance (%)
<b>Minimum</b>	12,20	11,30	7,4	5,34	4,59	14,0	20,10	15,94	20,7
<b>1er Quartile</b>	14,55	16,37	11,1	10,73	8,43	21,4	24,95	23,49	5,8
<b>Moyenne</b>	28,38	32,00	11,3	15,59	13,52	13,3	29,39	27,66	5,9
<b>3ème Quartile</b>	30,57	33,10	7,6	20,62	17,32	16,0	32,96	31,77	3,6
<b>Maximum</b>	92,50	92,57	0	25,70	24,76	3,6	38,40	41,17	6,7
<b>CV (%)</b>	78,6	69,87	11,1	37,78	38,31	1,4	18,03	22,31	19,2

MS1 : matière sèche du G2<sub>54</sub>; MS2 : MS du G4<sub>54</sub>; MAT1 : matières azotées totales du G2<sub>54</sub>; MAT2 : MAT du G4<sub>54</sub>;  
 CB1 : cellulose brute du G2<sub>54</sub>; CB2 : CB du G4<sub>54</sub>.

Tableau 35. Statistiques élémentaires de la MS, MAT et CB de G2<sub>54</sub> et de G4<sub>54</sub>

Sur la base de ces études de statistiques élémentaires, il apparaît que les deux échantillons **G2 54** et de **G4 54** en moyenne, ne présentent pas de différences importantes pour cette première année de récolte. Mais, la CB est le composant dont l'écart entre **G2 54** et de **G4 54** est en moyenne le plus faible (5,9%).

Les corrélations entre la MS 1 et MS 2 et la CB 1 et CB 2 présentent respectivement 95 et 61% des variations expliquées (**Figures 11 et 12**).

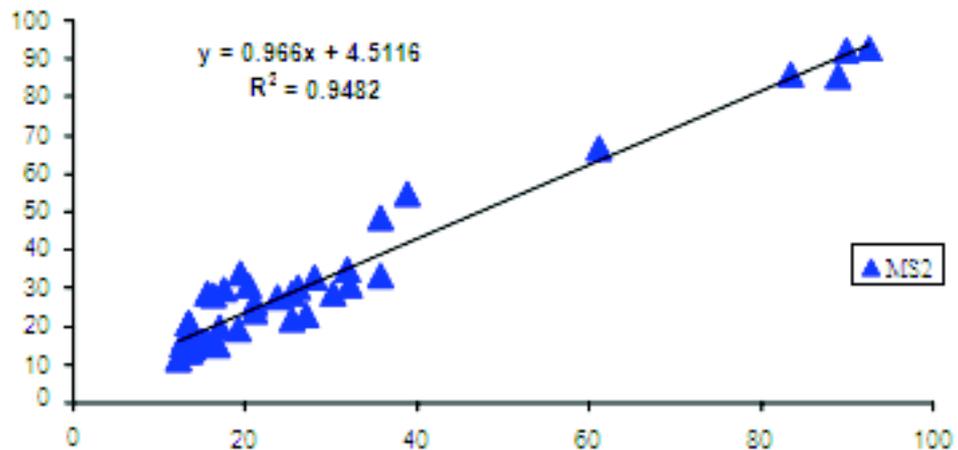


Figure 11. Relation entre MS 1 et MS 2

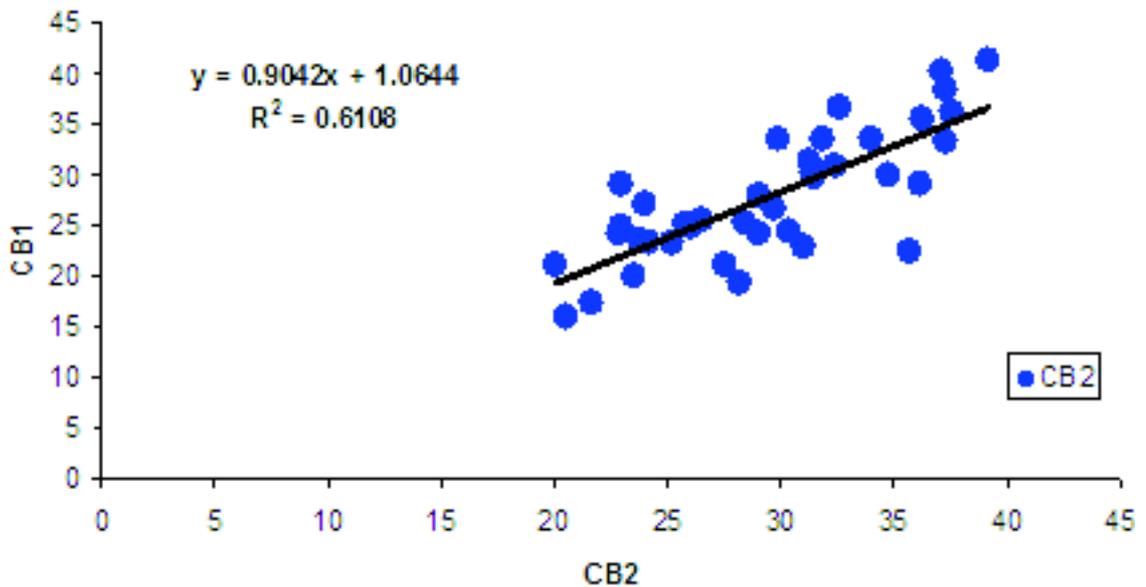


Figure 12. Relation entre CB1 et CB2

Celles entre MAT 1 et MAT 2 sont plus faibles, elles présentent une variance résiduelle de 44% (**Figure 13**), la teneur en MAT est en effet le composant chimique le plus influencé par les conditions de cultures notamment par la fertilisation azotée.

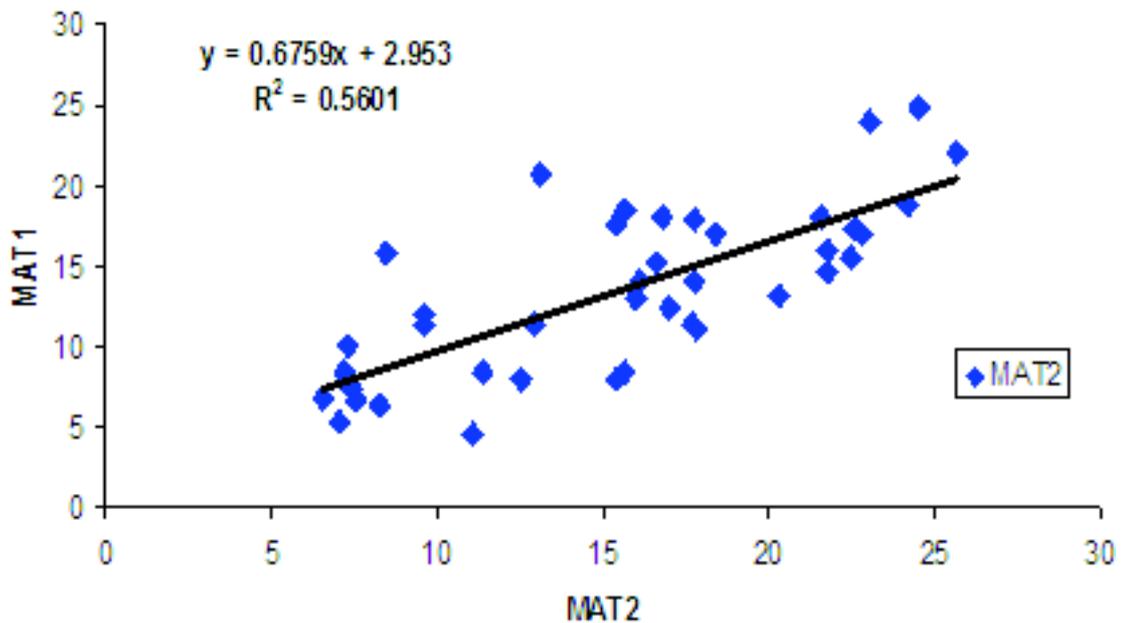


Figure 13. Relation entre MAT 1 et MAT 2

Ces résultats, confirment ceux de l'analyse descriptive à savoir que pour les composants chimiques majeurs testés, les deux échantillons **G2 54** et **G4 54** présentent des similitudes très satisfaisantes (MS) à satisfaisantes (CB et MAT), les MAT étant les moins bien corrélées.

### 3. Comparaison de la méthode SPIR à la méthode chimique de référence

Les résultats de composition chimique prédite par la méthode SPIR et ceux dosés par l'analyse chimique classique sont mentionnés dans le **tableau 36**.

Nous en ferons une analyse globale, complétée par une analyse de variance et par le calcul de la corrélation entre la méthode chimique de référence et SPIR.

Exprimée en pourcentage, la différence pour chaque composant chimique entre les deux méthodes de dosage est :

- Très élevée pour ADL (32%), la méthode chimique donnant la plus forte valeur.
- Elevée pour les MM et pour HC (respectivement 19 et 17%), la méthode chimique donnant la plus forte valeur.
- Faible (2 à 6%) pour les autres composants : MAT ; NDF ; ADF et CB.

Sur la base des quartiles, les différences restent élevées pour les MM aussi bien en Q1 qu'en Q3 (19 et 17%) tout comme pour ADL (16 et 29% en Q1 et Q3 respectivement). Les autres valeurs sont de 15 et 5 % pour les MAT ; 7 et 13% pour NDF ; 13 et 20% pour HC ; 3 et 1% pour ADF ; 11 et 10% pour CB.

**Tableau 36. Composition chimique et fraction pariétale analysées par méthode chimique et physique (SPIR)**

Iden.	MSc (%)	MSc (%)	Composition chimique et fraction pariétale classique								Composition chimique et f			
	A l'échant.	Anal.	MMc	MOc	MATc	NDFc	HCc	ADFc	CBc	ADLc	MSs	MMs	MOs	MATs
C1	19,85	91,45	9,58	81,87	8,38	43,98	20,51	23,47	21,09	2,37	89,64	10,43	89,57	7,73
C2	19,38	92,14	6,30	85,84	7,91	54,45	27,56	26,89	21,89	4,99	89,56	10,16	89,84	7,23
C3	21,82	92,30	7,76	84,54	7,33	62,76	26,74	36,02	33,27	2,75	91,03	11,09	88,91	5,66
C4	34,67	96,60	6,80	89,80	6,38	64,78	28,83	35,96	31,24	4,72	91,2	8,37	91,63	6,24
C5	54,78	95,72	6,31	89,41	6,68	59,04	27,43	31,61	27,72	3,89	90,76	8,05	91,95	6,11
C6	66,71	96,26	6,22	90,04	6,85	58,47	20,41	38,06	33,06	5,00	90,61	7,60	92,4	5,57
C7	11,30	98,58	16,14	82,44	23,95	40,08	13,57	26,52	24,42	2,10	90,19	15,77	84,23	17,23
C8	14,71	91,73	10,10	81,63	12,46	46,24	19,46	26,78	23,67	3,11	89,7	12,19	87,81	16,68
C9	23,84	90,57	6,52	84,06	7,91	51,35	18,59	32,76	29,31	3,45	89,56	9,10	90,9	11,92
C10	22,83	90,45	7,16	83,29	8,38	54,57	22,14	32,42	27,60	4,83	89,66	7,90	92,1	10,4
C11	32,96	93,92	8,17	85,75	11,34	67,76	28,39	39,37	35,04	4,33	90,28	9,97	90,03	9,30
C12	33,52	93,17	8,49	84,68	10,02	58,88	25,05	33,83	26,92	6,92	90,09	8,47	91,53	8,26
C13	17,05	87,12	10,30	89,70	11,67	66,52	33,74	32,77	28,16	4,62	90,79	9,79	90,21	10,8
C14	30,47	90,61	7,08	92,92	4,04	69,67	27,78	41,89	27,78	14,11	91,75	8,38	91,62	6,08
C15	27,52	90,46	6,55	93,45	2,82	66,48	26,12	40,35	18,54	21,81	91,57	7,77	92,23	3,99
C16	27,22	90,59	5,98	94,02	3,69	61,42	22,13	39,29	25,83	13,46	91,30	6,90	93,1	4,33
C17	31,91	90,54	5,96	94,04	4,32	60,44	21,27	39,17	20,93	18,25	91,24	5,55	94,45	4,81
C18	30,77	90,97	6,52	93,48	3,87	62,92	26,00	36,92	25,82	11,10	91,07	5,73	94,27	4,86
C19	20,56	89,31	9,08	90,92	6,27	66,20	23,35	42,85	30,81	12,04	90,98	9,74	90,26	6,20
C20	22,24	89,30	7,93	92,07	5,84	61,63	23,20	38,42	31,87	6,56	91,19	8,03	91,97	6,47
C21	22,79	81,83	7,92	92,08	7,44	57,19	22,17	35,02	30,11	4,91	90,63	8,64	91,36	5,64
C22	33,15	91,64	6,40	93,60	4,94	58,33	20,48	37,86	26,80	11,06	90,71	5,92	94,08	5,64
C23	25,89	90,03	6,87	83,15	24,76	35,71	7,71	28,00	21,28	6,72	90,95	12,70	87,30	19,58
C24	27,77	92,26	7,88	84,37	18,02	39,45	8,89	30,55	22,16	8,40	91,24	11,78	88,22	16,0
C25	30,42	95,62	8,20	87,42	17,92	45,24	13,10	32,14	23,16	8,98	91,71	13,64	86,36	14,38

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; NDF : neutre detergent fiber ; ADF : acid detergent fiber ; CL : cellulose ; ADL : acid detergent lignin ; c : classique ; s : SPIR ; Echant. : échantillon ; Identification (plus de détails en tableau 24).

Tableau 36 (suite). Composition chimique et fraction pariétale analysées par méthode chimique et physique (SPIR)

Eléments princeps de la valeur alimentaire des fourrages algériens pour le ruminant

Iden.	MSc (%)	MSc (%)	Composition chimique et fraction pariétale classique								Composition chimique		
	A l'échant.	Anal.	MMc	MOc	MATc	NDFc	HCc	ADFc	CBc	ADLc	MSs	MMs	MOs
C26	30,95	94,21	8,09	86,12	18,53	42,73	11,24	31,48	22,74	8,74	91,24	12,55	87,45
C27	29,66	93,17	9,55	83,62	21,98	37,16	9,85	27,31	18,46	8,85	91,27	16,40	83,60
C28	15,07	91,01	13,73	77,28	17,05	36,90	13,43	23,47	18,83	4,64	91,36	18,74	81,26
C29	13,65	91,89	10,06	81,84	13,16	42,14	16,19	25,96	18,22	7,73	90,19	11,73	88,27
C30	16,04	92,03	9,66	82,38	11,43	41,22	13,70	27,52	19,18	8,35	89,71	11,41	88,59
C31	15,20	92,39	8,36	84,03	13,03	41,75	15,18	26,57	19,34	7,22	89,33	9,78	90,22
C32	16,44	89,17	10,94	78,23	18,73	39,13	19,54	19,59	15,47	4,13	89,7	11,62	88,38
C33	20,65	91,36	9,81	81,54	14,66	39,77	10,17	29,60	21,19	8,41	90,49	12,08	87,92
C34	15,43	91,89	10,80	81,09	16,93	42,33	14,75	27,58	20,01	7,57	90,59	13,05	86,95
C35	28,48	92,38	10,67	81,71	15,28	45,31	9,19	36,12	24,85	11,27	90,33	11,49	88,51
C36	16,50	91,84	9,78	82,06	15,98	38,17	15,95	22,22	16,04	6,17	89,21	11,17	88,83
C37	28,16	92,81	9,88	82,92	14,02	46,01	18,20	27,82	19,23	8,59	89,89	10,06	89,94
C38	16,11	90,31	10,41	79,90	15,57	37,47	5,93	31,54	25,82	5,72	89,59	10,11	89,89
C39	33,69	92,66	10,09	82,57	17,59	35,57	10,82	24,75	17,75	7,00	90,39	11,79	88,21
C40	20,66	90,56	10,50	80,06	17,24	39,26	13,63	25,63	18,36	7,27	89,94	10,70	89,30
C41	30,67	94,47	9,26	85,20	14,02	39,38	12,06	27,32	18,68	8,64	90,36	10,88	89,12
C42	13,77	90,33	7,31	83,02	18,07	35,25	17,05	18,20	13,71	4,49	89,50	11,75	88,25
C43	16,15	91,48	7,56	83,92	20,68	33,98	12,36	21,61	17,61	4,01	90,09	13,09	86,91
C44	28,82	91,86	7,59	84,27	15,76	48,63	18,83	29,79	22,50	7,30	91,31	12,94	87,06
C45	28,68	92,47	6,63	85,85	12,03	53,59	20,24	33,35	27,86	5,49	91,56	11,31	88,69
C46	48,18	96,79	6,34	90,45	11,35	53,80	24,71	29,09	23,511	5,58	90,96	10,16	89,84
C47	92,71	94,71	8,14	86,57	4,59	66,61	25,44	41,18	34,856	6,32	91,25	7,33	92,67
C48	92,68	94,46	7,52	86,94	9,45	56,70	17,84	38,85	32,728	6,12	90,98	9,71	90,29
C49	85,60	85,60	8,05	91,90	5,34	72,50	29,60	42,90	37,30	5,6	90,89	8,67	91,33
C50	89,99	89,99	8,22	91,78	16,99	58,20	16,40	41,80	31,51	10,29	91,28	11,58	88,42

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; NDF : ADF : acid detergent fiber ; CL : cellulose ; ADL : acid detergent lignin ; c : classique ; s : SPIR ; Echant. : échantillon ; identification (plus de détails en tableau 24)

Tableau 36 (suite). Composition chimique et fraction pariétale analysées par méthode chimique et physique (SPIR)

Iden.	MSc (%)	MSc (%)	Composition chimique et fraction pariétale classique								Composition chimique e			
	A l'échant	Anal	MMc	MOc	MATc	NDFc	HCc	ADFc	CBc	ADLc	MSs	MMs	MOs	MA
C51	92,74	92,74	6,48	93,52	5,70	71,84	29,68	42,16	36,06	6,10	91,04	6,77	93,23	4,5
C52	94,30	94,30	6,78	93,2	5,10	77,30	36,10	41,20	34,53	6,67	91,47	7,74	92,26	3,1
C53	90,19	90,19	7,10	92,9	6,70	80,30	31,30	49,00	43,4	5,60	90,74	7,39	92,61	4,9
C54	90,59	90,59	7,16	92,84	16,79	75,27	24,05	51,22	41,83	9,39	92,05	13,80	86,20	4,6
n	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
Moyenne	35,48	91,18	8,38	86,52	11,79	52,63	19,78	32,85	25,56	7,29	90,63	10,36	89,64	11,23
ET	25,45	2,74	1,98	4,80	5,79	12,86	7,18	7,36	6,86	3,71	0,72	2,67	2,67	5,54
Minimum	11,30	81,83	5,96	77,28	2,82	33,98	5,93	18,20	13,71	2,10	89,21	5,55	81,26	3,1
Maximum	94,30	98,58	16,14	94,04	24,76	80,30	36,10	51,22	43,40	21,81	92,05	18,74	94,45	21,81
1Q	19,38	90,54	6,80	82,57	6,68	40,08	13,63	27,31	19,34	4,83	90,09	8,37	88,22	5,6
3Q	33,52	93,17	9,78	91,78	16,93	62,76	25,44	38,85	30,81	8,64	91,24	11,78	91,63	16,93
CV (%)	71,74	3,00	23,61	5,54	49,13	24,44	36,28	22,42	26,85	50,81	0,80	25,78	2,98	49,13

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; NDF : neutral detergent fiber ; CL : cellulose ; ADL : acid detergent lignin ; c : classique ; s : SPIR ; Echant. : échantillon

En considérant les deux composants majeurs : les MAT et ADF, les différences sont faibles entre les deux méthodes pour ADF pour tous les fourrages du groupe. Egalement faibles pour les fourrages du Q3 c'est-à-dire dosant entre 17 et 26% de MAT (**tableau 36**).

L'analyse de variance présentée dans le **tableau 37** confirme ces résultats notamment pour les MAT et pour ADF. Tout comme les corrélations calculées entre les deux méthodes de dosage (**Figures 14 et 15**).

	MSc (%)	Analyse classique (%MS)							
		MMc	MOc	MATc	NDFc	ADFc	HCc	CBc	ADLc
Moyenne	88,96	8,38	86,52	11,79	52,63	32,85	19,78	25,56	7,29
Ecart-type	13,70	1,98	4,80	5,79	12,86	7,36	7,18	6,86	3,71
	MSs	Analyse SPIR (%MS)							
		MMs	MOs	MATs	NDFs	ADFs	HCs	CBs	ADLs
Moyenne	90,63	10,36	89,64	11,23	55,95	32,08	23,87	27,15	4,93
Ecart-type	0,72	2,67	2,67	5,54	14,65	6,97	8,47	6,80	1,68
R <sup>2</sup>	0,08	0,15	0,14	0,002	0,01	0,002	0,06	0,01	0,14
p	0,001	0,00002	0,00006	0,6	0,21	0,58	0,007	0,22	0,00004

Tableau 37. Résultats de l'analyse de variance des 2 échantillons

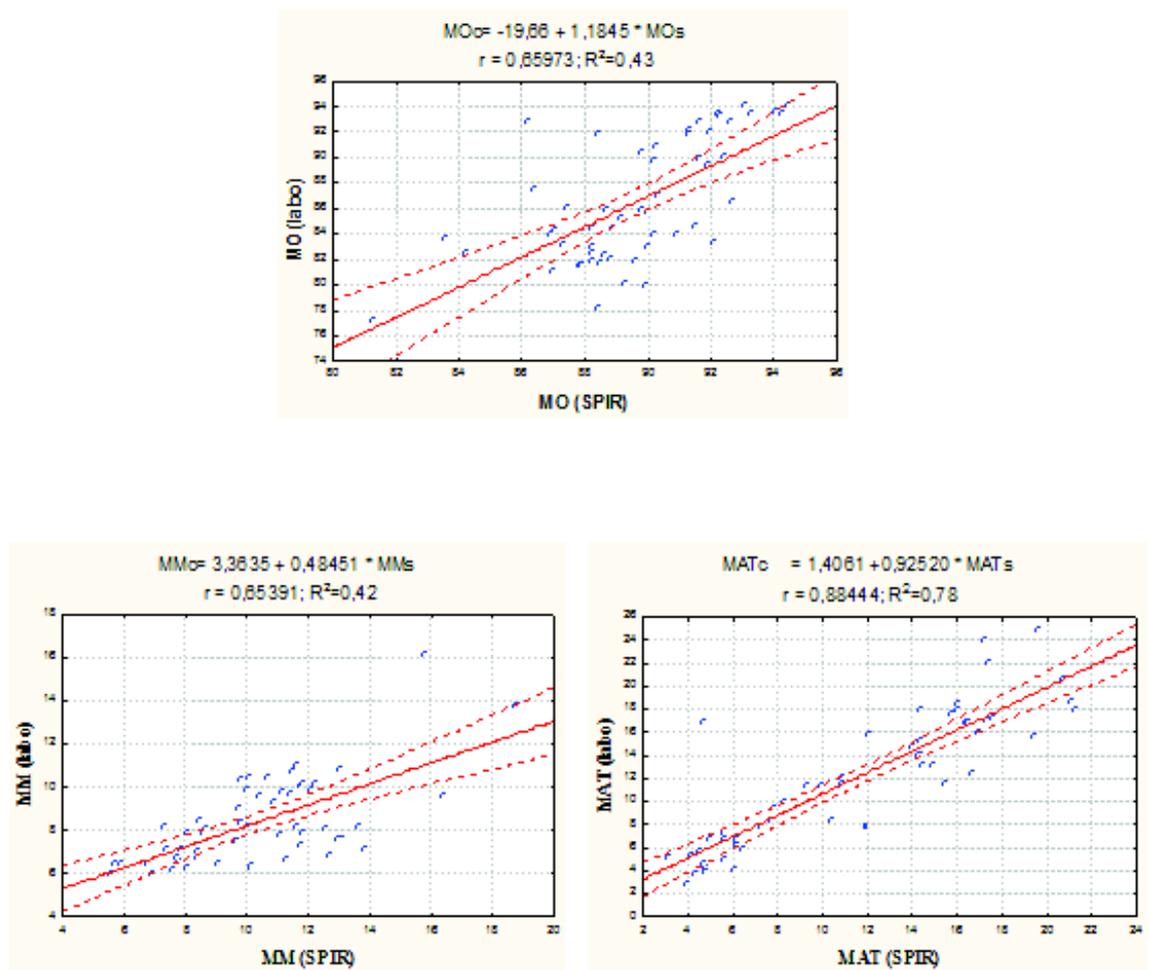


Figure 14. Régressions linéaires entre les valeurs de références et SPIR des 54 échantillons reconstitués pour la MS, MO, MM et MAT

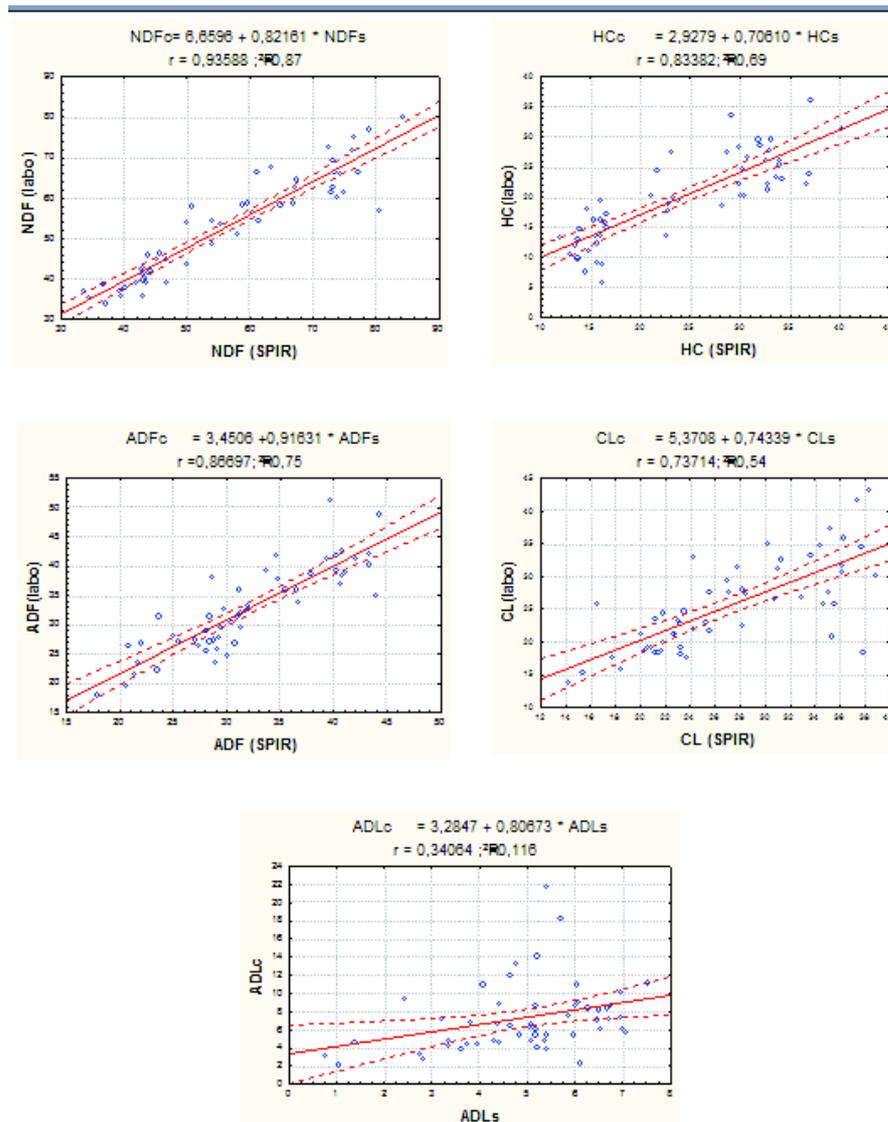


Figure 15. Régressions linéaires entre les valeurs de références et SPIR des 54 échantillons reconstitués pour les composants de la paroi

En effet, les coefficients de corrélation sont de 0,88 ; 0,93 ; 0,83 et 0,86 respectivement pour MAT, NDF, HC et ADF, de 0,65 et 0,75 pour MO et MM et de 0,34 seulement pour ADL.

Les régressions exprimant les  $R^2$  sont les suivantes :

$$MMc = 3,36 + 0,48MMs \quad (R^2 = 0,42; \text{ETR} = 1,51; p < 0,0000)$$

$$MOc = -19,656 + 1,18MOs \quad (R^2 = 0,43; \text{ETR} = 3,63; p < 0,0000)$$

$$MATc = 1,40 + 0,925MATs \quad (R^2 = 0,78; \text{ETR} = 2,72; p < 0,0000)$$

$$NDFc = 6,9596 + 0,82161NDFs \quad (R^2 = 0,87; \text{ETR} = 4,57; p < 0,0000)$$

$$HCc = 2,92 + 0,706HCs \quad (R^2 = 0,69; \text{ETR} = 3,99; p < 0,0000)$$

$$\text{ADF}_c = 3,45 + 0,916 \text{ADF}_s \quad (R^2 = 0,75 ; \text{ETR} = 3,70 ; p < 0,0000)$$

$$\text{CB}_c = 5,37 + 0,743 \text{CL}_s \quad (R^2 = 0,54 ; \text{ETR} = 4,68 ; p < 0,0000)$$

$$\text{ADL}_c = 3,50 + 0,769 \text{ADL}_s \quad (R^2 = 0,12 ; \text{ETR} = 3,50 ; p < 0,009)$$

Le dosage SPIR explique donc 78% des variations des MAT ; 87% de NDF ; 69% des hémicelluloses et 75% de l'ADF dosés par la méthode de référence. Tandis que la MO et les MM sont expliquées à raison de 40%. Enfin, la lignine à 12% seulement.

#### 4. Discussion

---

Le modèle SPIR que nous avons utilisé pour prédire la composition chimique de nos 54 fourrages est tiré d'un travail réalisé par le Cirad de Montpellier sur 900 fourrages hétérogènes provenant du Liban, de la Turquie et du Kazakhstan (**modèle LTK**). Les spectres sont étalonnés pour déterminer l'analyse fourragère, les phénols totaux, les tanins, la paroi Van Soest et la digestibilité pepsine-cellulase. Dans notre travail, nous l'avons utilisé pour la seule composition chimique.

Pour établir un bon modèle, les critères suivants doivent être de bonne qualité (**Lila et Furstoss, 2000**) :

- La taille de l'échantillon : un minimum de 100 ; dans le cas du modèle LTK, il a été de 900.
- La précision du modèle : SEC (ETR de calibration).
- La précision avec laquelle les valeurs sont prédites : SECV (ETR de validation) et le SEP qui donne la précision avec laquelle les valeurs sont prédites.

Nous ne disposons pas formellement de ces deux derniers critères. Néanmoins, nous disposons (**Tableau 36**) de la valeur de la distance de **Mahalanobis** (GH) dont la valeur moyenne n'est que de 0,93. La distance de **Mahalanobis** définit qu'un point (un fourrage) comme appartenant à un ensemble s'il est minime par rapport au centre de l'ensemble des échantillons, dans notre cas, 3. Tout fourrage pris individuellement se situant au delà de 3 sera considéré comme aberrant. Pour notre échantillon, la distance maximale a été de 2,4 (**Tableau 36**). Nous pouvons donc considérer que les échantillons prédits s'ajustent parfaitement au modèle LTK.

De façon générale, la littérature offre de nombreuses études sur l'utilisation de la SPIR. Pour la prédiction de la composition chimique des espèces fourragères (**Norris et al, 1976 ; Abrams et al, 1987 ; Snyman et Joubert, 1993 ; Robotnikof et al, 1995 ; Andueza et al, 2004 ; Fontanelli et al, 2004 ; Andrés et al, 2005 ; Stubbs et al, 2010**), pour la prévision de leur valeur énergétique (**Znidarsic et al, 2005 ; Brogna et al, 2009**), et azotée (**Silva et al, 2008**) pour leur ingestion (**Meuret et al, 1993 ; Andueza et al, 2001 ; Mathison et al, 2005**).

Les groupements chimiques présentant une absorption dans la région du PIR sont principalement de la forme X-H, où X correspond aux atomes de carbone, d'oxygène ou d'azote, et H désigne l'atome d'hydrogène.

Ainsi pour les lipides, les liaisons C-H ; N-H pour les protéines ; C-H et O-H pour les glucides et les composés pariétaux et pour l'eau.

Dans cette discussion, nous nous intéresserons plus particulièrement aux deux composants majeurs des fourrages destinés aux ruminants : les MAT et les composés pariétaux.

#### 4.1. Les composés pariétaux

En base 100 pour la méthode chimique de référence, la méthode SPIR donne des résultats légèrement plus élevés de 6% mais acceptables. L'écart entre les deux méthodes reste identique (7%) pour les fourrages de Q1 mais s'amplifie en faveur de la méthode SPIR à 14% pour les fourrages dont la teneur en NDF se situe entre Q3 et le maximum (72 et 84%).

Cette observation n'est pas vérifiée pour ADF, CB et HC mais se retrouve pour ADL. La SPIR dans cet échantillon, s'ajusterait moins bien pour des valeurs NDF élevées notamment comme celle de la paille. Il est probable que le Modèle LTK ne contenait pas cette catégorie de fourrages.

Mais en règle générale, comme le montre les travaux de nombreux auteurs, le SEP des prédictions par la SPIR est très satisfaisant : **Abrams et al (1987)** donnent 2,24 pour ADF et 2,16 pour NDF ; **Blosser et al (1988)** : 0,90 pour ADF ; 0,92 pour NDF ; **Bertrand (2002)** donne des valeurs de SEP et  $R^2$  pour la CB, NDF, ADF et ADL de l'ensilage de maïs respectives de 0,84 et 0,96 ; 1,86 et 0,91 ; 1,20 et 0,94 et 0,35 et 0,85.

Toutefois, les auteurs n'utilisent pas toujours les mêmes zones d'absorption. En effet, les liaisons « fibres » C-H et O-H absorbent à des longueurs d'ondes très larges : 1100-2498 pour **Xiang et al (2005)**, travaillant sur des pailles de riz ; pour **Lippke et Barton (1988)** l'ADF a une forte absorbance à 1696 et 2298 nm. Quant à **Clark et Lamb (1991)** ; **Givens et al (1992)** ; **Wilman et al (2000)** travaillant sur des rations et fourrages composites, ils privilégient la région 2200 à 2300 nm. Cette situation pourrait provoquer de petits biais qui restent néanmoins limités.

Néanmoins, pour ce qui concerne ce travail, en moyenne, l'écart entre les deux méthodes de dosage n'est que de 6% pour les composés pariétaux, ce qui est très acceptable.

#### 4.2. Le dosage des matières azotées totales

La teneur en protéines brutes de nos échantillons a varié entre 3 et 25%, elle se trouve donc dans la zone des teneurs en MAT dans les aliments du bétail (3 à 50%), très couramment dosées par la méthode SPIR de prédiction (**Stuth et al , 2003**).

Dans ce travail et en moyenne, tout comme les composés pariétaux, l'écart entre les résultats du dosage chimique et celui de la SPIR est faible. Il est de 4%. Néanmoins, contrairement aux composés pariétaux, l'écart s'amplifie en Q1 (valeurs s'étalant entre 3 et 7% de MAT) en faveur du dosage chimique qui présente des valeurs plus élevées de 15%. L'écart n'est que de 5% en Q3. Les erreurs sur les dosages chimiques de l'azote Kjeldahl sont en effet plus fréquentes sur des fourrages à très faible teneur en cet élément. La SPIR pourrait être plus précise pour cette catégorie de fourrage.

L'azote a été depuis 40 ans, le premier élément dosé en routine par la SPIR. Les liaisons N-H présentent des bandes d'absorption caractéristiques à 1523, 1600, 2050 et 2180 nm. Celle à 2180 nm est la plus exploitée pour le dosage des protéines, notamment celles des céréales **Osborne et al (1993)**. L'effet de l'amidon qui absorbe dans une zone proche (2100 nm) est corrigé dans le résultat final.

Pour les fourrages, les zones d'absorbance entre 2275 et 2500 nm sont les plus utilisées (**Bruno-Soares et al , 1998 ; Xiang et al , 2005**).

Les auteurs sont d'avis pour dire que les MAT sont dosées avec plus de précision que les composés pariétaux. Ainsi, sur la base du SEP et du  $R^2$ , **Roberts et al (2003)** sur divers foins donnent un  $R^2$  de 0,96 et un SEP de 0,94% tout comme **Blosser et al (1988)**, sur de la fétuque élevée pour un  $R^2$  de 0,96 ; **Agnew et al (2004)** sur foins de ray gras vivace :  $R^2$  de 0,97 et SEP de 1,07 ; **Bruno-Soares et al (1998)** sur 135 céréales fourragères des zones méditerranéennes :  $R^2$  de 0,98 et SEP de 0,63%.

Néanmoins, sur des céréales fourragères anglaises, **Deville et al (2009)**, a trouvé une précision plus faible (2,2%) plus proches des valeurs que l'on trouve pour le dosage des composés pariétaux, bien qu'acceptables.

Avec **Roberts et al (2003)**, nous pouvons dire que le dosage des MAT par la SPIR est très comparable à celui obtenu par la méthode Kjeldahl de référence

## Chapitre 9. Les fourrages du groupe 5

En absence d'un groupe de fourrages (dont les caractéristiques chimiques, de dMO et de QMSI auraient été déterminées en Algérie) de validation des modèles de prédiction des différents paramètres de la valeur alimentaire des fourrages algériens que nous avons établis (**chapitres 6 et 7**), nous avons choisi dans la littérature (**table INRA de 1978**), 48 fourrages cultivés dans la région méditerranéenne. Les caractéristiques de ces 48 fourrages sont données dans le **tableau 38**.

### 1.Composition chimique des fourrages du groupe 5

---

La composition chimique des 48 fourrages méditerranéens relevés dans les tables **INRA (1978)** est consignée dans le **tableau 38**.

N°	Fourrages méditerranéens	Nombre d'essais	MS (%)	(MS)					dMO (%)	MSI (g/kg p <sup>se</sup> )	NA*	
				MM	MO	MAT	CB	NDF				
1	Fétuque élevée, 1er cycle, feuillage	4	19,2	14,9	85,1	19,2	24,6	54,0	27,4	71	50	1,3
2	Fétuque élevée, 1er cycle, début épiaison	4	25,8	11,6	88,5	12,4	32,3	62,8	34,7	64	45	1,1
3	Fétuque élevée, 1er cycle, épiaison	2	40,2	9,2	90,8	11,8	37,6	68,9	39,7	63	45	1,1
4	Fétuque élevée, 2ème cycle, montaison	2	18,7	14	86	12,8	24,8	54,3	27,6	70	52	1,4
5	Fétuque élevée, 2ème cycle, début épiaison	1	27,2	10	90	80	30,8	61,1	33,3	66	49	1,3
6	Orge, feuillage	3	11,3	14,6	85,4	17,4	24,9	54,4	27,7	81	42	1,3
7	Orge, montaison	7	13,6	13,8	86,2	12,3	26,9	56,7	29,6	73	43	1,2
8	Orge, épiaison	4	17,4	9,4	90,6	8,4	30,6	60,9	33,1	67	60	1,6
9	Orge, grain pâtéux	4	24,8	9,9	90,1	7,2	31,2	61,6	33,6	66	51	1,3
10	Seigle, montaison	2	12,1	14,3	85,7	19,9	25,4	55,0	28,1	81	53	1,6
11	Seigle, épiaison	1	14,3	9,7	90,3	12,8	31,8	62,3	34,2	74	65	1,9
12	Seigle, grain pâtéux	1	14,4	7,1	92,9	7,1	38,7	70,1	40,8	70	51	1,4
13	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillage	10	20,0	10,0	90,0	17,0	17	43,4	20,2	83	80	2,6
14	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillage	2	13,0	17,0	83,0	22,0	20	48,8	23,0	82	80	2,4
15	Ray gras d'Italie, 1er cycle, début épiaison	2	22,0	7,0	93,0	9,0	26	55,6	28,7	71	63	1,8
16	Ray gras d'Italie, 1er cycle, épiaison	2	27,0	7,0	93,0	6,0	36	67,0	38,2	66	59	1,6
17	Ray gras d'Italie, 2ème cycle, montaison	11	25,0	9,0	91,0	12,3	36	67,0	38,2	63	57	1,4
18	Bromes catharticus, 1er cycle, fin montaison	3	20,7	11,3	88,7	16,2	25,8	55,4	28,5	76	44	1,3
19	Sorgho, 1er cycle, feuillage	1	16,4	12,8	87,2	12,3	32,6	63,2	35,0	68	60	1,5
20	Sorgho, 1er cycle, montaison	4	16,0	13,6	86,4	12,4	30,3	60,5	32,8	68	52	1,3
21	Sorgho, 1er cycle, épiaison	2	18,7	10,7	89,3	10	33,6	64,3	35,9	62	42	1,0
22	2 au 5ème cycle, montaison	7	16,2	12,7	87,3	12,2	32,3	62,8	34,7	60	49	1,1
23	2 au 5ème cycle, épiaison	9	18,3	12,1	87,9	10	35,1	66,0	37,3	60	46	1,1
24	Berlim, 1er cycle, végétatif	6	10,5	20,1	79,9	20,3	16,4	44,7	19,6	80	62	1,7
25	Berlim, 2ème cycle, végétatif	15	11,1	15,7	84,3	20,2	21,4	50,4	24,5	71	62	1,6

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Vansoest ; NDF : neutral detergent fibre ; ADF : acid detergent fibre ; dMO : digestibilité de la matière organique ; QMSI : quantité matière sèche ingérée ; NA : niveau alimentaire ; IQ : premier quartile ; 3Q : troisième quartile ; ET : score type ; CV : coefficient de variation. \* : la NA est calculé à partir de la MOEI (g/kg p<sup>se</sup>) (23).

**Tableau 38 (suite). Composition chimique de fourrages méditerranéens relevés dans la littérature**

N°	Fourrages méditerranéens	Nombre	MS (%)	(MS)					dMO (%)	MSI (g/kg p <sup>se</sup> )	NA*	
				MM	MO	MAT	CB	NDF				
26	Berlim, 5ème cycle, végétatif	18	14,1	14,3	85,7	18,9	21,6	50,6	24,5	72	76	2,0
27	Berlim, 4 et 5ème cycle, début floraison	6	21,5	13,8	86,2	16,3	23,7	53,0	26,5	66	62	1,5
28	Luzerne, 1er cycle, végétatif	2	17,5	11	89	22,5	26,0	55,6	28,7	74	80	2,3
29	Luzerne, 1er cycle, bourgeonnement	6	21,9	10,1	89,9	18,6	28,7	58,7	31,3	70	74	2,0
30	Luzerne, 1er cycle, début floraison	4	20,0	11,2	88,8	17,1	31	61,3	33,5	67	60	1,6
31	Luzerne, 2ème cycle, bourgeonnement	5	19,4	12,6	87,4	22	25,5	55,1	28,2	68	93	2,4
32	Luzerne, 2ème cycle, floraison	4	26,6	11,0	89	19,3	30,5	60,8	33,0	65	86	2,2
33	Luzerne, 3 au 5ème cycle, végétatif	12	16,9	16,5	83,5	24,2	27,6	57,5	30,2	66	70	1,7
34	Luzerne, 3 au 5ème cycle, floraison	9	29,3	9,6	90,4	18,2	33,9	64,6	36,2	63	60	1,5
35	Sulla, 1er cycle, bourdon	3	9,1	15,3	84,7	19,9	20,0	48,8	23,0	74	60	1,6
36	Sulla, 1er cycle, floraison	2	13,5	12,9	87,1	15,5	27,9	57,8	30,5	68	60	1,5
37	Sainfoin, 1er cycle, bourgeonnement	1	15,0	8,0	92	20	18,5	47,1	21,6	79	70	2,2
38	Sainfoin, 1er cycle, floraison	2	15,0	8,0	92	18,5	35,0	65,9	37,3	74	65	1,9
39	Sainfoin, 2 au 5ème cycle, 4-5 semaines	12	21,6	8,0	92	16,8	38,0	69,3	40,1	68	60	1,6
40	Sainfoin, 2 au 5ème cycle, 6-8 semaines	12	28,5	7,4	92,6	15,1	36,5	67,6	38,7	63	60	1,5
41	Foin de vesce-avoine (+50% vesce), précéce	4	83,9	11,9	88,1	15,8	33,3	64,0	35,6	68	87	2,3
42	Foin de vesce-avoine (+50% vesce), tardif	4	81,3	7,1	92,9	12,3	26,8	56,6	29,5	66	84	2,2
43	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), précéce	7	79,0	10,3	89,7	10,4	28,0	57,9	30,6	68	62	1,6
44	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), tardif	4	82,4	9,9	90,1	9,9	33,3	64,0	35,6	63	54	1,3
45	Foin de vesce-avoine (20%), précéce	2	81,0	13,0	87,0	12,9	27,0	56,8	29,7	70	62	1,6
46	Foin de vesce-avoine (20% vesce), tardif	5	86,2	8,9	91,1	6,9	33,5	64,2	35,8	60	66	1,6
47	Paille de d'avoine	2	87,3	8,0	92	2,0	39	70,5	41,1	50	38	0,8
48	Paille blé	2	84,3	7,5	92,5	3,4	51,3	84,5	52,7	46	33	0,6
	N	237	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	Moyenne	-	29,7	11,3	88,6	14,2	29,5	59,6	32,0	68,4	60,0	1,6
	1Q	-	15,0	9,1	86,3	10,2	25,4	55,0	28,1	64,5	50,5	1,3
	3 Q	-	27,1	13,7	90,9	18,7	33,5	64,2	35,0	72,5	65,5	1,8
	Minimum	-	9,1	7,0	79,9	2,0	16,4	44,7	19,6	46,0	33,0	0,6
	Maximum	-	87,3	20,1	93	24,20	51,3	84,4	52,7	83,0	93,0	2,6
	Ecart-type	-	24,8	3,0	3,0	5,3	6,6	7,5	6,2	7,3	13,7	0,4
	CV (%)	-	83,40	26,76	3,42	37,16	23,4	12,7	19,6	10,7	22,79	27,24

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Vansoest ; NDF : neutral detergent fibre ; ADF : acid detergent fibre ; dMO : digestibilité de la matière organique ; QMSI : quantité matière sèche ingérée ; NA : niveau alimentaire ; IQ : premier quartile ; 3Q : troisième quartile ; ET : score type ; CV : coefficient de variation. \* : la NA est calculé à partir de la MOEI (g/kg p<sup>se</sup>) (23).

Tableau 38. Composition chimique de fourrages méditerranéens relevés dans la littérature

Les teneurs en MO et en MM n'appellent pas de commentaires particuliers. Elles s'établissent à 88,6 et 11,3 % respectivement. Quant à la MS, elle est le paramètre le plus dispersé. Présentant une valeur moyenne de 29,7 % pour les 48 fourrages, son CV est de 83,4% pour l'ensemble des fourrages. Les valeurs minimales et maximales sont respectivement de 9,1 et de 87,3%.

Ces résultats sont logiques, compte tenu de l'hétérogénéité des échantillons (espèces, cycles et stades de coupe différents) et de leur nature (fourrages verts, foin et pailles). Sur les 48 fourrages, 83% sont des fourrages verts (23 graminées et 17 légumineuses) et 17% sont des fourrages secs (6 foin et 2 pailles).

Concernant les MAT, elles s'établissent à 14,29 % en moyenne. Cette valeur est comparable à celle des fourrages du groupe 2 (15% de MAT avec 71 fourrages), mais plus élevée que celle obtenue pour la première année de reconstitution des fourrages du groupe 4 (11,7% de MAT). Cette différence entre le groupe 4 et 5 est du au fait que la moyenne

des MAT du groupe 4 soit obtenue sur une seule année de culture alors que, le nombre d'essais du groupe 2 et 5 sont de 371 et 237 respectivement. Quant à la proportion des légumineuses, au sein des différents groupes, elles s'établissent à 35% pour le groupe 4 et 5 et 39% pour le groupe 2.

Ces teneurs en MAT sont néanmoins, les composants les plus dispersés (CV=37,1%) après celle de la MS. La valeur minimale est de 2% (paille de blé) celle maximale de 24,2% (Luzerne, végétatif). L'étude des quartiles montre que 25% des valeurs présentent une teneur en MAT inférieure à 10,2%, alors que 75% ont une teneur en MAT supérieure à 18,7%. Ceci est logique car la majorité de ces fourrages sont des fourrages verts exploités à des cycles et stades appropriés. L'effet de l'espèce, de la variété du cycle et du stade de coupe sur la valeur azotée ont été discutés en **chapitre 6**.

Les teneurs en CB, NDF et ADF de l'ensemble des fourrages sont de 29,5 ; 59,6 et 32% respectivement. Ces valeurs restent comparables à celles des fourrages du groupe 2 et de l'**INRA (1988, 2007) (Annexe 13a)**. Ces teneurs en paroi restent peu dispersées avec un coefficient de variation de 9 à 15%.

Cette comparaison, montre que notre recueil de fourrages cultivés en Algérie (groupe 2) est proche des fourrages méditerranéens relevés dans la littérature (groupe 5) provenant de divers pays de la région.

## 2. Digestibilité et ingestibilité des fourrages du groupe 5

---

Les résultats des digestibilités, du niveau alimentaire et de l'ingestibilité des fourrages méditerranéens du groupe 5 sont présentés dans le **tableau 39**.

Bien que issus des tables INRA, nous les assimilons dans ce travail à des résultats obtenus In vivo. La digestibilité moyenne des 48 fourrages est de 68,4%. Elle varie de 46% pour une paille de blé à 83% pour un Ray-Gras d'Italie, 1<sup>er</sup> cycle, feuillu. Cette digestibilité est peu dispersée avec un CV de 10%. Elle est proche à ceux du groupe 2 (dMO de 66%). Tout comme celle des 23 fourrages homologues tirés de l'**INRA (1988, 2007) (64%)**. L'étude des quartiles indique que 25% des fourrages ont une dMO inférieure à 64,5% (12) représentés par les foins et quelques fourrages verts exploités à des cycles et stade de coupe avancés. Le reste, soit 75% présentent une dMO supérieure à 72,5%. Ceci indique que ces fourrages méditerranéens de la table INRA sont des fourrages de bonne qualité.

Les facteurs susceptibles de générer des différences de digestibilité sont soit liés au fourrage, soit liés à l'animal ou encore à l'environnement. Ils ont été discutés dans le **chapitre 6**.

Le niveau alimentaire moyen de ces 48 fourrages est de 1,6 avec un minimum de 0,61 pour une paille de blé et un maximum de 2,6 pour le ray gras stade feuillu, la même tendance est observée pour la dMO, puisque le NA est lié à la dMO. Ce NA moyen est plus élevé (12,5%) que celui du fourrages du groupe 3 (1,4). Cela semble être logique ; car ce dernier groupe est composé à 70% de foins et de pailles, alors que le groupe 5 est essentiellement formé de fourrages verts. Il est aussi, de plus faible effectif (20 fourrages).

Quand aux quantités de matières sèches ingérées, elles s'établissent à 60 gMS/kg P<sup>0,75</sup>. Elles sont moyennement dispersées avec 22% de CV sur l'ensemble des 48 fourrages. Les valeurs minimales et maximales sont de 33 et 93 gMS/kg P<sup>0,75</sup>

respectivement pour une paille et pour une luzerne (exploité au stade bourgeonnement du 2<sup>ème</sup> cycle).

Les facteurs qui peuvent influencer l'ingestion sont les mêmes que ceux qui modifient la digestibilité, ils ont été discutés au **chapitre 7**.

### 3. Validation des modèles de prédiction de la matière organique élaborés en chapitre 5 au calcul de la digestibilité des fourrages du groupe 5

A partir de notre base de données : fourrages du groupe 2, chapitre 6, nous avons établi 9 modèles de prédiction de la digestibilité de la matière organique des fourrages algériens. Parmi les modèles les plus intéressants, nous avons choisi 2 dont les prédicteurs sont la cellulose brute et les MM de détermination facile pour des applications en routine.

$$dMO = -1,14CB + 99,18 \quad (R^2 = 0,70 ; ETR = 3,92 ; p < 0,001) \quad (1)$$

$$dMO = -0,8597CB + 1,1514MM + 79,06 \quad (R^2 = 0,77 ; ETR = 3,42 ; p < 0,001) \quad (2)$$

Notre test de validation portant sur les 48 fourrages du groupe 5 concernera donc les équations 1 et 2.

Les résultats de l'écart entre les valeurs mesurées et celles calculées par ces deux équations sont reportés dans le **tableau 39** et les statistiques descriptives dans le **tableau 40**.

Sur l'ensemble des fourrages du groupe 5, l'écart de l'estimation de la dMO s'établit à 2,9 (1) et 1,7 (2) en moyenne. L'écart entre dMO<sub>0</sub> et dMO<sub>2</sub> est plus faible, mais le CV est très élevé en valeur absolue et deux fois plus importants que pour dMO<sub>0</sub> et dMO<sub>1</sub>.

Même si l'introduction des MM dans le modèle, améliore le R<sup>2</sup> et la valeur de l'ETR, les valeurs prédites, tant par l'équation 1 ou 2 sont comparables, respectivement 66 et 67 contre 68% pour dMO<sub>0</sub>.

L'étude des quartiles permet de situer l'ensemble de ces fourrages. Le 1Q indique que 25% des fourrages présentent un écart d'estimation inférieur à -0,31 (1) et -2,37(2), alors que le 3Q montre que 75% ont des écarts d'estimation inférieurs à 5,52 (1) et 5,89 (2). Quant à l'écart correspondant à la médiane, elle indique que 50% des fourrages présentent des écarts inférieurs à 2,16 (1) et 1,75 (2). De ce fait, la prédiction de la dMO sur l'ensemble des fourrages du groupe 5 est bonne. Ces valeurs sont donc acceptables pour une estimation de routine. L'écart entre la dMO mesurée et la dMO calculée est meilleur que celui obtenu par **Aufreire et al (2007)** qui notent des écarts variant entre 3,5 et 5,1 en utilisant la CB et les MAT comme variables prédictrices

**Tableau 40. Statistiques descriptives de l'échantillon**

**Éléments princeps de la valeur alimentaire des fourrages algériens pour le ruminant**

N°	Fourrages méditerranéens	(% MS)			dMOoMSlo (%)	dMOc1d(MDc2NAc) (24)	dMOc1d(MDc2NAc) (26)	dMOc1d(MDc2NAc) (21)	dMOc1d(MDc2NAc) (23)	dMOc1d(MDc2NAc) (25)			
		MAT	CB	ADF									
1	Fétuque élevé, 1er cycle, feuillu	19,2	24,6	27,4	71	50	71,14	75,07	1,79	1,78	72,2	170,8	1-0
2	Fétuque élevé, 1er cycle, début épiaison	12,4	32,3	34,7	64	45	62,36	64,65	1,40	1,41	60,5	959,1	91,
3	Fétuque élevé, 1er cycle, épiaison	11,8	37,6	39,7	63	45	56,32	57,33	1,26	1,29	58,1	057,6	66,
4	Fétuque élevé, 2ème cycle, montaison	12,8	24,8	27,6	70	52	70,91	73,86	1,58	1,56	63,5	160,6	4-0
5	Fétuque élevé, 2ème cycle, début épiaison	8,0	30,8	33,3	66	49	64,07	64,10	1,30	1,29	55,1	352,3	71,
6	Orge, feuillu	17,4	24,9	27,7	81	42	70,79	74,46	1,72	1,72	69,6	967,9	310
7	Orge, montaison	12,3	26,9	29,6	73	43	68,51	71,82	1,52	1,51	62,1	759,6	24,
8	Orge, épiaison	8,4	30,6	33,1	67	60	64,30	63,58	1,31	1,31	55,7	353,0	32,
9	Orge, grain pâteux	7,2	31,2	33,6	66	51	63,61	63,64	1,26	1,25	53,9	251,0	62,
10	Seigle, montaison	19,9	25,4	28,1	81	53	70,22	73,69	1,79	1,79	72,9	071,8	410
11	Seigle, épiaison	12,8	31,8	34,2	74	65	62,93	62,89	1,42	1,43	61,2	2959,8	811
12	Seigle, grain pâteux	7,1	38,7	40,8	70	51	55,06	53,96	1,09	1,11	51,4	150,0	814
13	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillu	17,0	17,0	20,2	83	80	79,80	75,96	1,89	1,85	71,6	568,1	53,
14	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillu	22,0	20,0	23,0	82	80	76,38	81,44	1,98	1,96	77,4	575,7	65,
15	Ray gras d'Italie, 1er cycle, début épiaison	9,0	26,0	28,7	71	63	69,54	64,77	1,44	1,41	58,0	054,4	81,
16	Ray gras d'Italie, 1er cycle, épiaison	6,0	36,0	38,2	66	59	58,14	56,17	1,12	1,13	50,7	848,6	37,
17	Ray gras d'Italie, 2ème cycle, montaison	12,3	36,0	38,2	63	57	58,14	58,47	1,31	1,34	59,2	958,6	34,
18	Bromus catharticus, 1er cycle, fin montaison	16,2	25,8	28,5	76	44	69,77	69,89	1,67	1,66	67,7	865,9	26,
19	Sorgho, 1er cycle, feuillu	12,3	32,6	35,0	68	60	62,02	65,77	1,39	1,40	60,3	659,0	005,
20	Sorgho, 1er cycle, montaison	12,4	30,3	32,8	68	52	64,64	68,67	1,45	1,45	61,2	359,4	03,
21	Sorgho, 1er cycle, épiaison	10,0	33,6	35,9	62	42	60,88	62,49	1,30	1,31	56,9	455,2	41,
22	2 au 5ème cycle, montaison	12,2	32,3	34,7	60	49	62,36	65,91	1,39	1,40	60,3	258,8	7-2
23	2 au 5ème cycle, épiaison	10,0	35,1	37,3	60	46	59,17	62,82	1,26	1,28	56,4	755,0	70,
24	Bersim, 1er cycle, végétatif	20,3	16,4	19,6	80	62	80,48	88,10	2,01	1,97	76,3	073,4	5-0

MS : matière sèche ; MAT : matières azotées totales ; CB : cellulose brute ; MSlo : matière sèche ingérée observée ; dMOc : digestibilité de la MO calculée ; MSic : matière sèche ingérée calculée ; NA : niveau alimentaire

équation 2 ; (21) : équation 21 ; (23) : équation 23 ; (24) : équation 24 ; (26) : équation 26 ; P<sup>0,75</sup> : poids métabolique

Tableau 39 (suite). Test de validité des modèles de prédiction de l'ingestion sur les 48 fourrages méditerranéens

N°	Fourrages méditerranéens	(% MS)			dMOoMSlo (g/kg P <sup>0,75</sup> )	dMOc1d(MDc2NAc) (24)	dMOc1d(MDc2NAc) (26)	dMOc1d(MDc2NAc) (21)	dMOc1d(MDc2NAc) (23)	dMOc1d(MDc2NAc) (25)			
		MAT	CB	ADF									
25	Bersim, 2ème cycle, végétatif	20,2	21,4	24,3	71	62	74,78	78,74	1,89	1,88	74,5	872,7	5-3
26	Bersim, 3ème cycle, végétatif	18,9	21,6	24,5	72	76	74,56	76,96	1,85	1,83	72,7	670,6	6-2
27	Bersim, 4 et 5ème cycle, début floraison	16,3	23,7	26,5	66	62	72,16	74,57	1,72	1,70	68,5	866,3	1-6
28	Luzerne, 1er cycle, végétatif	22,5	26	28,7	74	80	69,54	69,37	1,86	1,87	76,2	275,9	04,
29	Luzerne, 1er cycle, bourgeonnement	18,6	28,7	31,3	70	74	66,46	66,02	1,67	1,69	70,1	069,4	23,
30	Luzerne, 1er cycle, début floraison	17,1	31,0	33,5	67	60	63,84	65,30	1,58	1,60	67,3	566,7	93,
31	Luzerne, 2ème cycle, bourgeonnement	22,0	25,5	28,2	68	93	70,11	71,65	1,85	1,86	75,7	175,1	6-2
32	Luzerne, 2ème cycle, floraison	19,3	30,5	33,0	65	86	64,41	65,50	1,65	1,68	70,4	870,3	30,
33	Luzerne, 3 au 9ème cycle, floraison	24,2	27,6	30,2	66	70	67,72	74,33	1,87	1,90	78,0	178,4	2-1

Statistiques descriptives	N	Moyenne	Ecart-type	1Q	Médiane (2Q)	3Q	Minimum	Maximum	CV (%)
MAT (% MS)	48	15,79	10,81	11,10	15,30	19,05	2,00	24,0	68,50
CB (% MS)	48	29,56	6,63	25,45	30,40	33,55	16,40	51,30	22,42
ADF (% MS)	48	32,08	6,29	28,18	32,88	35,87	19,58	52,74	19,62
dMO <sub>o</sub> (%)	48	68,42	7,32	64,50	68,00	72,50	46,00	83,00	10,70
MSI <sub>o</sub> (g/kg P <sup>0,75</sup> )	48	60,08	13,70	50,50	60,00	65,50	33,00	93,00	22,79
dMO <sub>c</sub> (1)	48	65,49	7,55	60,93	64,52	70,17	40,70	80,48	11,53
dMO <sub>c</sub> (2)	48	66,69	8,33	62,16	65,64	73,03	43,59	88,10	12,49
NAc (24)	48	1,52	0,29	1,31	1,52	1,76	0,69	2,01	18,83
NAc (26)	48	1,53	0,27	1,32	1,51	1,75	0,76	1,97	18,01
MSI <sub>c</sub> (21)	48	64,01	8,67	58,05	63,23	71,06	42,42	78,01	13,55
MSI <sub>c</sub> (23)	48	62,47	8,90	55,85	61,82	69,87	41,95	78,42	14,24
dMO <sub>o</sub> -dMO <sub>c</sub> (1)	48	2,93	4,81	-0,31	2,16	5,52	-6,16	14,94	164,16
dMO <sub>o</sub> -dMO <sub>c</sub> (2)	48	1,72	5,91	-2,37	1,75	5,89	-8,57	16,04	343,23
MSI <sub>o</sub> -MSI <sub>c</sub> 21	48	-3,92	11,27	-11,42	-4,98	3,48	-27,69	22,13	287,18
MSI <sub>o</sub> -MSI <sub>c</sub> 23	48	-2,39	11,32	-9,85	-3,47	4,85	-25,92	24,37	473,64

Tableau 40. Statistiques descriptives de l'échantillon

Les régressions linéaires établies entre les dMO mesurées et celles estimées sont moyennes. (Figure 16).

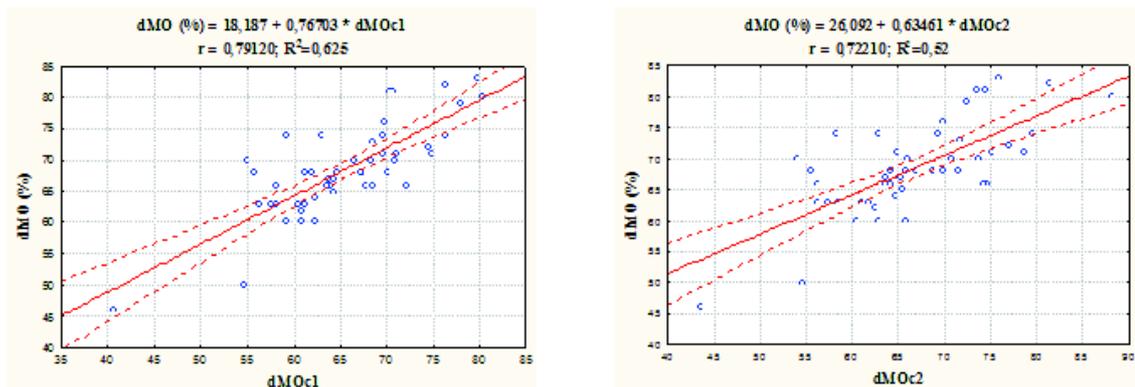


Figure 16. Relation linéaire entre les valeurs mesurées et calculées de la dMO des fourrages du groupe 5

Sur la base de l'écart type réduit de l'estimation de la dMO (maximum de 5,1) rapporté par **Aufrere et al (2007)**, nous avons établi une liste d'une trentaine de fourrages (Tableaux 41 et 42) dont le dMO prédite s'ajuste très étroitement à la dMO mesurée, l'essentiel des variations de la dMO est alors expliqué (Figure 17).

Eléments princeps de la valeur alimentaire des fourrages algériens pour le ruminant

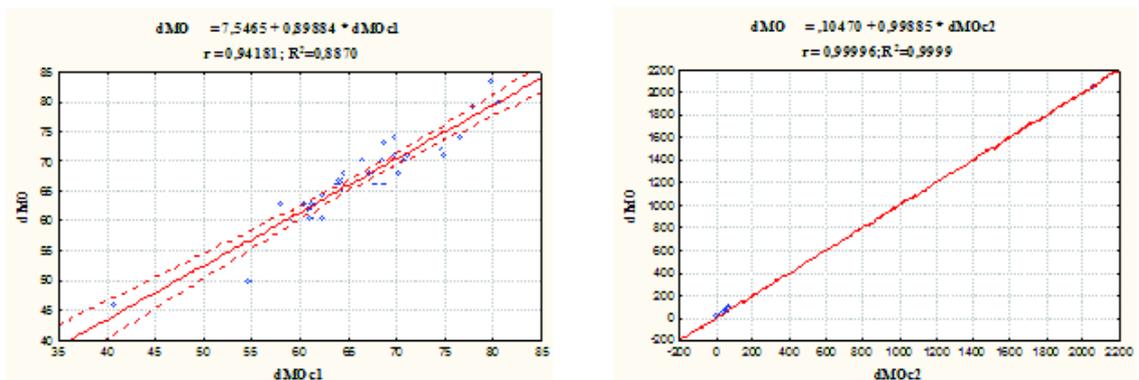
1	Fétuque élevé, 1er cycle, feuillu	19,2	24,6	27,3	71,00	71,14	-0,14
2	Fétuque élevé, 1er cycle, début épiaison	12,4	32,3	34,6	64,00	62,36	1,64
4	Fétuque élevé, 2ème cycle, montaison	12,8	24,8	27,5	70,00	70,91	-0,91
5	Fétuque élevé, 2ème cycle, début épiaison	8,0	30,8	33,2	66,00	64,07	1,93
7	Orge, montaison	12,3	26,9	29,5	73,00	68,51	4,49
8	Orge, épiaison	8,4	30,6	33,0	67,00	64,30	2,70
9	Orge, grain pâteux	7,2	31,2	33,6	66,00	63,61	2,39
13	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillu	17,0	17,0	20,1	83,00	79,80	3,20
15	Ray gras d'Italie, 1er cycle, début épiaison	9,0	26,0	28,7	71,00	69,54	1,46
17	Ray gras d'Italie, 2ème cycle, montaison	12,3	36,0	38,2	63,00	58,14	4,86
20	Sorgho, 1er cycle, montaison	12,4	30,3	32,7	68,00	64,64	3,36
21	Sorgho, 1er cycle, épiaison	10,0	33,6	35,9	62,00	60,88	1,12
22	2 au 5ème cycle, montaison	12,2	32,3	34,6	60,00	62,36	-2,36
23	2 au 5ème cycle, épiaison	10,0	35,1	37,3	60,00	59,17	0,83
24	Bersim, 1er cycle, végétatif	20,3	16,4	19,5	80,00	80,48	-0,48
25	Bersim, 2ème cycle, végétatif	20,2	21,4	24,3	71,00	74,78	-3,78
26	Bersim, 3ème cycle, végétatif	18,9	21,6	24,5	72,00	74,56	-2,56
28	Luzerne, 1er cycle, végétatif	22,5	26,0	28,7	74,00	69,54	4,46
29	Luzerne, 1er cycle, bourgeonnement	18,6	28,7	31,2	70,00	66,46	3,54
30	Luzerne, 1er cycle, début floraison	17,1	31,0	33,4	67,00	63,84	3,16
31	Luzerne, 2ème cycle, bourgeonnement	22,0	25,5	28,2	68,00	70,11	-2,11
32	Luzerne, 2ème cycle, floraison	19,3	30,5	32,9	65,00	64,41	0,59
33	Luzerne, 3 au 9ème cycle, végétatif	24,2	27,6	30,2	66,00	67,72	-1,72
34	Luzerne, 3 au 9ème cycle, floraison	18,2	33,9	36,2	63,00	60,53	2,47
35	Sulla, 1er cycle, bouton	19,9	20,0	23,0	74,00	76,38	-2,38
36	Sulla, 1er cycle, floraison	15,5	27,9	30,5	68,00	67,37	0,63
37	Sainfoin, 1er cycle, bourgeonnement	20,0	18,5	21,5	79,00	78,09	0,91
42	Foin de vesce-avoine (+50% vesce), tardif	12,3	26,8	29,4	66,00	68,63	-2,63
43	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), précoce	10,4	28,0	30,6	68,00	67,26	0,74
44	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), tardif	9,9	33,3	35,6	63,00	61,22	1,78
45	Foin de vesce-avoine (-20%), précoce	12,9	27,0	29,6	70,00	68,40	1,60
46	Foin de vesce-avoine (-20% vesce), tardif	6,9	33,5	35,8	60,00	60,99	-0,99
47	Paille de d'avoine	3,4	39,0	41,0	50,00	54,72	-4,72
48	Paille blé	2,0	51,3	52,7	46,00	40,70	5,30
	N	34	34	34	34	34	34
	Moyenne	14,05	28,81	31,37	67,18	66,34	0,84
	Ecart-type	5,65	6,74	6,40	7,33	7,68	2,58
	1Q	10,00	25,50	28,23	63,00	62,36	-0,99
	3Q	19,20	32,30	34,69	71,00	70,11	2,70
	Minimum	2,00	16,40	19,58	46,00	40,70	-4,72
	Maximum	24,20	51,30	52,74	83,00	80,48	5,30

MS : matière sèche ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; ADF : acid detergent fibre, dMOo : digestibilité de la matière organique observée ; dMOc1 : digestibilité de la MO calculée par l'équation 1 ; CV : coefficient de variation ; 1Q : 1er quartile ; 3Q : 3ème quartile

Tableau 41. Fourrages méditerranéens retenus pour la validation de l'équation 1

N°	Fourrages méditerranéens	MAT	CB	ADF	dMO (%)	dMOc2	dMO <sub>0</sub> -dMOc2
1	Fétuque élevée, 1er cycle, feuillu	19,2	24,6	27,3	71,00	75,07	-4,07
2	Fétuque élevée, 1er cycle, début épiaison	12,4	32,3	34,6	64,00	64,65	-0,65
4	Fétuque élevée, 2ème cycle, montaison	12,8	24,8	27,5	70,00	73,86	-3,86
5	Fétuque élevée, 2ème cycle, début épiaison	8,0	30,8	33,2	66,00	64,10	1,90
7	Orge, montaison	12,3	26,9	29,5	73,00	71,82	1,18
8	Orge, épiaison	8,4	30,6	33,0	67,00	63,58	3,42
9	Orge, grain pâteux	7,2	31,2	33,6	66,00	63,64	2,36
14	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillu	17,0	20,0	23,0	82,00	81,44	0,56
17	Ray gras d'Italie, 2ème cycle, montaison	12,3	36,0	38,2	63,00	58,47	4,53
19	Sorgho, 1er cycle, feuillu	12,3	32,6	34,9	68,00	65,77	2,23
20	Sorgho, 1er cycle, montaison	12,4	30,3	32,7	68,00	68,67	-0,67
21	Sorgho, 1er cycle, épiaison	10,0	33,6	35,9	62,00	62,49	-0,49
22	2 au 5ème cycle, montaison	12,2	32,3	34,6	60,00	65,91	-5,91
23	2 au 5ème cycle, épiaison	10,0	35,1	37,3	60,00	62,82	-2,82
26	Bersim, 3ème cycle, végétatif	18,9	21,6	24,5	72,00	76,96	-4,96
28	Luzerne, 1er cycle, végétatif	22,5	26,0	28,7	74,00	69,37	4,63
29	Luzerne, 1er cycle, bourgeonnement	18,6	28,7	31,2	70,00	66,02	3,98
30	Luzerne, 1er cycle, début floraison	17,1	31,0	33,4	67,00	65,30	1,70
31	Luzerne, 2ème cycle, bourgeonnement	22,0	25,5	28,2	68,00	71,65	-3,65
32	Luzerne, 2ème cycle, floraison	19,3	30,5	32,9	65,00	65,50	-0,50
34	Luzerne, 3 au 9ème cycle, floraison	18,2	33,9	36,2	63,00	60,97	2,03
35	Sulla, 1er cycle, bouton	19,9	20,0	23,0	74,00	79,48	-5,48
36	Sulla, 1er cycle, floraison	15,5	27,9	30,5	68,00	69,93	-1,93
41	Foin de vesce-avoine (+50% vesce), précoce	15,8	33,3	35,6	68,00	64,13	3,87
42	Foin de vesce-avoine (+50% vesce), tardif	12,3	26,8	29,4	66,00	64,19	1,81
43	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), précoce	10,4	28,0	30,6	68,00	66,85	1,15
44	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), tardif	9,9	33,3	35,6	63,00	61,83	1,17
45	Foin de vesce-avoine (-20% vesce), précoce	12,9	27,0	29,6	70,00	70,82	-0,82
46	Foin de vesce-avoine (-20% vesce), tardif	6,9	33,5	35,8	60,00	60,51	-0,51
47	Paille de d'avoine	3,4	39,0	41,0	50,00	54,74	-4,74
48	Paille blé	2,0	51,3	52,7	46,00	43,59	2,41
	N	31	31	31	31	31	31
	Moyenne	13,29	30,27	32,76	66,19	66,26	-0,07
	Ecart-type	5,17	6,00	5,70	6,78	7,33	3,11
	1Q	10,00	26,80	29,46	63,00	62,82	-2,82
	3Q	18,20	33,30	35,64	70,00	70,82	2,23
	Min	2,00	20,00	23,00	46,00	43,59	-5,91
	Max	22,50	51,30	52,74	82,00	81,44	4,63

Tableau 42. Fourrages méditerranéens retenus pour la validation de l'équation 2

Figure 17. Relation linéaire entre les valeurs de dMO calculées et celles mesurées *In vivo* des fourrages retenus

Il apparaît alors, en comparant les **tableaux 39, 41 et 42** que les fourrages les plus riches en azote sont ceux qui augmentaient les résidus des équations de la **figure 16**. L'échantillon des 71 fourrages du groupe 3 duquel sont tirées les équations 1 et 2 présente une teneur moyenne en MAT inférieure.

Il apparaît que le meilleur ajustement est obtenu avec des fourrages dont la teneur en azote est de l'ordre de 13-14%.

#### 4. Application des modèles de prédiction de l'ingestibilité des fourrages établis en chapitre 6 au calcul de l'ingestibilité des fourrages du groupe 5

---

La prédiction de l'ingestion est faite en deux étapes selon que l'on dispose de la teneur en CB ou en ADF :

**Etape 1.** Prédire le niveau alimentaire (équation 24 ou 26) :

$$NA = - 0,024ADF + 0,031MAT + 1,848 \quad (R^2 = 0,68; \text{ETR} = 0,23) \quad (24)$$

$$NA = - 0,0183CB + 0,034MAT + 1,581 \quad (R^2 = 0,61; \text{ETR} = 0,26) \quad (26)$$

**Etape 2.** Reporter la valeur trouvée du NA dans le modèle de prédiction de la QMSI (équation 21 et 23).

$$MSI(\text{gMS/kg P}^{0,75}) = 36,064NA + 0,232MAT + 0,532ADF - 11,225 \quad (R^2 = 0,90; \text{ETR} = 4,2) \quad (21)$$

$$MSI(\text{gMS/kg P}^{0,75}) = 32,495NA + 0,4819MAT + 0,486CB - 8,353 \quad (R^2 = 0,89; \text{ETR} = 4,31) \quad (23)$$

Les couples d'équations compatibles sont d'une part 24 et 21 (Cp1) et d'autre part 26 et 23 (Cp2). Les résultats des **tableaux 43 et 44** sont établis dans ces conditions.

##### 4.1. Etude globale du NA et de la QMSI en mettant en jeux Cp1 et Cp2

Tout d'abord, le calcul du niveau alimentaire avec les deux équations (24 et 26) utilisant d'une part l'ADF et d'autre part la CB, ne montre pas de différence (NA respectif de 1,52 et de 1,53). De même, toutes les caractéristiques statistiques calculées mettant en rapport les deux modèles sont comparables à l'exception de la valeur minimale calculée à l'aide de l'équation 24 qui est plus faible (NA de 0,69 contre 0,76). Cette différence s'observe au niveau de la paille de blé, riche en ADF. Or, le poids de l'ADF est plus élevé dans cette équation 24 que celui de la CB dans l'équation 26 (**Tableau 39**).

La QMSI moyenne estimée à l'aide des 2 équations 21 et 23 pour les 48 fourrages méditerranéens est de 64,01(21) et 62,47 (23) gMS/kgP<sup>0,75</sup> soit une différence faible de 1,5 points entre les deux équations (tous les autres paramètres étant identiques). A ces QMSI, il faut opposer celle moyenne des 48 fourrages méditerranéens qui est de 60,1 gMS/kgP<sup>0,75</sup>. Soit une différence de 3,8% pour l'équation (23) acceptant la CB et de 6,1 % pour l'équation acceptant l'ADF (**Tableau 39**).

Les CV de MSlo-MSIc21 et de MSlo-MSIc23 sont élevés (380%) et logique s'agissant d'ingestibilité de fourrages de qualité très différente.

Les régressions linéaires faites entre les QMSI observées et celles calculées sont sensées répondre à la question : MSlo et MSIc évoluent t'elles dans le même sens ? La

réponse donnée par la **figure 16** est positive. Mais la part de cette évolution dans la même direction n'est que de 32% avec néanmoins un « p » de 0, 00002 et un ETR de 11,3.

Il apparaît donc en moyenne que, par rapport à la nature du fourrage, les deux modèles de calcul de la MSI sur-estiment ou sous-estiment la MSI comparativement à la référence MSI<sub>0</sub>. La somme des résidus étant de 68%.

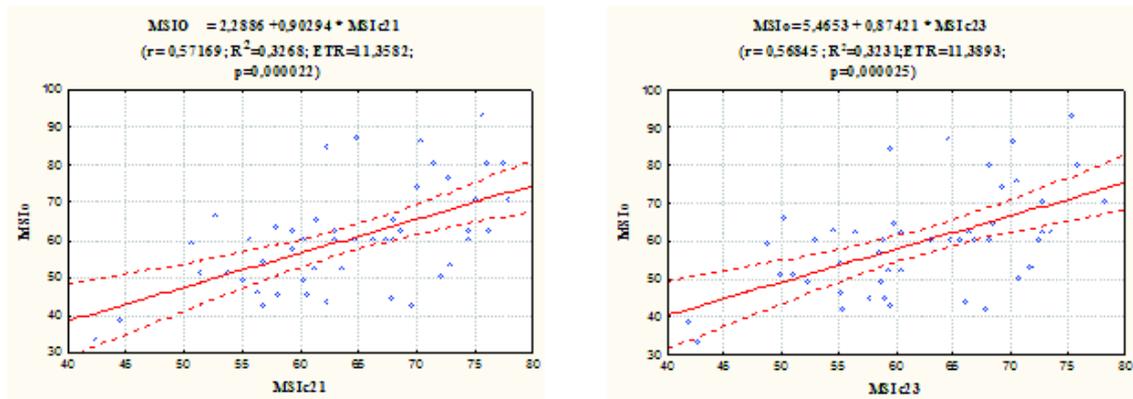


Figure 18. Régressions linéaires entre les QMSI observées et celles mesurées des fourrages du groupe 5.

L'étude des quartiles (**Figure 19**) de la MSI des 48 fourrages calculée avec les deux modèles de prédiction montre que, 25 % des fourrages présente un écart respectif de MSI avec MSI<sub>0</sub> inférieur à -11,42 (21) et -9,85 gMS/kgP<sup>0,75</sup> (23) le reste étant supérieur. En revanche, 75% des fourrages indiquent une différence inférieure à 3,48 (21) et 4,85 (23) gMS/kgP<sup>0,75</sup> (3Q). La médiane (Q2) indique que 50% des fourrages présentent une différence inférieure à -4,98 (21) et -3,47 (23) gMS/kgP<sup>0,75</sup>, le reste est inférieur. Il apparaît que la majorité des fourrages présente un écart plus faible avec MSI<sub>0</sub> lorsque la MSI est calculée à l'aide de l'équation 21

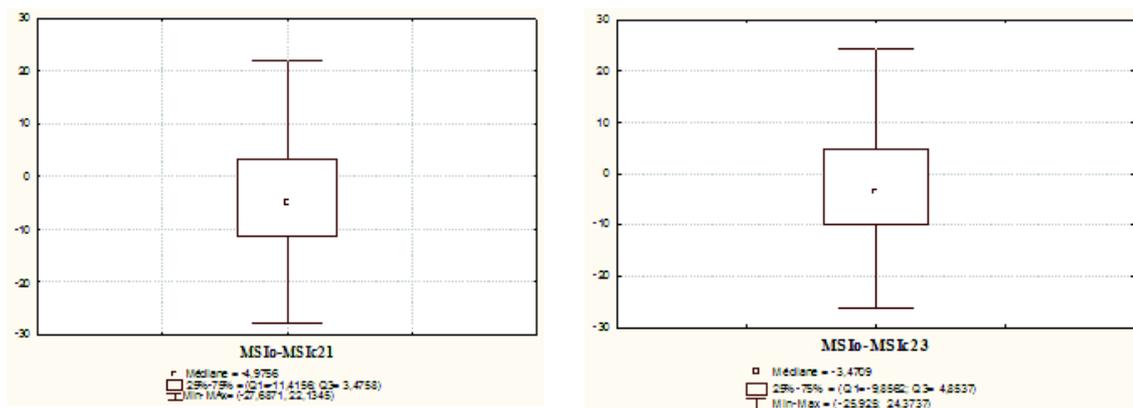


Figure 19. Diagramme des quartiles des équations 21 et 23

Pour mieux détecter les facteurs qui expliquent les 68% des variations de la MSI<sub>0</sub>-MSI<sub>c</sub> manquants, nous avons divisé l'échantillon de 48 fourrages en 4 sous-groupes de 12 fourrages qui correspondent aux quartiles 1 ; 2 ; 3 et 4.

#### 4.2. Premier sous-groupe : Quartile 1

Les fourrages de ce groupe sont présentés dans le **tableau 43**.

Sous groupe 1 formé par l'équation 21								
N°	Fourrages méditerranéens	MAT	CB	ADF	dMO (%)	MSI <sub>o</sub>	NAc (24)	MSI <sub>o</sub> -MSI <sub>c21</sub>
1	Foin de vesce-avoine (+50% vesce), précoce	15,80	33,30	35,64	68,00	87,00	1,48	22,13
2	Foin de vesce-avoine (+50% vesce), tardif	12,30	26,80	29,46	66,00	84,00	1,52	21,80
3	Luzerne, 2ème cycle, bourgeonnement	22,00	25,50	28,23	68,00	93,00	1,85	17,29
4	Luzerne, 2ème cycle, floraison	19,30	30,50	32,98	65,00	86,00	1,65	15,52
5	Foin de vesce-avoine (-20% vesce), tardif	6,90	33,50	35,83	60,00	66,00	1,20	13,21
6	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillu	17,00	17,00	20,15	83,00	80,00	1,89	8,35
7	Ray gras d'Italie, 1er cycle, épisaison	6,00	36,00	38,20	66,00	59,00	1,12	8,22
8	Ray gras d'Italie, 1er cycle, début épisaison	9,00	26,00	28,70	71,00	63,00	1,44	5,00
9	Orge, épisaison	8,40	30,60	33,07	67,00	60,00	1,31	4,27
10	Luzerne, 1er cycle, bourgeonnement	18,60	28,70	31,27	70,00	74,00	1,67	3,90
11	Luzerne, 1er cycle, végétatif	22,50	26,00	28,70	74,00	80,00	1,86	3,78
12	Seigle, épisaison	12,80	31,80	34,21	74,00	65,00	1,42	3,71
	N	12	12	12	12	12	12	12
	Moyenne	14,22	28,81	31,37	69,33	74,75	1,53	10,60
	Médiane	14,30	29,60	32,12	68,00	77,00	1,50	8,28
	Ecart-type	5,82	5,04	4,79	5,80	11,78	0,26	7,11
	Minimum	6,00	17,00	20,15	60,00	59,00	1,12	3,71
	Maximum	22,50	36,00	38,20	83,00	93,00	1,89	22,13
Sous groupe 1 formé par l'équation 23								
N°	Fourrages méditerranéens	MAT	CB	ADF	dMO (%)	MSI <sub>o</sub>	NAc (26)	MSI <sub>o</sub> -MSI <sub>c23</sub>
1	Foin de vesce-avoine (+50% vesce), tardif	12,30	26,80	29,46	66,00	84,00	1,51	24,37
2	Foin de vesce-avoine (+50% vesce), précoce	15,80	33,30	35,64	68,00	87,00	1,51	22,53
3	Luzerne, 2ème cycle, bourgeonnement	22,00	25,50	28,23	68,00	93,00	1,86	17,84
4	Luzerne, 2ème cycle, floraison	19,30	30,50	32,98	65,00	86,00	1,68	15,67
5	Foin de vesce-avoine (-20% vesce), tardif	6,90	33,50	35,83	60,00	66,00	1,20	15,67
6	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillu	17,00	17,00	20,15	83,00	80,00	1,85	11,85
7	Ray gras d'Italie, 1er cycle, épisaison	6,00	36,00	38,20	66,00	59,00	1,13	10,37
8	Ray gras d'Italie, 1er cycle, début épisaison	9,00	26,00	28,70	71,00	63,00	1,41	8,52
9	Orge, épisaison	8,40	30,60	33,07	67,00	60,00	1,31	6,97
10	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), précoce	10,40	28,00	30,60	68,00	62,00	1,42	5,52
11	Bersim, 3ème cycle, végétatif	18,90	21,60	24,52	72,00	76,00	1,83	5,34
12	Seigle, épisaison	12,80	31,80	34,21	74,00	65,00	1,43	5,12
	N	12	12	12	12	12	12	12
	Moyenne	13,23	28,33	30,96	69,00	73,41	1,51	12,48
	Médiane	12,55	29,25	31,79	68,00	71,00	1,47	11,11
	Ecart-type	5,07	5,17	4,91	5,44	11,69	0,23	6,71
	Minimum	6,00	17,00	20,15	60,00	59,00	1,13	5,12
	Maximum	22,50	36,00	38,20	83,00	93,00	1,86	24,37

MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; ADF : acid detergent fibre, dMO : digestibilité de la matière organique, MSI<sub>o</sub> : matière sèche ingérée observée ; NAc24 ou 26 : niveau alimentaire calculé par l'équation 24 ou 26, MSI<sub>c21</sub> et 23 : matière sèche ingérée calculée par l'équation 21 ou 23.

Tableau 43. Le premier sous groupe de fourrages pour l'équation 21 et 23

L'écart moyen MSI<sub>o</sub> et MSI<sub>c</sub> est de 10,6 et 12,48 gMS/kgP<sup>0,75</sup> respectivement pour l'équation 21 et 23. Le minimum est de 3,71 (21) et 5,12 (23) pour un seigle stade épisaison, soit une estimation correcte de l'ingestion. Pour, le maximum, un écart de 22,13 (21) et 24,37 (23) est noté pour un foin de vesce avoine, tardif ou précoce. Ce qui reste assez élevé pour une estimation de routine.

Pour les deux modèles confondus, l'ingestion moyenne calculée a été dans les fourrages de ce sous groupe de 11,5 gMS/kgP<sup>0,75</sup>, plus élevée que celle de MSI<sub>o</sub>.

Nous remarquerons que ce sous groupe est composé de 75% de fourrages verts, ils sont plus riches en azote (14,2%) que ceux des fourrages du groupe 3 (13,0%) qui ont servi à établir les équations de prédiction de l'ingestion. Par contre, la teneur en CB (28,8% contre 29,7) et en ADF (31,4 contre 31,5) sont très comparable. Mais la dMO de ce sous groupe

(69,3% contre 62,3) tout comme la MSI ( $74,7 \text{ gMS/kgP}^{0,75}$  contre 60,5) sont nettement plus élevées que celles des fourrages du groupe 3.

Les régressions linéaires (**Figure 20**) traduisant la corrélation entre la MS<sub>Io</sub> et celle calculée à l'aide des équations 21 et 23, indiquent un coefficient de détermination de 0,62 et 0,71 respectivement, soit près de 30 à 40% des variations de la MS<sub>Io</sub> sont expliqués par d'autres facteurs. Dans ce sous groupe, la CB contrôlerait mieux la MSI que l'ADF.

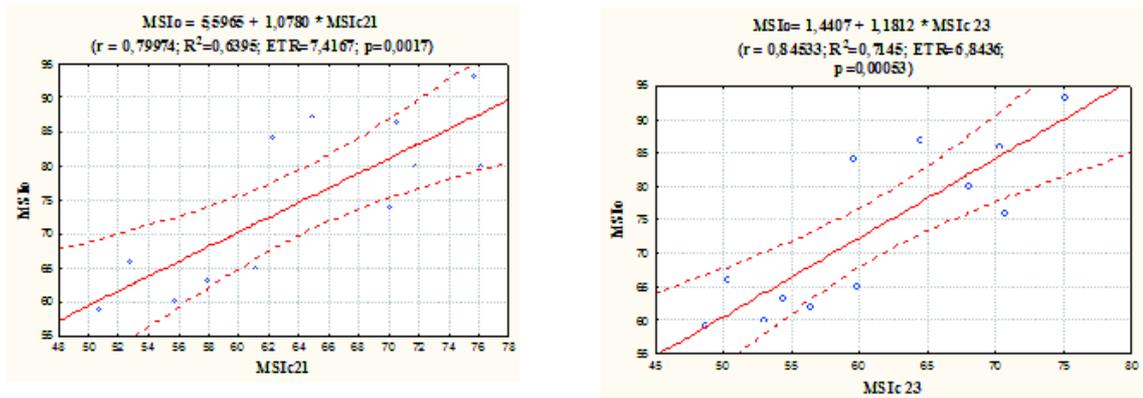


Figure 20. Régressions linéaires entre les QMSI observées et celles mesurées du 1<sup>er</sup> sous groupe

#### 4.3. Deuxième sous-groupe : Quartile 2

Les 12 fourrages appartenant à ce groupe sont rapportés dans le **tableau 44**.

Eléments princeps de la valeur alimentaire des fourrages algériens pour le ruminant

Sous groupe 2 formé par l'équation 21								
N°	Fourrages méditerranéens	MAT	CB	ADF	dMO (%)	MSI <sub>o</sub>	NAc (24)	MSI <sub>o</sub> -MSI <sub>c21</sub>
13	Bersim, 3ème cycle, végétatif	18,90	21,60	24,52	72,00	76,00	1,85	3,24
14	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), précoce	10,40	28,00	30,60	68,00	62,00	1,44	2,75
15	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillu	22,00	20,00	23,00	82,00	80,00	1,98	2,55
16	Sorgho, 1er cycle, feuillu	12,30	32,60	34,97	68,00	60,00	1,39	-0,36
17	Seigle, grain pâteux	7,10	38,70	40,77	70,00	51,00	1,09	-0,41
18	Foin de vesce-avoine (-20%), précoce	12,90	27,00	29,65	70,00	62,00	1,54	-0,95
19	Ray gras d'Italie, 2ème cycle, montaison	12,30	36,00	38,20	63,00	57,00	1,31	-2,29
20	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), tardif	9,90	33,30	35,64	63,00	54,00	1,30	-2,90
21	Sainfoin, 2 au 5ème cycle, 6-8 semaines	15,10	36,50	38,68	63,00	60,00	1,39	-2,91
22	Orge, grain pâteux	7,20	31,20	33,64	66,00	51,00	1,26	-2,92
23	Sainfoin, 1er cycle, floraison	18,50	35,00	37,25	74,00	65,00	1,53	-2,97
24	Sainfoin, 2 au 5ème cycle, 4-5 semaines	16,80	38,00	40,10	68,00	60,00	1,41	-4,73
	N	12	12	12	12	12	12	12
	Moyenne	13,62	31,49	33,92	69,92	61,50	1,46	-0,99
	Médiane	12,60	32,95	35,30	69,00	60,00	1,40	-1,62
	Ecart-type	4,73	6,17	5,86	5,43	8,89	0,25	2,62
	Minimum	7,10	20,00	23,00	63,00	51,00	1,09	-4,73
	Maximum	22,00	38,70	40,77	82,00	80,00	1,98	3,24
Sous groupe 2 formé par l'équation 23								
N°	Fourrages méditerranéens	MAT	CB	ADF	dMO (%)	MSI <sub>o</sub>	NAc (26)	MSI <sub>o</sub> -MSI <sub>c23</sub>
13	Luzerne, 1er cycle, bourgeonnement	18,60	28,70	31,27	70,00	74,00	1,69	4,58
14	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillu	22,00	20,00	23,00	82,00	80,00	1,96	4,24
15	Luzerne, 1er cycle, végétatif	22,50	26,00	28,70	74,00	80,00	1,87	4,10
16	Foin de vesce-avoine (-20%), précoce	12,90	27,00	29,65	70,00	62,00	1,53	1,44
17	Sorgho, 1er cycle, feuillu	12,30	32,60	34,97	68,00	60,00	1,40	1,00
18	Seigle, grain pâteux	7,10	38,70	40,77	70,00	51,00	1,11	0,92
19	Orge, grain pâteux	7,20	31,20	33,64	66,00	51,00	1,25	-0,06
20	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), tardif	9,90	33,30	35,64	63,00	54,00	1,31	-1,11
21	Ray gras d'Italie, 2ème cycle, montaison	12,30	36,00	38,20	63,00	57,00	1,34	-1,63
22	Sainfoin, 1er cycle, bourgeonnement	20,00	18,50	21,58	79,00	70,00	1,92	-2,75
23	Sainfoin, 2 au 5ème cycle, 6-8 semaines	15,10	36,50	38,68	63,00	60,00	1,43	-3,02
24	Fétuque élevée, 2ème cycle, début épisaison	8,00	30,80	33,26	66,00	49,00	1,29	-3,37
	N	12	12	12	12	12	12	12
	Moyenne	13,99	29,94	32,44	69,50	62,33	1,50	0,36
	Médiane	12,60	31,00	35,45	69,00	60,00	1,41	0,43
	Ecart-type	5,38	6,00	5,70	5,92	10,65	0,32	2,86
	Minimum	7,10	18,50	21,58	63,00	49,00	1,11	-3,37
	Maximum	22,50	38,70	40,77	82,00	80,00	1,96	4,58

MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; ADF : acid detergent fibre ; dMO : digestibilité de la matière organique ; MSI<sub>o</sub> : matière sèche ingérée observée ; NAc24 ou 26 : niveau alimentaire calculé par l'équation 24 ou 26 ; MSI<sub>c21</sub> et 23 : matière sèche ingérée calculée par l'équation 21 ou 23

Tableau 44. Le deuxième sous groupe de fourrages pour l'équation 21 et 23

La MSI des fourrages de ce groupe estimée par les équations 21 et 23 présente un écart moyen de seulement -0,99 (21) et 0,36 (23) gMS/kgP<sup>0,75</sup>. Les valeurs minimales sont -4,73 (21) et -3,37 (23), alors que les maximales s'établissent à 3,24 (21) et 4,58 (23).

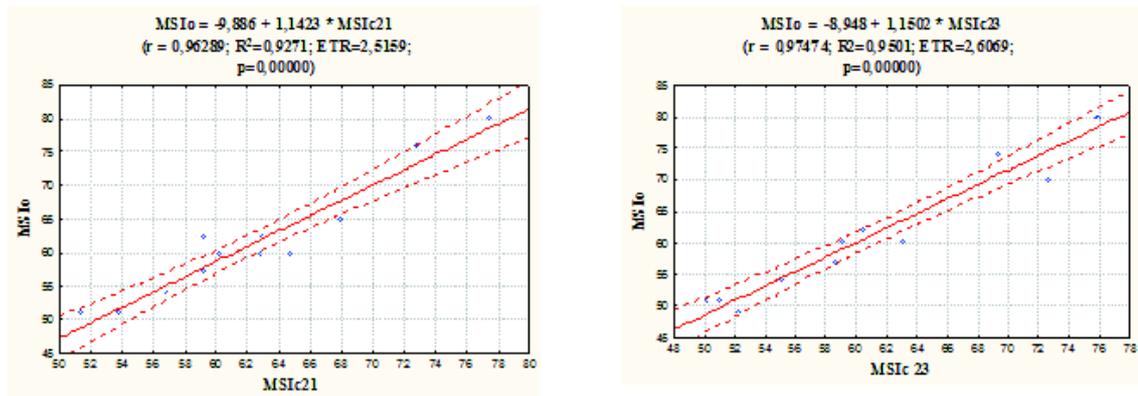


Figure 21. Régressions entre les QMSI observées et celles mesurées du 2<sup>ème</sup> sous groupe

La composition chimique (MAT et CB) et la digestibilité des fourrages de ce groupe sont assez comparables à celle du groupe 3 : 13,6 et 13,0 % ; 31,5 et 29,7% ; 68,9 et 62,3% respectivement.

Les régressions linéaires de la **figure 21** traduisent une excellente corrélation entre les valeurs MSIo et MSic ( $r=0,96$  et  $0,97$ ), avec un  $R^2$  de  $0,92$  (21) et  $0,95$  (23). La CB étant dans ce sous groupe, très légèrement meilleur prédicateur que l'ADF.

#### 4.4. Troisième sous groupe : Quartile 3

Le **tableau 45** rapporte l'ensemble des fourrages du sous groupe 3.

## Eléments princeps de la valeur alimentaire des fourrages algériens pour le ruminant

Sous groupe 3 formé par l'équation 21							
N°	Fourrages méditerranéens	MAT	CB	ADF	dMO (%)	MSI <sub>0</sub>	MSI <sub>0</sub> -MSI <sub>c21</sub>
25	Sainfoin, 1er cycle, bourgeonnement	20,00	18,50	21,58	79,00	70,00	1,95
26	Fétuque élevée, 2ème cycle, début épiaison	8,00	30,80	33,26	66,00	49,00	1,30
27	Sulla, 1er cycle, floraison	15,50	27,90	30,51	68,00	60,00	1,60
28	Paille de blé	2,00	39,00	41,05	50,00	38,00	0,92
29	Bersim, 4 et 5ème cycle, début floraison	16,30	23,70	26,52	66,00	62,00	1,72
30	Luzerne, 1er cycle, début floraison	17,10	31,00	33,45	67,00	60,00	1,58
31	Luzerne, 3 au 9ème cycle, floraison	18,20	33,90	36,21	63,00	60,00	1,54
32	Luzerne, 3 au 9ème cycle, végétatif	24,20	27,60	30,22	66,00	70,00	1,87
33	Sorgho, 1er cycle, montaison	12,40	30,30	32,79	68,00	52,00	1,45
34	Paille d'avoine	3,40	51,30	52,74	46,00	33,00	0,69
35	Sorgho, 2 au 5ème cycle, épiaison	10,00	35,10	37,35	60,00	46,00	1,26
36	Sorgho, 2 au 5ème cycle, montaison	12,20	32,30	34,69	60,00	49,00	1,39
	N	12	12	12	12	12	12
	Moyenne	13,28	31,78	34,19	63,25	54,08	1,44
	Médiane	13,95	30,90	33,36	66,00	56,00	1,50
	Ecart-type	6,62	8,13	7,72	8,66	11,67	0,37
	Minimum	2,00	18,50	21,58	46,00	33,00	0,69
	Maximum	24,20	51,30	52,74	79,00	70,00	1,95
Sous groupe 3 formé par l'équation 23							
N°	Fourrages méditerranéens	MAT	CB	ADF	dMO (%)	MSI <sub>0</sub>	MSI <sub>0</sub> -MSI <sub>c23</sub>
25	Sainfoin, 1er cycle, floraison	18,50	35,00	37,25	74,00	65,00	1,57
26	Paille de blé	2,00	39,00	41,05	50,00	38,00	0,94
27	Bersim, 4 et 5ème cycle, début floraison	16,30	23,70	26,52	66,00	62,00	1,70
28	Sulla, 1er cycle, floraison	15,50	27,90	30,51	68,00	60,00	1,60
29	Sainfoin, 2 au 5ème cycle, 4-5 semaines	16,80	38,00	40,10	68,00	60,00	1,46
30	Luzerne, 1er cycle, début floraison	17,10	31,00	33,45	67,00	60,00	1,60
31	Sorgho, 1er cycle, montaison	12,40	30,30	32,79	68,00	52,00	1,45
32	Luzerne, 3 au 9ème cycle, floraison	18,20	33,90	36,21	63,00	60,00	1,58
33	Luzerne, 3 au 9ème cycle, végétatif	24,20	27,60	30,22	66,00	70,00	1,90
34	Fétuque élevée, 2ème cycle, montaison	12,80	24,80	27,56	70,00	52,00	1,56
35	Sorgho, 2 au 5ème cycle, épiaison	10,00	35,10	37,35	60,00	46,00	1,28
36	Paille d'avoine	3,40	51,30	52,74	46,00	33,00	0,76
	N	12	12	12	12	12	12
	Moyenne	13,93	33,13	35,47	63,83	54,83	1,45
	Médiane	15,9	32,45	34,83	66,50	60,00	1,56
	Ecart-type	6,07	7,21	6,85	7,84	10,59	0,30
	Minimum	2,00	23,70	26,52	46,00	33,00	0,76
	Maximum	24,20	51,30	52,74	74,00	70,00	1,95

MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; ADF : acid detergent fibre, dMO : digestibilité de la matière organique, MSI<sub>0</sub> : matière sèche ingérée observée, NAc24 ou 26 : niveau alimentaire calculé par l'équation 24 ou 26, MSI<sub>c</sub> 21 et 23 : matière sèche ingérée calculée par l'équation 21 ou 23.

Tableau 45. Le troisième sous groupe de fourrages pour l'équation 21 et 23

Ce 3ème sous groupe présente des teneurs en MAT comparables à celles des fourrages du groupe 3 (13,3 contre 13,0) ; sa teneur en CB et ADF est légèrement plus élevée (31,8 et 34,2 contre 29,7) ; la dMO est comparable (63,2 contre 62,3). Par contre la MSI de ce groupe est plus faible (54g) contre 60,5 gMS/kgP<sup>0,75</sup> à cause de la présence de deux pailles de céréales. L'écart moyen de la MSIC s'établit à -7,8 (21) et -6,70 (23), avec des valeurs extrêmes de 11,2 et de -3,57 pour le minimum et le maximum respectivement. Le R<sup>2</sup> de 0,96 obtenu des régressions linéaires (**Figure 22**) est excellent. Soit une très bonne concordance entre MSI<sub>0</sub> et MSIC de ce sous groupe.

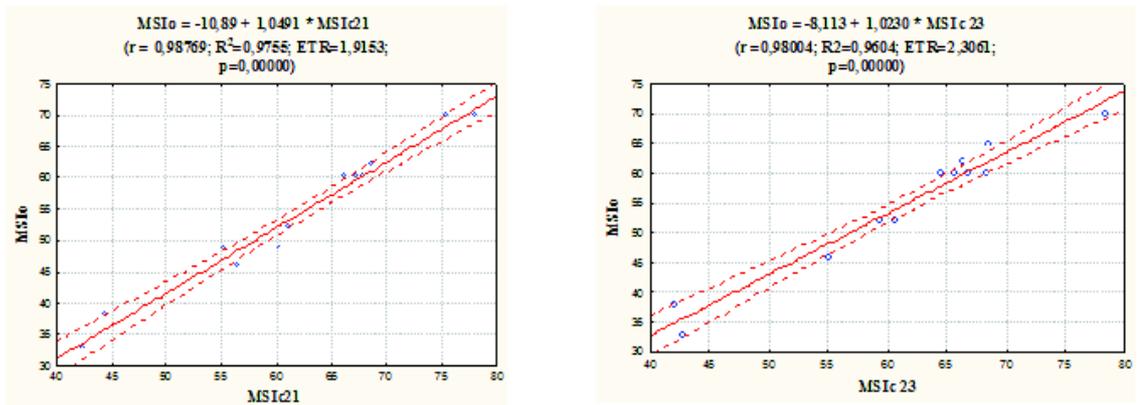


Figure 22. Régressions linéaires entre les QMSI observées et celles mesurées du 3<sup>ème</sup> sous groupe

#### 4.5. Quatrième sous groupe : Quartile 4

Sous groupe 4 formé par l'équation 21								
N°	Fourrages méditerranéens	MAT	CB	ADF	dMO (%)	MSIo	NAc (24)	MSIo-MSIc21
37	Fétuque élevée, 2ème cycle, montaison	12,80	24,80	27,56	70,00	52,00	1,58	-11,51
38	Bersim, 2ème cycle, végétatif	20,20	21,40	24,33	71,00	62,00	1,89	-12,58
39	Fétuque élevée, 1er cycle, épiaison	11,80	37,60	39,72	63,00	45,00	1,26	-13,10
40	Bersim, 1er cycle, végétatif	20,30	16,40	19,58	80,00	62,00	2,01	-14,30
41	Sulla, 1er cycle, bouton	19,90	20,00	23,00	74,00	60,00	1,91	-14,61
42	Sorgho, 1er cycle, épiaison	10,00	33,60	35,92	62,00	42,00	1,30	-14,94
43	Fétuque élevée, 1er cycle, début épiaison	12,40	32,30	34,69	64,00	45,00	1,40	-15,59
44	Orge, montaison	12,30	26,90	29,56	73,00	43,00	1,52	-19,17
45	Seigle, montaison	19,90	25,40	28,13	81,00	53,00	1,79	-19,90
46	Fétuque élevée, 1er cycle, feuillu	19,20	24,60	27,37	71,00	50,00	1,79	-22,21
47	Bromus catharticus, 1er cycle, fin montaison	16,20	25,80	28,51	76,00	44,00	1,67	-23,78
48	Orge, feuillu	17,40	24,90	27,66	81,00	42,00	1,72	-27,69
	N	12	12	12	12	12	12	12
	Moyenne	16,03	26,14	28,83	72,17	50,00	1,65	-17,45
	Médiane	16,80	25,15	27,89	72,00	47,50	1,70	-15,27
	Ecart-type	3,92	5,93	5,63	6,73	7,77	0,24	5,07
	Minimum	10,00	16,40	19,58	62,00	42,00	1,26	-27,69
	Maximum	20,30	37,60	39,72	81,00	62,00	2,01	-11,51
Sous groupe 4 formé par l'équation 23								
N°	Fourrages méditerranéens	MAT	CB	ADF	dMO (%)	MSIo	NAc (26)	MSIo-MSIc23
37	Sorgho, 2 au 5ème cycle, montaison	12,20	32,30	34,69	60,00	49,00	1,40	-9,87
38	Bersim, 2ème cycle, végétatif	20,20	21,40	24,33	71,00	62,00	1,88	-10,75
39	Bersim, 1er cycle, végétatif	20,30	16,40	19,58	80,00	62,00	1,97	-11,45
40	Sulla, 1er cycle, bouton	19,90	20,00	23,00	74,00	60,00	1,89	-12,42
41	Fétuque élevée, 1er cycle, épiaison	11,80	37,60	39,72	63,00	45,00	1,29	-12,66
42	Sorgho, 1er cycle, épiaison	10,00	33,60	35,92	62,00	42,00	1,31	-13,24
43	Fétuque élevée, 1er cycle, début épiaison	12,40	32,30	34,69	64,00	45,00	1,41	-14,19
44	Orge, montaison	12,30	26,90	29,56	73,00	43,00	1,51	-16,62
45	Seigle, montaison	19,90	25,40	28,13	81,00	53,00	1,79	-18,84
46	Fétuque élevée, 1er cycle, feuillu	19,20	24,60	27,37	71,00	50,00	1,78	-20,81
47	Bromus catharticus, 1er cycle, fin montaison	16,20	25,80	28,51	76,00	44,00	1,66	-21,92
48	Orge, feuillu	17,40	24,90	27,66	81,00	42,00	1,72	-25,93
	N	12	12	12	12	12	12	12,00
	Moyenne	15,98	26,76	29,43	71,33	49,75	1,63	-15,72
	Médiane	16,80	25,60	28,32	72,00	47,00	1,69	-13,71
	Ecart-type	3,80	5,90	5,61	7,26	7,41	0,23	4,87
	Minimum	10,00	16,40	19,58	60,00	42,00	1,29	-25,93
	Maximum	20,30	37,60	39,72	81,00	62,00	1,97	-9,87

MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; ADF : add d'azote fibre ; dMO : digestibilité de la matière organique ; MSIo : matière sèche ingérée observée ; NAc24 ou 26 : niveau alimentaire calculé par l'équation 24 ou 26 ; MSIc 21 et 23 : matière sèche ingérée calculée par l'équation 21 ou 23

Tableau 46. Le quatrième sous groupe de fourrages pour l'équation 21 et 23

Le quatrième sous groupe, rejoint le sous groupe 1 quant à la différence élevée de l'écart entre MSIo et MSIc. Elle est de -17,45 (21) et -15,72 (23). Le minimum étant de -27,6 (21) et -25,93 (23), alors que le maximum est de -11,5 (21) et -9,87 (23).

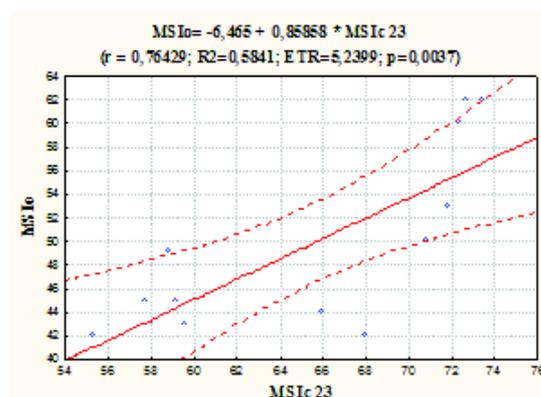
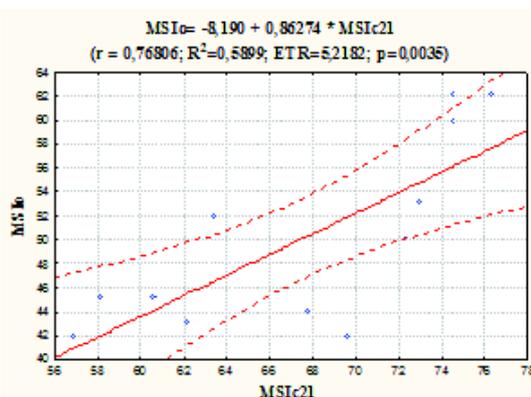


Figure 23. Régressions linéaires entre les QMSI observées et celles mesurées du 4<sup>ème</sup> sous groupe

Les fourrages de ce sous groupe présentent des discordances inhabituelles entre composition chimique (CB faible ; MAT élevées), valeur nutritive et alimentaire (dMO élevée) et MSI (faible) et NA (NA élevé). Il en ressort comme le montre la **figure 23**, un  $R^2$  moyen : 0,59 (21) et 0,58 (23), comparativement à celui des sous groupes 2 et 3.

Les deux sous groupes 4 et 1 moins bien ajustés à nos modèles de prédiction sont ceux dont la composition chimique et la valeur alimentaire sont les plus favorables. Plusieurs explications peuvent être apportées :

- Bon nombre de fourrages du groupe 5 présentent des caractéristiques chimiques et nutritives qui se situent en dehors des bornes de définition de nos modèles de prédiction.
- Il est évident que la taille de l'échantillon ayant servi à l'établissement des modèles est insuffisante. Elle demande à être augmentée comme il est prévu dans le plan général du travail sur les fourrages algériens.
- La MSI du sous groupe 4 est faible eu égard à la valeur nutritive des fourrages. Il n'est pas à rejeter que certains animaux de ce groupe n'étaient pas nourris en *ad libitum* ». Dans ces conditions, la MSI serait plus faible et la dMO plus élevée.

Néanmoins, dans les plages de la valeur nutritive des fourrages couramment utilisés en Algérie, nos modèles de prédiction de la MSI s'ajustent de façon très satisfaisante. C'est le cas notamment des sous groupes 2 et 3.

Des 48 fourrages méditerranéens que nous avons utilisés pour faire tourner nos modèles, 23 fourrages (**Tableau 47**) présentent en moyenne un écart avec MSIo très faible : 1,26 pour l'équation 21 et 0,30 seulement pour l'équation 23

Eléments princeps de la valeur alimentaire des fourrages algériens pour le ruminant

N°	Fourrages méditerranéens	MAT	CB	ADF	MSI <sub>o</sub>	MSI <sub>c21</sub>	MSI <sub>c23</sub>	MSI <sub>o</sub> -MSI <sub>c21</sub>	MSI <sub>o</sub> -MSI <sub>c23</sub>
		(% MS)			(gMS/kg P <sup>0.75</sup> )				
5	Fétuque élevée, 2ème cycle, début épiaison	8	30,8	33,3	49	55,13	52,64	-6,13	-3,37
8	Orge, épiaison	8,4	30,6	33,1	60	55,73	53,29	4,27	6,97
9	Orge, grain pâteux	7,2	31,2	33,6	51	53,92	51,35	-2,92	-0,06
11	Seigle, épiaison	12,8	31,8	34,2	65	61,29	59,54	3,71	5,12
12	Seigle, grain pâteux	7,1	38,7	40,8	51	51,41	49,29	-0,41	0,92
14	Ray gras d'Italie, 1er cycle, feuillu	22	20	23,0	80	77,45	76,24	2,55	4,24
15	Ray gras d'Italie, 1er cycle, début épiaison	9	26	28,7	63	58,00	55,35	5,00	7,65
17	Ray gras d'Italie, 2ème cycle, montaison	12,3	36	38,2	57	59,29	57,72	-2,29	-1,63
19	Sorgho, 1er cycle, feuillu	12,3	32,6	35,0	60	60,36	58,59	-0,36	1
26	Bersim, 3ème cycle, végétatif	18,9	21,6	24,5	76	72,76	71,22	3,24	5,34
27	Bersim, 4 et 5ème cycle, début floraison	16,3	23,7	26,5	62	68,58	66,81	-6,58	-4,31
28	Luzerne, 1er cycle, végétatif	22,5	26	28,7	80	76,22	75,46	3,78	4,10
29	Luzerne, 1er cycle, bourgeonnement	18,6	28,7	31,3	74	70,10	68,96	3,90	4,58
30	Luzerne, 1er cycle, début floraison	17,1	31	33,5	60	67,35	66,14	7,35	-6,79
36	Sulla, 1er cycle, floraison	15,5	27,9	30,5	60	66,17	64,55	-6,17	-4,58
37	Sainfoin, 1er cycle, bourgeonnement	20	18,5	21,6	70	75,22	73,65	-5,22	-2,75
38	Sainfoin, 1er cycle, floraison	18,5	35	37,3	65	67,97	67,21	-2,97	-3,57
39	Sainfoin, 2 au 5ème cycle, 4-5 semaines	16,8	38	40,1	60	64,73	63,91	-4,73	-5,55
40	Sainfoin, 2 au 5ème cycle, 6-8 semaines	15,1	36,5	38,7	60	62,91	61,76	-2,91	-3,02
43	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), précoce	10,4	28	30,6	62	59,25	56,93	2,75	5,52
44	Foin de vesce-avoine (20 à 50% vesce), tardif	9,9	33,3	35,6	54	56,90	54,83	-2,90	-1,11
45	Foin de vesce-avoine (<20%), précoce	12,9	27	29,7	62	62,95	60,91	-0,95	1,44
47	Paille de blé	2	39	41,1	38	44,43	41,62	-6,43	-3,96
	N	23	23	23	23	23	23	23	23
	Moyenne	13,63	30,08	32,58	61,70	62,96	61,22	-1,26	0,30
	1Q	9,00	26,00	28,70	57,00	56,90	54,83	-5,22	-3,57
	3Q	18,5	35,00	37,25	65,00	68,58	67,21	3,24	4,58
	Minimum	2,00	18,50	21,58	38,00	44,43	41,62	-7,34	-6,78
	Maximum	22,5	39,00	41,05	80,00	77,45	76,24	5	8,52
	Ecart-type	5,34	5,81	5,52	9,93	8,37	8,87	4,14	4,47

MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; ADF : acid detergent fibre ; dMO : digestibilité de la matière organique ; MSI : matière sèche ingérée observée ; NA<sub>c24</sub> : niveau alimentaire calculé par l'équation 24 ; CV : coefficient de variation ; MSI<sub>c21</sub> et 23 : matière sèche ingérée calculée par l'équation 21 ou 23 ; 1Q : 1<sup>er</sup> quantile ; 3Q : 3<sup>ème</sup> quantile.

Tableau 47. L'ensemble des fourrages de validation des équations de prédiction de l'ingestion

Le R<sup>2</sup> entre MSI<sub>o</sub> et MSI<sub>c</sub> (Figure 24) est de 0,82 (21) et 0,79 (23) avec une tendance significative (p=0,00000) où l'erreur type de l'estimation s'établit à 4,19 (21) et 4,58 (23)

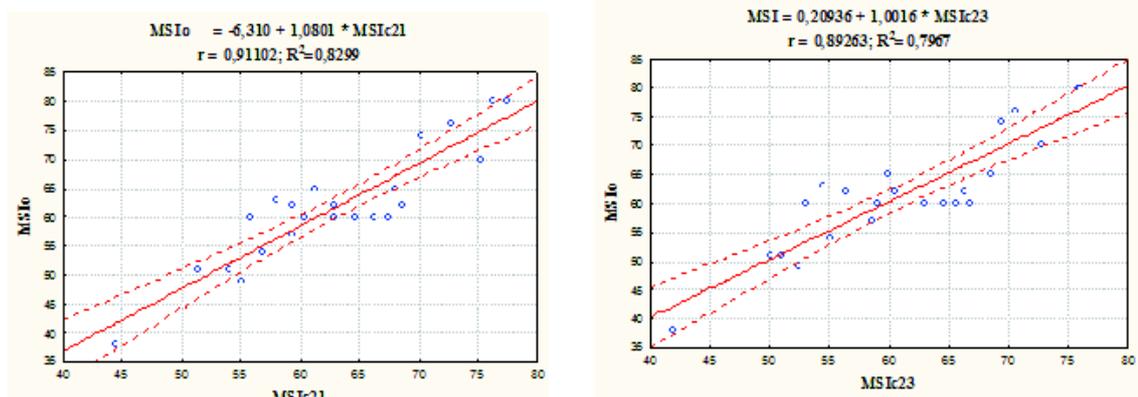


Figure 24. Régressions linéaires entre les MSIo et MSIc par les équations 21 et 23 des 23 fourrages tirés du groupe 5

Les caractéristiques de nos modèles :  $R^2$  (proche de 0,90) et ETR (autour de 4) sont comparables et parfois supérieures à celles rencontrées dans la littérature. Ainsi, l'INRA (2007), donne des équations de prédictions de l'ingestion par famille botanique (légumineuses ou graminées) et type de fourrage (vert ou conservé). Le  $R^2$  a varié entre 0,67 et 0,83 et l'ETR entre 3,1 et 9,5. Or, les équations établis par type de fourrages sont sensées être plus précises que celles établies à partir d'échantillons de fourrages composites comme c'est le cas pour nous

De même, **Dulphy et al (1999)** obtiennent une équation de prédiction des QMSI sur 51 fourrages différents (verts, ensilages, foin et pailles) avec un  $R^2$  de 0,34 et un ETR de 9,9 avec NDF comme variable explicative. Cependant, en corrigeant l'équation par la capacité d'ingestion, le  $R^2$  s'est trouvé amélioré de 54% soit 0,75 et l'ETR a été porté à 5,2.

L'ingestion est un paramètre difficile à standardiser, due essentiellement aux variations importantes des capacités d'ingestions des animaux. Les principaux facteurs qui contrôlent l'ingestion ont été discutés dans le **chapitre 6**.

## Chapitre 10. Application au calcul de l'ingestibilité des fourrages algériens

La démarche de prédiction de la MSI : calcul du NA (équation 24) reporté dans l'équation 21 a été appliquée à l'ensemble des fourrages étudiés par **Chibani et al, 2010** (fourrages du groupe 2). Les deux couples d'équations : 24-21 et 26-23 donnent globalement des résultats comparables, pour la prédiction de la MSI. Néanmoins, pour l'application générale de ces modèles de prédiction de la MSI aux fourrages algériens, nous avons choisi le couple 21-24 mettant en œuvre l'ADF. Cette expression de la paroi est en effet, de plus en plus préférée à la cellulose brute.

Par ailleurs, le système d'unité d'encombrement développé par **Dulphy et al (1987)** et **Dulphy et Demarquilly (1994)** a été appliqué à ces fourrages pour mieux les décrire. Les résultats apparaissent dans le **tableau 48** et l'analyse descriptive des fourrages retenus en **tableau 49**.

**Tableau 49. Statistique descriptive des fourrages et groupe de fourrages**

Partie III. Résultats et discussion

Tableau 48. Calcul de l'ingestion et du coefficient d'encombrement des fourrages algériens

N°	Aliment	Nbre Essais	MS %	MAT (%MS)	CB (%MS)	MM (%MS)	NDF (%MS)	ADF (%MS)	dMO %	NA	MSIM (g/kgP <sup>0,75</sup> )
1	Fétuque cycle 2 feuillue	2	17,4	20,9	21,4	13,3	50,4	24,3	73,2	1,91	75,53
2	Fétuque cycle 4 feuillue	2	20,0	17,2	24,1	13,7	53,5	26,9	70,1	1,74	69,67
3	Fétuque cycle 5 début épiaison	2	26,3	14,7	29,5	7,2	59,6	30	65,7	1,58	65,26
4	Ray-grass d'Italie cycle 1 feuillue	6	12,8	18,0	18,7	16,7	47,3	21,7	79,6	1,89	72,48
5	Ray-grass d'Italie cycle 1 épi à 10 cm	7	16,8	15,4	21,9	11	50,9	24,8	74,7	1,73	67,94
6	Ray-grass d'Italie cycle 2 épi à 10 cm	7	14,0	16,0	23,0	14,4	52,2	25,8	72,2	1,72	68,42
7	Ray-grass d'Italie épiaison	6	14,0	16,0	24,4	10,1	53,8	27,2	70,5	1,69	67,95
8	Ray-grass d'Italie fin épiaison	6	16,5	11,4	28,1	11,2	58	30,7	69	1,46	60,57
9	Ray-grass d'Italie floraison	7	24,7	9,4	31,8	8,9	62,2	34,2	64,3	1,32	56,70
10	Avoine montaison	4	16,9	15,7	27,5	14,3	57,3	30,1	73	1,61	66,58
11	Avoine floraison	8	25,4	7,4	31,9	9,2	62,3	34,3	57	1,25	53,97
12	Avoine grain laiteux	14	31,8	8,2	37,3	9,2	68,5	39,4	55	1,16	53,35
13	Avoine grain vitreux	4	61,0	6,5	36,2	9,4	67,2	38,4	56	1,13	51,39
14	Orge feuillu	4	12,2	23,0	29,2	14,3	59,3	31,7	79,8	1,80	75,90
15	Orge montaison	6	13,9	17,0	25,2	12,8	54,7	27,9	73,9	1,71	69,07
16	Orge floraison	3	27,0	11,4	34,8	11	65,7	37,1	64,9	1,31	58,44
17	Orge grain laiteux	4	25,0	9,6	32,6	10,6	63,1	35	62	1,31	56,71
18	Orge grain pâteux	4	31,2	8,0	33,8	7,1	64,5	36,1	63,8	1,23	54,18
19	Sorgho cycle 1 montaison	4	16,4	9,2	27,5	11,3	57,3	30,1	63	1,41	57,80
20	Sorgho début épiaison	3	19,7	8,3	30,1	10	60,3	32,6	61	1,32	55,75
21	Sorgho épiaison	3	22,2	7,4	32,4	8,5	62,9	34,8	60	1,24	53,80

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; NDF : detergent fiber; dMO : digestibilité de la matière organique ; MSI : matière sèche ingérée ; NA : niveau alimentaire ingérée, M B V : mouton, bovin, vache ; VE : valeur d'encombrement ; M B V : mouton, bovin, vache

Tableau 48 (suite). Calcul de l'ingestion et du coefficient d'encombrement des fourrages algériens

N°	Aliment	Nbre Essais	MS %	MAT (%MS)	CB (%MS)	MM (%MS)	NDF (%MS)	ADF (%MS)	dMO %	NA	MSIM (g/kgP <sup>0,75</sup> )
22	Sorgho floraison	2	23,8	6,7	33,4	6,0	64,0	35,7	59	1,20	52,56
23	Sorgho grain laiteux	2	24,9	6,2	30,2	5,8	60,4	32,7	60	1,26	52,88
24	Sorgho grain pâteux dur	2	37,0	5,5	29,6	7,9	59,7	32,1	61	1,25	52,14
25	Sorgho cycle 2 épiaison	4	17,6	10,6	28,6	11,8	58,6	31,2	62	1,43	59,32
26	Sorgho floraison	4	23,6	8,1	31,3	9,7	61,7	33,7	62	1,29	55,12
27	Sorgho fin floraison	2	25,7	6,4	34,7	9,1	65,6	37	58	1,16	51,72
28	Sorgho grain pâteux	2	29,9	5,8	34,0	10,2	64,7	36,3	60	1,16	51,14
29	Sorgho cycle 3 début épiaison	3	17,6	13,2	28,2	10,4	58,1	30,8	62	1,52	62,97
30	Luzerne cycle 1 végétatif	8	15,8	25,2	23,0	10,8	52,2	25,8	77	2,01	80,84
31	Luzerne bourgeonnement	5	20,3	23,3	25,6	10,4	55,2	28,3	69	1,89	77,44
32	Luzerne début floraison	4	24,5	20,6	28,6	8,0	58,6	31,2	62	1,74	72,82
33	Luzerne gousses	2	30,3	15,4	34,8	9,8	65,7	37,1	58	1,44	63,84
34	Luzerne cycle 2 début floraison	5	23,8	21,6	29,1	9,0	59,2	31,6	65	1,76	74,04
35	Luzerne floraison	4	26,2	17,8	31,5	9,5	61,9	33,9	61	1,59	68,14
36	Luzerne fin floraison	3	32,2	15,7	36,2	8,5	67,2	38,3	59	1,42	63,84
37	Luzerne cycle 3	5	25,4	24,3	25,2	8,8	57,7	27,9	67	1,93	78,92

Ensemble fourrages verts							
	NA	QMSIM (g/kgP <sup>0,75</sup> )	VEM (en UE)	QMSIB g/kgP <sup>0,75</sup>	VEB (en UE)	QMSIV (g/kgP <sup>0,75</sup> )	VEV (en UE)
Moyenne	1,58	65,73	1,16	86,10	1,11	132,30	1,06
1 Q	1,32	57,35	1,02	77,97	1,01	125,37	1,01
3Q	1,80	73,60	1,31	93,72	1,22	138,80	1,12
Minimum	1,13	51,14	0,93	71,96	0,94	120,24	0,97
Maximum	2,01	80,84	1,47	100,73	1,32	144,77	1,16
Ecart type	0,26	8,84	0,16	8,56	0,11	7,30	0,06
Graminées en vert							
Moyenne	1,44±0,24	60,3±7,82	1,26±0,15	80,8±7,57	1,18±0,10	127,8±6,46	1,09±0,05
Légumineuses en vert							
Moyenne	1,74±0,16	72,38±5,03	1,04±0,07	92,54±4,88	1,02±0,05	137,7±4,16	1,01±0,03
Céréales fourragères en vert							
Moyenne	1,32±0,18	56,74±6,43	1,33±0,12	77,38±6,23	1,23±0,08	124,8±5,31	1,12±0,04
Luzerne en vert							
Moyenne	1,72±0,18	72,9±5,79	1,03±0,08	93,07±5,61	1,02±0,06	138,2±4,78	1,01±0,03
Trèfle d'Alexandrie en vert							
Moyenne	1,75±0,14	71,61±4,43	1,05±0,06	91,79±4,80	1,03±0,04	137,15±3,66	1,02±2,02
Vesce-avoine et pois-avoine en vert							
Moyenne	1,39±0,12	59,7±3,58	1,26±0,07	80,25±3,47	1,18±0,05	127±2,95	1,1±0,02
Ensemble fourrages secs							
Moyenne	1,27±0,33	58,15±10,57	1,32±0,23	78,75±10,21	1,22±0,15	126,03±8,70	1,11±0,07
QMSI : quantité de matière sèche ingérée, MB V : mouton, bovin, vache ; VE : valeur d'encombrement ; UE : unité d'encombrement.							

Tableau 49. Statistique descriptive des fourrages et groupe de fourrages

Pour l'ensemble de ces 71 fourrages, le NA a varié de 0,91 à 2,01. Il est en moyenne de 1,55. 75% des animaux ont été à un NA supérieur ou égale à 1,31 lorsque les fourrages ont été distribués à volonté. La VEM a varié entre 0,92 (luzerne, cycle 1, végétatif) et 1,62 (paille de blé), la capacité d'ingestion du mouton Ouled Djellal standard de 50 kg a varié entre 0,865 kg de MS (paille de blé) et 1,5 (luzerne, cycle 5 végétatif). Pour les mêmes fourrages, elle a varié entre 6,0 et 9,0 kg de MS pour le bovin et entre 10,4 et 13 kg de MS pour la vache produisant 25 kg de lait à 4% au 4<sup>ème</sup> mois de gestation.

Les 5 catégories de fourrages : graminées, luzerne, céréales fourragères, fourrages composés et trèfle d'Alexandrie de notre recueil de fourrages (NF) ont leur correspondance dans la table **INRA (1978)** (TI). Une analyse comparative montre que la QMSI relevée dans la TI est plus élevée pour les graminées (fétuque élevée et rays gras Italien) : 71g contre 65 g de MS/kg P<sup>0,75</sup> (+8%). Cette différence s'accroît pour la luzerne, 81g contre 70 (+14%) et pour le trèfle d'Alexandrie, également 80 g versus 70 g. Il se pourrait que le mouton

amélioré des pays du Nord, ait une capacité d'ingestion plus élevée pour les fourrages de bonne qualité.

En revanche, pour les céréales fourragères, dont la teneur en CB est respectivement de 29 et 31% pour la TI et pour NF (+7%) et celle en MAT comparable (10,7 contre 10,4), la QMSI de la TI est de 52 g contre 54 g/kgP<sup>0,75</sup> pour NF. Nos moutons valoriseraient probablement mieux les fourrages riches en CB.

## 1. Discussion

### 1.1. Validité et analyse des modèles de prédiction

Les modèles sont sensés donner une représentation simplifiée mais fiable du système complexe qui est la régulation de l'ingestion chez le ruminant où interviennent de nombreux facteurs liés à l'animal, aux fourrages, à l'environnement et au mode de conduite du troupeau (Lønne Ingvartsen, 1994). Ils vont de la régression linéaire simple ou multiple du premier degré à l'emploi de fonctions quadratiques, exponentielles ou logarithmiques. Plus de 100 modèles de prédiction de la MSI utilisant plus de 70 variables sont relevés dans la littérature (Faverdin, 1992 ; Lønne Ingvartsen, 1994 ; Pittroff et Kothmann 2001b ; INRA, 2007). Néanmoins, 70% de celles effectivement utilisées par les auteurs pour construire leurs modèles, sont liés au fourrage. La composition chimique et l'âge de la plante par espèce par exemples, sont les plus utilisés en France (INRA, 2007) et au Danemark (Lønne Ingvartsen, 1994).

Dans notre cas, compte tenu de la variabilité des conditions d'exploitation des fourrages en Algérie d'une année à l'autre, d'une maîtrise insuffisante des techniques de confection des foin et d'un nombre faible d'espèces fourragères exploitées, l'utilisation d'un échantillon de fourrage composite était justifiée. D'autres auteurs l'on fait avec succès notamment Dulphy et al (1999) avec un échantillon composé de 16 fourrages verts ; 19 ensilages d'herbes ; 14 foin et 2 pailles de céréale. Le R<sup>2</sup> et la précision ont été respectivement de 0,75 et de 5,2 g de MS/kgP<sup>0,75</sup>.

Nos résultats montrent que, la part de la QMSI expliquée par la composition chimique est globalement faible comparée à celle observée dans la littérature. Elle est de 46% pour la MAT qui dans ce travail est la meilleure variable explicative de la QMSI. La CB, l'ADF, la dMO et la MS n'expliquent qu'entre 22 et 35%. Les MM et la MS ne sont pas des variables communément utilisées pour la prédiction des quantités ingérées. Les teneurs en MM varie sensiblement avec la souillure de l'échantillon par de la terre ou du sable au cours de la récolte (Meissner et Paulsmeier, 1995), ce qui est fréquent en Algérie. Quant à la MS, influencée par l'humidité de l'air, elle n'est pas de surcroît une variable fiable dans les conditions d'exploitation des fourrages algériens.

Comme on pouvait s'y attendre, la dMO et la QMSI des fourrages évoluent dans le même sens. Aussi, elles sont impactées toutes les deux négativement lorsque le taux de CB augmente dans la plante et inversement pour les MAT. Ainsi, la dMO explique 50 à 70% de la QMSI pour les fourrages français (Demarquilly et al, 1981) contre 31% dans ce travail ; l'addition de la CB n'améliore ni le R<sup>2</sup> ni la précision qui reste faible : 10,4 g de MS/kgP<sup>0,75</sup> (Tableau 33). Cette contribution plus faible de la dMO pour expliquer les variations de la QMSI pourrait se comprendre par le fait que, si la QMSI progresse

effectivement avec le dMO, elle n'augmente plus lorsque la dMO dépasse 70% (Demarquilly *et al*, 1981, Demarquilly et Andrieux 1992) ; or dans notre échantillon, 8 fourrages sur 20 (40%) présentent une dMO supérieure à 70%. De même, des raisons de palabilité entre fourrages, pourraient expliquer des différences importantes de MSI pour une même dMO (Baumont *et al*, 2000). D'autre part, dans la mesure où les fourrages riches en CB sont mieux digérés par nos moutons que ceux des pays du Nord (Bennour, 1990 ; Chabaca, 2004), la présence de la CB comme variable explicative dans nos modèles pourraient les affaiblir comparativement aux modèles français par exemple. La précision de nos modèles bâtis à partir de la composition chimique est en moyenne plus faible : 10,6 g de MSI/kgP<sup>0,75</sup> contre, pour les fourrages verts : 4,8 ; 5,7 ; 5,8 et 5,0 g respectivement pour la dMO, la CB, les MAT et l'association MATxCB et 6,9 ; 6,6 ; 7,0 et 6,3 g/kgP<sup>0,75</sup> pour les fourrages secs français (Demarquilly *et al*, 1981).

Enfin, le caractère composite de notre échantillon avec la présence en son sein, d'espèces différentes de fourrages verts, de fourrages secs et de paille pourrait générer des liaisons plus faibles entre QMSI, composition chimique et la dMO ; on sait par exemple que l'ingestion du foin est moins liée à la composition chimique que celle du fourrage vert (Faverdin, 1992). De même, on sait que, chaque fourrage se caractérise par une courbe d'ingestibilité qui lui est propre, la meilleure prédiction de la QMSI serait donc obtenue lorsqu'elle est faite par espèce de fourrage (Dulphy *et al*, 1990 ; INRA 2007).

Cependant, des résultats du même ordre de grandeur que les nôtres ou parfois plus faibles sont rencontrés dans la littérature. Ainsi, **Golding *et al*, 1976 ; Andueza *et al*, 2004** rapportent des  $R^2$  variant entre 0,40 et 0,17, lorsque NDF, ADF et les MAT sont utilisés comme variables explicatives et des précisions de l'ordre de 10 g de MS /kgP<sup>0,75</sup>.

En revanche, dans ce travail, le NA seul explique 85% des variations de la MSI (**tableau 33**). Cette valeur est élevée au regard de celles inventoriées dans la littérature pour des variables explicatives diverses (**Lønne Ingvarsten 1994**), néanmoins, pas surprenant. En effet, il est calculé à partir de la MSI et de la dMO directement mesurées sur l'animal. La variable NA est intéressante en ce sens qu'il intègre la dMO qui varie peu avec les espèces et les races de ruminants à intérêt zootechnique ; la capacité d'ingestion des animaux, plus variable et enfin, l'expression P<sup>0,75</sup> qui intègre une fonction allométrique qui favorise les comparaisons et les transferts de la MSI, mesurée sur moutons, à d'autres espèces de ruminants. Le NA intègre donc, l'essentiel des mécanismes qui déterminent la prise alimentaire chez l'animal.

Pour prédire la QMSI, le NA estimé par les équations 24 ou 26, est reporté dans l'équation 23 ou 21 (selon que l'on dispose de la CB ou de l'ADF). Le NA ne présenterait cependant aucun intérêt dans un modèle de prédiction s'il fallait le mesurer sur l'animal, c'est pourquoi l'intérêt était de le prédire par la CB, l'ADF associés aux MAT, facilement obtenus par des méthodes de routine. Les équations 25 et 26 montrent que les MAT contribuent davantage à l'établissement du NA que la CB, ce résultat était perceptible dans les équations (1) et (2).

L'association de la MS aux MAT, améliore  $R^2$  de 13% et la précision de 21%. Les raisons de l'efficacité de la MS dans l'établissement des modèles de prédiction dans le cadre algérien ont été expliquées plus haut. Une amélioration de la gestion des récoltes

fourragères en Algérie pourraient fragiliser l'équation 25 bien que meilleure. Aussi, nous préconisons l'emploi de l'équation 24 ou 26 selon que l'on dispose de la CB ou de l'ADF.

## 1.2. Application du système français d'unités d'encombrement

Le système des Unités d'Encombrement (UE) a pour objectif d'exprimer et de prévoir à la fois l'ingestibilité des aliments (quantité de MS ingérée, mesurée sur un animal standard et exprimée en  $g/kg P^{0,75}$ ) et la capacité d'ingestion des ruminants domestiques. Le fourrage de référence (INRA, 1978) a une valeur d'encombrement (VE) de 1 unité. En ce sens, il est bâti sur le même principe que les systèmes nutritionnels (Dulphy et al, 1987). Notre travail tant en terme de référent aliment ou animal est compatible pour l'ovin avec le système d'UE. L'INRA (1978) l'a utilisé en l'état pour décrire l'ingestibilité des fourrages méditerranéens. De même, Alibes et Tisserand (1990) l'ont envisagé pour leur table de valeur alimentaire des fourrages méditerranéens. Néanmoins, le système, surestimerait pour l'ovin algérien la VE des fourrages riches en parois. Par ailleurs, la typologie des bovins exploités en Algérie (1,5 millions de têtes) est complexe. Un transfert de l'UEM au bovin (référent génisse de 400 kg) par le modèle :  $QMSIB = 22,4 + 0,969 QMSIM$  et aux vaches (vache produisant 25 litres de lait) par le modèle :  $QMSIV = 78,0 + 0,826 QMSIM$  (Dulphy et al, 1987 ; Dulphy et Demarquilly, 1994) pourrait buter sur l'animal référent qui ne se reconnaîtrait que dans 20% de la population bovine algérienne. En effet, cette dernière est composée de 60% de races locales très rustiques (mâle 400- 450 kg ; femelles 300- 350 kg), 20% d'animaux croisés de façon anarchique avec des races françaises notamment et 20% de bovins dits modernes (Pie noire, Montbéliarde et Holstein). En effet, des différences importantes d'ingestion d'un même fourrage entre des animaux indigènes bien adaptés au milieu et des animaux importés sont connues (Mould et al, 1983 ; Assoumaya et al, 2007).

Le système des UE conviendrait en Algérie, pour les ovins (20 millions de têtes) dont deux races, Ouled djellal et le Rembi (femelles 55- 60 kg et mâles 80- 90 kg), qui représentent 80% des effectifs et pour les bovins modernes et éventuellement les bovins croisés. Pour ces derniers, la vache référent de 17 kg de lait de la première version du système des UE (Dulphy et al, 1987) serait peut être plus adéquat. Le passage QMSIM à MSIV 17 kg de lait (à 4% au 4<sup>ème</sup> mois de lactation) est obtenu par l'équation :  $MSIV_{17} = 79 + 0,584 QMSIM$ .

### Conclusion

En Algérie, les disponibilités en produits animaux se situent à un niveau inférieur à celui des pays méditerranéens proches et sont très en deçà des pays d'Europe. Pourtant, l'Algérie est un pays agro-pastoral à vocation ovine par la diversité de ses ressources et de ses terroirs. Ce déficit en protéines animales notamment en viande rouge qui persiste est lié aux différentes lacunes dont souffre l'élevage algérien, malgré les efforts fournis par les pouvoirs publics et les solutions proposées par les spécialistes du domaine pour améliorer la situation.

Parmi ces lacunes, la connaissance de la valeur nutritive et de la valeur alimentaire des différents supports alimentaires dont disposent nos ruminants est un élément à prendre en compte dans une politique de rationalisation et de développement de l'élevage de notre pays.

Dans ce travail, nous nous proposons principalement :

### 1. d'établir des modèles de prédiction de la valeur nutritive des fourrages algériens :

Certes dispersée avec un déficit de coordination, mais l'étude des fourrages algériens a été très active. En effet, près de 600 essais ont été effectués en 50 ans, représentant près de 80 fourrages soit 12 par an. L'échantillon étudié présente une gamme de fourrages très représentatifs de la diversité rencontrée et de ce qui est consommé par les animaux en Algérie. Néanmoins, les plus consommés donc les plus étudiés, sont situés dans le premier quartile des 80 fourrages dont la digestibilité de la matière organique ne dépasse pas 65%.

Bien que moins usités que les modèles par espèce végétales, les modèles « toutes espèces » dans notre cas ont donné des résultats de  $R^2$  et de précision comparable et parfois meilleure que ceux proposés dans la littérature pour des espèces seules. La cellulose brute et le complexe cellulose-lignine (ADF) ont été les meilleurs prédicteurs pour la digestibilité de la matière organique et pour les UF lait et viande. Quant à l'azote, exprimé en matières azotées digestibles, la prédiction par la teneur en azote des fourrages est excellente. Les modèles que nous retenons (sur 71 fourrages) pour une prédiction de routine sont :

- $dMO = -1,14CB + 99,18$  (1) ( $R^2=0,70$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=3,92$ )
- $dMO = -0,8597CB + 1,1514MM + 79,06$  (2) ( $R^2=0,77$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=3,42$ )
- $dMO = -1,198ADF + 103,87$  (3) ( $R^2=0,75$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=3,33$ )
- $dMO = -0,90ADF + 1,177MM + 82,25$  (4) ( $R^2=0,79$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=3,24$ )
- $UFL = -0,0018CB + 1,3585$  (5) ( $R^2=0,74$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=0,06$ )
- $UFL = -0,0014CB + 0,0018MM + 1,0427$  (6) ( $R^2=0,79$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=0,05$ )
- $UFL = -0,0192ADF + 1,4333$  (7) ( $R^2=0,76$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=0,06$ )
- $UFL = -0,0146ADF + 0,0184MM + 1,0943$  (8) ( $R^2=0,80$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=0,05$ )
- $UFV = -0,0021CB + 1,350$  (9) ( $R^2=0,75$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=0,07$ )
- $UFV = -0,0016CB + 0,0021MM + 0,9763$  (10) ( $R^2=0,79$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=0,06$ )
- $UFV = -0,0219ADF + 1,4349$  (11) ( $R^2=0,77$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=0,06$ )
- $UFV = -0,0163ADF + 0,0218MM + 1,0339$  (12) ( $R^2=0,79$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=0,05$ )
- $MAD = 8,824MAT - 22,43$  (13) ( $R^2=0,94$  ;  $p<0,001$  ;  $ETR=12,8$ )

Sur la base du  $R^2$  et de l'ETR, ces équations sont comparables et parfois supérieures à celles notamment de l'INRA France (utilisées couramment pour prédire la digestibilité de la matière organique, des UF lait et viande ainsi que des matières azotées digestibles des fourrages algériens). Nous les préconisons pour calculer la valeur énergétique des fourrages algériens, elles sont plus adaptées. Il convient néanmoins de ne pas utiliser les modèles incluant les matières minérales si on n'est pas certain que le fourrages n'est pas exempt de souillures par de la terre.

### 2. De prédire l'ingestion des fourrages algériens afin d'apprécier leur valeur alimentaire :

L'utilisation de la composition chimique pour prédire directement l'ingestion chez l'ovine n'est pas satisfaisante en termes de précision. La variable de prédiction la plus intéressante

est le niveau alimentaire. Ceci nous a conduit pour prédire la quantité de matière sèche ingérée par le mouton, d'établir deux équations l'une pour estimer le niveau alimentaire par le biais de la composition chimique, l'autre combinant composition chimique et niveau alimentaire pour calculer l'ingestion des fourrages.

Les deux couples d'équations proposés donnent des résultats satisfaisants pour la précision de la prédiction:

$$NA = -0,024ADF + 0,031MAT + 1,848 \quad (R^2 = 0,68; ETR = 0,23) \quad (24)$$

$$MSI(gMS/kg P^{0,75}) = 36,064NA + 0,232MAT + 0,532ADF - 11,225 \quad (R^2 = 0,90; ETR = 4,2) \quad (21)$$

et

$$NA = -0,0183CB + 0,034MAT + 1,581 \quad (R^2 = 0,61; ETR = 0,26) \quad (26)$$

$$MSI(gMS/kg P^{0,75}) = 32,495NA + 0,4819MAT + 0,486CB - 8,353 \quad (R^2 = 0,89; ETR = 4,31) \quad (23)$$

La méthode appliquée à tous les fourrages disponibles a permis de fournir enfin, un tableau complet de la valeur alimentaire des fourrages algériens. La précision est excellente, elle pourrait en être encore améliorée par l'augmentation de la taille des échantillons ayant servi à l'établissement des modèles de prédictions.

### 3. Reconstituer l'échantillon historique des 80 fourrages étudiés depuis 50 ans :

Ce travail de reconstitution s'étalera sur une durée de 4 ans. La première année a concerné 54 fourrages d'espèces, de cycles et de stades différents. Les premières données de la composition chimique n'appellent pas de commentaires particuliers pour la MS, la MM et les composés pariétaux. En croisant ces fourrages avec ceux du groupe 2 homologues, les deux échantillons présentent des similitudes très satisfaisantes (MS) à satisfaisante (CB et MAT).

Enfin, au vu des premiers résultats de la reconstitution de l'échantillon historique, il nous semble que ce rétablissement semble avoir de bonne chance de réussite à l'issue des 4 années d'études prévues.

### 4. Comparer deux méthodes de dosage des fourrages (SPIR et dosage chimique) afin d'en adopter une pour la suite des travaux :

La SPIR semble prédire avec une bonne précision les composants chimiques des fourrages dosés sauf pour la lignine. Les  $R^2$  obtenus en reliant la méthode de référence (dosage chimique) à celle par SPIR montre que SPIR explique 65 à 87% des variations des MAT, NDF et ADF dosée par la méthode de référence, et 12% pour la lignine

Cette technique se révèle donc intéressante pour la suite des travaux après quelques corrections.

### 5. Perspectives

L'objectif final étant l'établissement d'une table moderne de valeur alimentaire des fourrages algériens, d'autres paramètres de la valeur nutritive des fourrages restent à déterminer :

- Expression de la valeur azotée des fourrages dans le nouveau système qui prend en compte les acides aminés des protéines microbiennes (PDI).

- L'évaluation des minéraux majeurs (Ca, P) et mineurs des fourrages.
- Enfin, l'utilisation d'autres méthodes d'évaluation de la valeur alimentaire des fourrages, rapide et non coûteuse (Gaz test, Sachet de nylon, méthodes In vitro, SPIR ...) pour améliorer s'il y a lieu la précision de la prédiction.

Ce travail devait être effectué avec les échantillons qui sont en cours de reconstitution.

Par ailleurs, l'augmentation de la taille de l'échantillon de fourrages ayant servi à l'établissement des modèles de prédiction de l'ingestion devrait être poursuivie

---

# Références bibliographiques

- 1-**Abdelguerfi A. ; Chapot J.Y. ; Conesa A.P. ; Roseau R., 1988.** Contribution à l'étude des espèces spontanées du genre *Medicago* en Algérie.1. Répartition des espèces en fonction des facteurs du milieu. Ann. de l'institut Agron., El Harrach, 12(1) : 304-328.
- 2-**Abdelguerfi A. ; Laouar M. ; Bouzina M., 2008.** Les productions fourragères et pastorales en Algérie : Situation et possibilités d'amélioration. Revue : Agriculture et développement, 6 : 4-25.
- 3-**Abdelguerfi A. ; Laouar M., 2001.** Situation et possibilités de développement des productions fourragères et pastorales en Algérie, 36-48.In : ITGC, 2001. Actes de l'atelier national sur la stratégie de développement des cultures fourragères en Algérie, 79p.
- 4-**Abdelguerfi A. ; Laouar M., 2004.** Les ressources génétiques d'intérêt fourrager et/ou pastoral : diversité, collecte et valorisation au niveau méditerranéen. Options méditerranéennes, 62 : 29-41.
- 5-**Abdelguerfi A., 1987.** Quelques réflexions sur la situation des fourrages en Algérie. Céréaliculture, 16 :1-5.
- 6-**Abdelguerfi A., 2002.** Ressources génétiques d'intérêt pastoral et /ou fourrager, distribution et variabilité chez les légumineuses spontanées (*Medicago*, *Trifolium*, *Scorpiurus*, *Hedisarum*, *Onobrychis*) en Algérie. Thèse de Doctorat d'Etat, Institut National Agronomique, Alger ,433p.
- 7-**Abdelguerfi A., 2007.** Cours <<Ressources fourragères et parcours>>,33p.
- 8-**Abdelguerfi A., Laouar M., 2002.** Espèces fourragères et pastorales, leurs utilisations au Maghreb. Ed. FAO, 146p.
- 9-**Abdelguerfi A.; Laouar M., 1997.** La privatisation du foncier : Impact sur l'environnement et sur les ressources génétiques en Algérie. Options méditerranéennes, 32 :203-207.
- 10-**Abdelguerfi A.; Laouar M., 2000.** Conséquences des changements sur les ressources génétiques du Maghreb. Options méditerranéennes, série A, 39 :77-87.
- 11-**Abdouli M. ; Fraj M. ; Kraim K., 1991.** Prévion des digestibilités de la matière organique et des matières azotées des ensilages et des foin de vesce-avoine. In Tisserand J.-L. (ed.), Alibes X. (ed.). *Fourrages et sous-produits méditerranéens*, Option Méditerranéennes -série séminaires ; 16 : 129-131. <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a16/91605055.pdf>.
- 12- **Abrams S.M.; Shenk J.S.; Westerhaus M.O.; Barton F. E., 1987.** Determination of forage quality by Near Infrared Reflectance Spectroscopy: Efficacy of Broad-Based Calibration equations. J. Dairy Sci., 70 (4): 806-813.
- 13- **ADAS, 1992.** Tables of feed composition and nutritive value for ruminants. MAFF Chalcombe publications, 99p.

- 14-ADCF (Association pour le développement de la culture fourragère), 2005.** Culture et utilisation de la luzerne : caractéristiques de la luzerne. 2005, Domaine de Changins, 1260 Nyon, 7p. [http://www.adcf.ch/presse/presse\\_oct05.pdf](http://www.adcf.ch/presse/presse_oct05.pdf).
- 15-Adem R. ; Ferrah A., 2002.** Les ressources fourragères en Algérie : Déficit structurel et disparités régionales. Analyse du bilan fourrager pour l'année 2001. [www.Gredaal. Com](http://www.Gredaal.Com)
- 16- AFNOR, 1985.** Recueil des normes françaises. Aliments des animaux. Méthodes d'analyses françaises et communautaires, 2ème éd., Paris, 359p.
- 17- AFRC, 1990.** Nutritive requirements of ruminant animals: Energy. Technical committee on responses to nutrients, Report N°5, Nutrition abstracts and reviews series B, 60-: 729-804.
- 18- AFRC, 1993.** Energy and protein requirements of ruminants. Technical committee on responses to nutrients.
- 19-Agabriel J., 2007.** Avant propos. In : Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux-Valeurs des aliments. Ed Quae. INRA, 307p.
- 20- Agnew R.E.; Park R.S.; Mayne C.S.; Laidlaw S., 2004.** Potential of near infrared spectroscopy to predict the voluntary intake of grazed grass. Anim. Feed. Sci. And Technol. 111(5) :169-178.
- 21-Ajmal Khan M. ; Mahr-Un-Nisa ; Sarwar M., 2003.** Techniques measuring digestibility for the nutritional evaluation of feeds. International J. of agriculture and biology, 5(1): 91-94.
- 22- Alderman G., 1980.** United kingdom energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. Ann. Zootech., 29 (h.s): 413-420.
- 23- Alderman G., 2001.** A critique of the cornell Net Carbohydrate system with emphasis on the dairy cattle.1. The rumen model. J. Anim. Feed Sci., 10 :1-24.
- 24-Alibes X. ; Tisserand J. L., 1990.** Tableau de la valeur alimentaire pour le ruminant des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne. Option méditerranéenne, Série B : études et recherche 4 :152p. <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/b04/91605001.pdf>.
- 25-Alibes X.; Tisseand .L., 1981.** Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous produits d'origine méditerranéens. Options méditerranéennes, CIHEAM, série étude, série étude, N° 1981-II, 89p. <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/s02/C1010868.pdf>
- 26-Alibes X.; Tisserand J.L., 1983.** Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous produits d'origine méditerranéens. Options méditerranéennes, CIHEAM, série étude, 1983 I, 48p.
- 27- Almodares A.; Jafarinia M.; Hadi M.R. , 2009.** The effects of nitrogen fertilizer on chemical compositions in corn and sweet sorghum. American- Eurasian J. Agric. And Environ. Sci., 6(4) : 441- 446.
- 28-Amellal R., 1995.** La filière lait en Algérie : entre l'objectif de la sécurité alimentaire et la réalité de la dépendance. Les agricultures maghrébines à l'aube de l'an 2000. Options méditerranéennes, série B, N°14 : 229-238.

- 29-Amrane R., 2002.** Préviation de la valeur nutritive des fourrages par des méthodes de laboratoire. Application à des fourrages algériens. Thèse de doctorat, INA, El Harrach, Alger, 158p.
- 30- Andres S.; Javier Giraldez F. ; Secundino L. ; Mantecon A.R. ; Calleja A., 2005.** Nutritive evaluation of herbage from permanent meadows by Near infrared reflectance spectroscopy. 1. Prediction of chemical composition and In vitro digestibility. *J. Sci. Food Agric.*, 85: 1564-1571.
- 31-Andrieu J. ; Baumont R., 2000.** Digestibilité et ingestibilité du maïs fourrage : facteurs de variation et prévision. *Fourrages*, 163 : 239-252.
- 32-Andrieu J. ; Weiss Ph., 1981.** Préviation de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages verts de graminées et de légumineuses. In : Préviation de la valeur nutritive des aliments des ruminants, INRA Publications, Versailles : 119-127.
- 33-Andueza D. ; Munoz F. ; Baumont R., 2004.** Préviation de l'ingestibilité de la paille chez le mouton à partir de critères physiques et de la composition chimique. *Rencontres Recherches Ruminants* 11: 262. [http://www.inst-elevage.asso.fr/html28/texte.php3?id\\_article=505](http://www.inst-elevage.asso.fr/html28/texte.php3?id_article=505)
- 34- Andueza D. ; Munoz F. ; Garrido A., 2001.** The prediction of the nutritive value of Mediterranean alfalfa forage by Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Option méditerranéenne, série A, séminaires méditerranéens*, 45: 199-203.
- 35-Andueza D. ; Munoz F. ; Murray I., 2004.** The prediction of chemical composition and In vitro digestibility of samples of *Atriplex halimus* by NIR spectroscopy. *Option méditerranéenne, série A, séminaires méditerranéens*, 59: 165-168.
- 36-AnGR, 2003.** Rapport sur les ressources génétiques animales : Algérie. Commission nationale AnGR, 45p.
- 37- AOAC (Association of official analytical chemist), 1990.** Official methods of analysis, 15<sup>th</sup> ed., Gaithersburg, USA, AOAC press.
- 38- AOAC, 1975.** Official Methods of Analysis. 12th Edition. Association of Official Analytical Chemists. AOAC Washington.D.C.
- 39- ARC, 1965.** The nutrient requirements of farm livestock. N°2 ruminants. ARC, London.
- 40- ARC, 1980.** The nutrient requirements of farm livestock. Commonwealth Agricultural bureau, Slough UK.
- 41- ARC, 1984.** The nutrient requirements of ruminants livestock, suppl n°1. Rep, Protein group AFRC working party common., Agri., Bur., Farnham Royal, Slough, England.
- 42- Archibald J.H., 1961.** Influence of weather on sugar content of forage crops. *J of dairy sci.*, 44(3): 511-514.
- 43- Armsby H., 1903.** The Principles of Animal Nutrition. 1st ed. John Wiley, New York
- 44- Arrigo Y., 2004.** Influence de la conservation du fourrage sur sa digestibilité. *Renc. Rech. Ruminants.*, 11 : 268.

- 45- Arrigo Y. , 2006.** Influence du cycle, du stade et du mode de conservation sur la teneur en acides aminés des fourrages. *Revue suisse agricole*, 38 (5) : 247-252.
- 46-Arrigo Y., 2006.** Influence du cycle, du stade et du mode de conservation de l'herbe sur la teneur en minéraux. *Renc. Rech. Ruminants*, 13 : 104.
- 47-Assoumaya C. ; Sauvant D. ; Harchimède H., 2007.** Etude comparative de l'ingestion et de la digestion des fourrages tropicaux et tempérés. *INRA Prod. Animale*, 20 (5): 383-392.
- 48-Assoumaya C., 2007.** Etude des facteurs limitants l'ingestibilité chez les petits ruminants valorisant des fourrages tropicaux. Thèse de doctorat. Agro Paris Tech., 302p.
- 49-Aufrere J. ; Michalet-Doreau B., 1990.** Nouvelles méthodes d'estimation de la valeur alimentaire des fourrages. 2. Méthodes enzymatiques. *Fourrages*, 122 : 203-217.
- 50-Ball D. ; Collins M. ; Lacefield G.; Martin N. ; Mertens D. ; Olson K. ; Putnam D. ; Undersander D.; Wolf M., 2001 .**Understanding forage quality. American farm bureau federation publication 1-01, Park Ridge, IL.
- 51-Bastianelli D., 2007.** La spectroscopie dans le proche infrarouge. Laboratoire d'alimentation, Cirad-UR 18 TA 6-C- 18/A Campus international Baillarguet ,343998 Montpellier Cedex 05, France.
- 52-Baumont R. ; Prache S. ; Meuret M. ; Morand-Fer P., 2000.**How forage characteristics influence behaviour and intake in small ruminants: a review. *Livestock Production Science* Volume 64, Issues 1 :15-28.
- 53-Baumont R. ; Dulphy J.P. ; Doreau M. ; Peyraud J.L. ; Noziere M.E. ; Andueza D., 2005.** La valeur des fourrages pour les ruminants : Comment synthétiser et diffuser les nouvelles connaissances. Comment répondre aux nouvelles questions ? *Renc. Rech. Ruminants*, 12 : 85-92.
- 54-Belhadia M. ; Saadoud M. ; Yakhlef H. ; Bourbouze A., 2009.** La production laitière bovine en Algérie : capacité de production et typologie des exploitations des plaines du moyen Chélif. *Revue nature et technologie* N°1 : 54-62.
- 55-Bencharif S., 2011.** L'élevage pastoral et la céréaliculture de la steppe algérienne : Evolution et possibilités de développement. Thèse doctorat Paris-tech, Agro paris tech, Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement, France, 294 p.
- 56- Benidir M.; Ghozlane F. ; Yakhlef H., 2008.** La sédentarisation et le développement durable de l'élevage ovin dans la steppe algérienne. Colloque international « Développement durable des productions animales : Enjeux, évaluation et perspectives », Alger le 20-21 Avril, 2008, 2p.
- 57-Bennour M., 1990.** Valeur alimentaire chez le mouton de la paille de blé, comparaison avec la paille française. Mémoire d'ingénieur Université de Tizou Ouzou, Algérie, 62p.
- 58-Beranger C.; Micol D., 1980.** Intake in relation to animal. *Ann. Zootech.*, 29 n° H.S.:209-226.

- 59-Bertrand D., 2002.** La spectroscopie proche infrarouge et ses applications dans les industries de l'alimentation animale. INRA. Prod. Anim, 15 (3) : 209-219.
- 60-Bessaoud O., 2005.** La sécurisation foncière en Algérie. Rencontres internationales sur le financement de l'économie algérienne, ministère des finances, 1-4 Avril, 14p.
- 61-Bickel H. ; Landis J., 1987.** Feed evaluation and protein requirements systems for ruminants. Ed. Jarrige R. et alderman G. : 41-50 (office of the official publication of the european communities, Luxenburg).
- 62- Bickel H., 1980.** Energy feeding standards for beef cattle used in Switzerland. Ann. Zootech., 29 (h.s): 409-412.
- 63- Bider F.; Schmidt C., 1852.** Die verdauungssaft und der stoffwechsel. Leipzig: Mitau. Cité par: Johnson D.E., 2007.
- 64- Blaxter K., 1986.** An historical perspective: the development of methods for assessing nutrient requirements. Symposium on "Assesing responses to nutrients by ruminants", Proceeding of the nutrition society, 45:177-183.
- 65- Blosser T.H.; Reeves J.B.; Bond J., 1988.** Factors affecting analysis of the chemical composition of tall fescue with near infrared reflectance spectroscopy. J. Dairy Sci., 71 : 398-408.
- 66-Bouazizi A.; Majdoub A., 1999.** Prédiction des quantités ingérées et de la digestibilité du régime sélectionné par des ovins sur parcours semi-arides tunisiens. Fourrages, 157 :77-87.
- 67-Bouchet J.P. ; Gueguen L., 1981.** Constituants minéraux majeurs des fourrages et des aliments concentrés. In : Prévion de la valeur nutritive des aliments des ruminants, INRA (1981) Publ., 189-202.
- 68-Boucque CH. V.; Fiems L.O.; Cottyn B.G.; Buysse F.X., 1980.** Belgian energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. Ann. Zootech., 29( h.s):383-387.
- 69-Bouyakoub A., 2009.** Le paradoxe de la consommation inégalitaire en Algérie. Document web. 7p. [http://www.socialgerie.net/IMG/pdf/site\\_le\\_paradoxe\\_de\\_la\\_consommation\\_inegalitaire\\_en\\_Algerie\\_Ahmed\\_Bouyacoub.pdf](http://www.socialgerie.net/IMG/pdf/site_le_paradoxe_de_la_consommation_inegalitaire_en_Algerie_Ahmed_Bouyacoub.pdf)
- 70- Brogna N.; Pachiolli M.T. ; Immovilli A. ; Ruozi F. ; Ward R. ; Formigoni A., 2009.** The use of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) in the prediction of chemical composition and In vitro neutral detergent fiber (NDF) digestibility of Italian alfalfa hay. Ital. J. Anim. Sci., 8 (suppl. 2) : 271-273.
- Brown W.F.; Moore J.E., 1987.** Analysis of forage research samples utilizing a combination of wet chemistry and near infrared spectroscopy. J. Anim. Sci., 64 :271-282.
- Bruno-Soares, A. M.; Murray, I.; Paterson, R. M.; Abreu, J. M. F., 1998.** Use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the prediction of the chemical composition and nutritional attributes of green crop cereals. Anim. Feed Sci. Technol., 75: 15–25.
- Burroughs W. ; Trenkle A. ; Vetter R.L., 1974.** A system of protein evaluation for cattle and sheep involving metabolizable protein (amino acids) and urea fermentation potential of feedstuffs. Vet. Med. Small Anim. Clin. ; 69 :713.

- Burroughs W.; Nelson D.K.; Mertens D.R., 1975.** Protein physiology and its application in the lactating cow: The Metabolisable Protein feeding standards. J. Anim. Sci.,41:933-944.
- Buxton D.R., 1995.** Growing quality forages under variable environmental conditions. IOWA state Univ., Ames, IA 500 11.
- Caja G. ; Bocquier F. ; Ferret A. ; Gasa J. ; Perez-Oguez L. ; Plaixats J. ; Oregui L., 2002.** Capacité d'ingestion des ovins laitiers : effet des principaux facteurs de variation. Options méditerranéennes, série B : étude et recherche, 42 : 9-36.
- Carpenter K.J., 2003.** A short history of nutritional science: Part 2 (1885-1912). J. Nutr., 133:975-984.
- Chabaca R., 2004.** Valeur azotée chez *ovis ariès* des pailles de *triticum durum* traitées à l'ammoniac : facteur déterminants. Thèse de Doctorat d'état, Institut National Agronomique El Harrach, 176p.
- Chabaca R., 2009.** Enquête sur l'élevage Algérien, Exposé dans le cadre du programme Européen Averroès SupAgro, Montpellier, 26 p.
- Charlet-Levy G., 1969.** Method for determination of digestibility coefficients of feed for ruminant. Commission on animal nutrition; report 1: 33 p.
- Chehat F. ; Bir A., 2008.** Le développement durable des systèmes d'élevage durables en Algérie : contraintes et perspectives. Colloque international « Développement durable des productions animales : enjeux, évaluation et perspectives ». Alger le 20-21 Avril, 2008, 10p.
- Chenost M. ; Grenet E., 1971.** L'indice de fibrocité des fourrages et sa signification et son utilisation pour la précision de la valeur alimentaire des fourrages. Ann. Zootech., 20 :27-43.
- Chermite A. ; Nefzaoui A. ; Teller E. ; Vanbelle M., 1991.** Variation de l'ingestion volontaire des lignocelluloses chez les ruminants (cas des pailles de céréales). Options méditerranéennes, série séminaire, n°16 : 61-65.
- Chermite A., 1983.** Table de la composition chimique et de la valeur alimentaire des aliments des animaux en Tunisie. INRAT.
- Chermite A., 1997.** Prédiction de l'ingestion volontaire des fourrages chez les ovins à partir des caractéristiques chimiques et de dégradation ruminale. Options méditerranéennes, série A, 34 : 37-41.
- Cherney J.H., 2008.** Forage quality in perspective. Agronomy facts 30, the Pennsylvania State University.
- Chibani C. ; Chabaca R. ; Boulberhane D., 2010.** Fourrages algériens : 1. Composition chimique et modèles de prédiction de la valeur énergétique et azotée. Livestock Research for Rural Development, 22 (8). <http://www.lrrd.org/public-lrrd/proofs/lrrd2208/chab22153.htm>
- Chiche J., 2001.** Les effets des programmes d'encouragement à l'élevage sur la production des ovins et caprins au Maroc. Options méditerranéennes, série A, séminaire, 46 :55-64.
- CIRAD, 2007.** La spectroscopie dans le proche infrarouge. Laboratoire d'alimentation animale du CIRAD, 4p. [www.cirad.fr](http://www.cirad.fr) .

- CIRAD, 2010.** La spectrométrie dans le proche infra-rouge. <http://pigtrop.cirad.fr>.
- Clark, D.H.; Lamb, R.C., 1991.** Near infrared reflectance spectroscopy: a survey of wavelength selection to determine dry matter digestibility. *J. Dairy Sci.*, 74 : 2200–2205.
- CNIEL, 2007.** Centre interprofessionnel de l'économie laitière. [www.cniel.com](http://www.cniel.com)
- Cobic T., 1980.** Yugoslavia energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. *Ann. Zootech.*, 29 (h.s): 420-421.
- Colli R., 1979.** Production et utilisation des fourrages deuxième partie : Etude des principaux fourrages. INA, 94 p
- Cozzolino D., 2010.** A review of the use of near infrared reflectance spectroscopy of plant analysis. *Medicinal plants*, 2 (1): 1-8.
- Crampton E.W., 1957** Interrelation between digestible nutrient and energy content, voluntary dry matter intake and the overall feeding value of forages. *J. Anim. Sci.*, 16: 546-552. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/16/3/546>
- CSIRO, 1990.** Feeding standards for Australian livestock: Ruminants. Standing committee on agriculture, ruminants sub committee, J.L., Corbett, ed., CSIRO Publ., Melbourne, Victoria, Australia.
- CSIRO, 1994.** Feeding standards for Australian livestock ruminants. CSIRO publishing, Australia, 266p.
- CSIRO, 2007.** Nutrients requirements of domesticated ruminant. CSIRO publishing, Collingwood VIC 3066, Australia, 270p.
- CVB, 1978.** Voedernormen voor de landdouwhuishoudingen en Voederwaarde van Veevoeders. Verkorte tabel, 29<sup>th</sup> éd., 32p.
- CVB, 2001.** Handleiding voederwaardeberekening ruwvoeders. Centraal Veevoeder Bureau, Lelystad, the Netherlands.
- Daccord R., 2005.** Digestion chez les ruminants et digestibilité des fourrages. Fokus Verdauung, Schlüssel für eine effiziente Tierernährung, INW-ETHZ.
- Daccord R.; Wyss U.; Kessler J.; Arrigo Y.; Rouel M.; Lehmann J.; Jeangros B., 1999.** Apports alimentaire recommandés et tables de la valeur nutritive des aliments pour les ruminants. Zollikofen. Centrale des moyens d'enseignement agricole. Suisse : 211-254.
- Daenicke R., 1980.** Federal republic of Germany energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. *Ann. Zootech.*, 29 (h.s):396-397.
- Deaville E.R. ; Humphries D.J.; Givens D.I., 2009 .** Whole crop cereals: 2. Prediction of apparent digestibility and energy value from in vitro digestion techniques and near infrared reflectance spectroscopy and of chemical composition by near infrared reflectance spectroscopy. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 149 (1-2) : 114-124.
- Decruyenaere V. ; Bulgden A. ; Stilmant D., 2009a.** Factors affecting intake by grazing ruminants and related quantification methods: a review. *Biotechnol., Agron., Soc., Environ.*, 13(4) : 559-573.
- Decruyenaere V.; Lecomte Ph. ; Demarquilly C. ; Aufrère J. ; Dardenne P. ; Stilmant D. ; Bulgden A., 2009b.** Evaluation of green forage intake and digestibility

- in ruminants using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): Developing a global calibration. *Anim. Feed Sci. Technology*, 148:138-156.
- Dehority et Johnson R.R., 1964.** Estimation of the digestibility and nutritive value of forages by cellulose and dry matter solubility methods. *J. Anim. Sci.*, 23 : 203-207.
- Delagarde R. ; O'donovan M., 2005.** Les modèles de prévision de l'ingestion journalière d'herbe et de la production laitière des vaches au pâturage. *INRA Prod. Anim.*, 18(4) : 241-253.
- Demarquilly C. ; Andrieu J. ; Weiss Ph., 1981.** L'ingestibilité des fourrages verts et des foin et sa prévision. In : *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants : Tables de prévision de la valeur alimentaire des fourrages*, INRA Publ. (1981) : 155-167.
- Demarquilly C. ; Andrieu J., 1988.** Les fourrages. In : *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. INRA Publ., p : 315-335.
- Demarquilly C. ; Chenost M., 1969.** Etude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthode des sachets de nylon : liaison avec la valeur alimentaire. *Ann. Zootech.*, 18 (4) :419-436.
- Demarquilly C. ; Faverdin P. ; Geay Y. ; Verite R. ; Vermorel M., 1996.** Bases rationnelles de l'alimentation des ruminants. *INRA Prod. Anim.*, N° Hors Série : 71-80.
- Demarquilly C. ; Jarrige R., 1981.** Panorama des méthodes de prévision de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages. In : *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants : Tables de prévision de la valeur alimentaire des fourrages*. INRA publications, Versailles, 41-59.
- Demarquilly C., 1981.** Stratégie d'utilisation de l'analyse des fourrages. In *prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*. Ed. INRA publication, Route de Saint Cyr, 78000, Versailles, 580p.
- 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. Dévelop.*, 27(1 B): 281-282.
- Demarquilly C.; Andrieu J., 1992.** Composition chimique, digestibilité et ingestibilité des fourrages européens exploités en vert. *INRA Prod. Anim.*, 5(3): 213-221.
- Demarquilly C.; Chenost M.; Sauvant D., 1980.** Simple methods to predict feeding value: applied aspects. *Ann. Zootech.*, 29 (h.s):351-362.
- Demarquilly C.; Weiss P., 1970.** Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages. INRA, S.E.I, Etude 42, 62p.
- Djermoun A.; Chehat F., 2012.** Le développement de la filière lait en Algérie: De l'autosuffisance à la dépendance. *Live stock research for rural development*, 24 (1). <http://www.lrrd.org/lrrd24/1/abde24022.htm>.
- DLG, 1968.** DLG-futter wetabelle fur wiederkauer, Greece
- Doggete H., 1970.** Sorghum. Ed. Longmans, Green and Co. Ltd. London. Cité par : Abdelguerfi A. ; Laouar M., 2002. *Espèces fourragères et pastorales, leurs utilisations au Maghreb* .Ed. FAO, 146p.
- Donefer E. ; Niemann P. ; Crampton E.W. ; Liyod L.E., 1963.** Dry matter disappearance by enzymes and aqueous solutions to predict the nutritive value of forage. *J. Dairy Sci.*, 46 :965-970.

- Du ck J. A., 1981.** Handbook of legumes of world economic importance. New York: Plenum (USA). Cité par Abdelguerfi A. ; Laouar M., 2002. Espèces fourragères et pastorales, leurs utilisations au Maghreb .Ed. FAO, 146p.
- Dulphy J. P. ; Baumont R. ; L'Hotelier L. ; Demarquilly C. ; Jailler M. ; Jamot J. ; Détour A., 1999.** Amélioration de la mesure et de la prévision de l'ingestibilité des fourrages chez le mouton par la prise en compte des variations de la capacité d'ingestion à l'aide d'un fourrage témoin. Ann. Zootech., 48 : 469-476.
- Dulphy J. P. ; Jaillet M. ; Jamot J. ; Bousquet H., 1990.** Amélioration de la prévision de la valeur alimentaire de certains foin au laboratoire valeur. Fourrages, 121: 65-78.
- Dulphy J. P.; Demarquilly C., 1994.** The regulation and prediction of feed intake in ruminants in relation to feed characteristics. Livestock Prod. Sci., 39 (1) :1-12
- Dulphy J. P.; Faverdin P. ; Micol D. ; Bocquier F., 1987.**Révision du système des Unités d'Encombrement. Bulletin Technique C.R.Z.V Theix, INRA, 70 : 35-48.
- Dulphy J.P.; Jouany J.P. ; Martin-Rosset W. ; Theriez M., 1994.** Aptitudes comparées des différentes espèces d'herbivores domestiques à ingérer et digérer des fourrages distribués à l'auge. Ann. Zootech., 43 :11-32.
- Dulphy J.P.; Martin-Rosset W.; Jouany J.P., 1995.** Ingestion et digestion comparées des fourrages chez différentes espèces d'herbivores. INRA. Prod. Anim., 8(4) : 293-307.
- Ellis J. L.; Qiao F.; Cant J. P., 2006.** Prediction of dry matter intake throughout lactation in a dynamic model of dairy cow performance. J. Dairy Sci., 89: 1558-1570. <http://jds.fass.org/cgi/content/full/89/5/1558>.
- ENCARTA, 2009.** Luzerne. [www.encarta.msn.com](http://www.encarta.msn.com)
- Enoh M.B. ; Kijora C. ; Peters K.J. ; Yonkeu S., 2005.** Effect of stage of harvest on DM yield, nutrient content, In vitro and In situ parameters and their relationship of native and Brachiaria grasses in the Adamawa plateau of Camroon. Livestock research for rural development, 17(1).
- Eriksen F.I. ; Whitney A.S., 1981.** Effect of lignin intensity on growth of some tropical forage species. I. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. Agronomy J., 73: 427-433.
- Ernest S., 2009.** L'Encyclopédie canadienne. Fondation Historica du Canada.
- FAO (2007).** Statistiques sur les terres ; ressources STAT en ligne. [www.fao.org](http://www.fao.org).
- FAO, 2006.** Impact de l'élevage sur l'environnement. FAO, Novembre 2006.
- FAO, 2009.** L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde : crises économiques, répercussions et enseignements. [www.fao.org](http://www.fao.org) .
- FAO, 2009.** La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Point sur l'élevage. FAO 2009, Rome, 202p.
- FAO, 2010.** La chèvre- La réussite. Filière caprine, 2p.
- FAOSTAT, 2007.** AQUASTAT.Carte mondiale de l'irrigation ; consulté le 24 mai 2009.

- FAOSTAT, 2008** : La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. <http://www.fao.org/docrep/oll/ai473>. Consulté le 27 novembre 2009.
- FAOSTAT, 2008**. Livestock primaire, ressources animales. [www.fao.org](http://www.fao.org) (FAOSTAT) consulté le 12 décembre 2009.
- FAOstat, 2009**. Statistiques en ligne. [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FAOstat, 2010**. Statistiques agricoles. [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FAOstat, 2012**. Statistiques agricoles. [www.fao.org](http://www.fao.org)
- Fassio A. ; Gimenez A. ; Fernandez E. ; Vas Martin D. ; Cozzolino D., 2007**. Prediction of chemical composition in Sunflower whole plant and silage (*Helianthus annuus* L.) by Near infrared reflectance spectroscopy. *J. Near infrared Spectrosc.*, 15 : 201-207.
- Faverdin P., 1992**. Alimentation des vaches laitières : comparaison des différentes méthodes de prédiction des quantités ingérées. *INRA Prod. Anim.*, 5 (4):271-282.
- Ferret A. ; Gasa J. ; Plaixat J. ; Casanas F. ; Bosch L. ; Nuez F., 1997**. Prediction of voluntary intake and digestibility of maize silages given to sheep from morphological and chemical composition, In Vitro digestibility or rumen degradation characteristics. *Animal Sci.*, 64:493-501.
- Fonseca A.J.M.; Dias-Da-Silva A.A.; Orskov E.R., 1998**. In sacco degradation characteristics as predictors of digestibility and voluntary intake of roughages by mature ewes. *Animal Feed Sci. Technol.*, 72: 205-219.
- Fontanelli R.S. ; Scheffer Basso S.M. ; Durr J.W. ; Appelt J.V. ; Bortolini F. ; Haubert F.A., 2004**. Predição da composição química de Bermudas (*Cynodon* sp) pela Espectroscopia de reflectancia no infravermelho proximal. *R. Bras. Zootec.*, 33 (4) : 838-842.
- Geay Y., 1980**. French energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. *Ann. Zootech.*, 29 (h.s): 393-396.
- GEB, 2008**. Repères :Les filières ovines et caprines dans le monde. Journée, défis et opportunités pour l'élevage ruminant en Europe. Institut de l'élevage pour la CNE, 6p.
- Ghozlane F.; Yakhlef H.; Yaici S., 2003**. Performances de reproduction et de production laitière des bovins laitiers en Algérie. *Annales de l'institut national agronomique*, 24(1) :55-68.
- Giger S. ; Pochet S., 1987**. Méthodes d'estimation des constituants pariétaux dans les aliments destinés aux ruminants. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA*, 70 : 49-60.
- Giger-Riverdin S. ; Morand-Fehr Q.; Sauvant D., 2005**. How to evaluate the degradation of feedstuffs for ruminants ? comparison of the gaz test and In situ methods from literature review. *Option méditerranéenne, série A*, 67:321-326.
- Giouseljannis A., 1980**. Greek energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. *Ann. Zootech.*, 29 ( h.s):398-399.
- Givens D.I. ; Baker C.W.; Moss A.R.; Adamson A.H., 1992**. Acomparision of near-infrared reflectance spectroscopy with three in vitro technique to predict the digestibility in vivo of untreated and ammonia-treated cereal straw. *Anim. Feed .Sci .Technol.*, 35 :83-94.

- Golding E. J.; Moore J. E.; Franke D. E.; Ruelke O. C., 1976.** Formulation of hay-grain diets for ruminants. I. Evaluation of multiple regression equations for predicting of bermudagrass hay quality from laboratory analysis. *Journal of Animal Science* 42:710-716  
<http://jas.fass.org/cgi/reprint/42/3/710.pdf> .
- Griffiths T.W., 1980.** Irish republic energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. *Ann. Zootech.*, 29 (h.s): 399-402.
- Guerra L., 2008.** Contribution à la connaissance des systèmes d'élevage bovin. Thèse ingénieur, Université Ferhat Abbas, Sétif, 55p.
- Hadjipanayiotou M., 1983.** The chemical composition of feedstuffs commonly used in ruminants diet, Nicosia.
- Hammadache A., 2001.** Les ressources fourragères actuelles en Algérie : Situation et possibilités d'amélioration, 18-23. In : ITGC, 2001. Actes de l'atelier national sur la stratégie de développement des cultures fourragères en Algérie, 79p.
- Hammami M.; Chermiti A. ; Ben Guera A. ; Rouissi H., 2010.** Prédiction de l'ingestion volontaire de quelques fourrages tunisiens, par les génisses d'élevage à partir des caractéristiques chimiques et de dégradabilité ruminale. *Renc. Rech. Ruminants*, 17 : 318.
- Henneberg W.; Stohmann F. (1860- 1864).** Beiträge zur Begründung liner Rationelen Fütterung der Widerkäufer. Vol. 1 and 2. Schwetschke, Brunswick, Germany.
- Henry W.A., Morrison F.B., 1910.** Feeds and Feeding. 10th ed. Published by authors, Madison, Wis.
- Henry, W.A. 1898.** Feeds and Feeding. 1st ed. Published by author, Madison, Wis.
- Houmani M., 1999.** Situation alimentaire du bétail en Algérie. *Recherche agronomique, INRAA*, 4 :35-45.
- Huyghe C., 2005.** Prairies et cultures fourragères en France : entre logique de production et enjeux territoriaux INRA Ed., Paris France, 200 p.
- Hvelpund T.; Madsen J., 1993.** Protein systems for ruminants. *Icel. Agri. Sci.*, 7:21-36.
- INED, 2008.** Répartition et évolution de la population mondiale. Rapport, 5p.
- INRA, 1978.** Alimentation des ruminants. INRA publications (Route Saint-Cyr), 78000 Versailles, Paris, 597p.
- INRA, 1981.** Prévion de la valeur nutritive des aliments des ruminants. INRA, Pris, 471p.
- INRA, 1988.** Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA, 147, Rue de l'université, 75007, Paris, 471p.
- INRA, 1989.** Ruminant nutrition: recommended allowances and feed tables. Edition INRA Publications, Versailles, 389p.
- INRA, 2007.** Alimentation des bovins, ovins et caprins: Besoins des animaux- Valeurs des aliments. Tables INRA 2007. Ed. Quae, RD 10, 78026 Versailles cedex, Paris, 307p.

- INRAA, 2006.** Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques. INRAA, FAO, 92p.
- Issolah R., 2008.** Les fourrages en Algérie : Situation et perspective de développement et d'amélioration. Recherche agronomique, INRAA, 22 :34-47.
- ITGC, 2000.** Programme de développement des fourrages. Rapport, 32p.
- ITGC, 2006.** Recueil des fiches techniques : Céréales d'hivers, fourrages, légumineuses alimentaires, oléagineuses.
- Jarrige R. ; Journet M. ; Vérité R. , 1978.** Chapitre 3 : Azote. In INRA (1978). Alimentation des ruminants. Ed. INRA publication, Route de Saint-Cyr, 78000, Versailles, 591p.
- Jarrige R. ; Thivend P., 1969.** Action d'une cellulase fongique sur les membranes et son intérêt pour prévoir la digestibilité des plantes fourragères. Ann. Biol. Anim. Biochem. Biophys., 9 :179-190.
- Jarrige R., 1978.** Introduction. In : INRA, 1978. Alimentation des ruminants. INRA, Paris, 597p.
- Jarrige R., 1981.** Les constituants glucidiques des fourrages : Variation, digestion et dosage. In : Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants : Tables de prévision de la valeur alimentaire des fourrages, INRA Publ., p : 13-40.
- Jarrige R., 1989.** Herbivores in agricultural ecosystems in: Digestive physiology and metabolism in ruminants. Ruckebusch and Thivend Ed. INRA Proceedings of the international symposium on ruminant physiology, on September 3 – 7 Clermont-Ferrand, France.
- Jarrige R., 1995.** Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion. Ed. Quae, INRA, Paris, 922p.
- Jentsch W.; Chudy A. ; Beyer M., 2003.** Rostock feed evaluation system. Pleas Verlag: 30-88.
- Johnson C.R.; Reiling B.A.; Mislevy P.; Hall M.B., 2001.** Effect of nitrogen fertilization, and harvest date on yield, digestibility, fiber, and protein fractions on tropical grasses. J. Anim. Sci., 79 : 2439-2448.
- Johnson D.E., 2007.** Contribution of animal nutrition research to nutritional principals: Energetics. J. Nutr., 137:698-701.
- Johnson R.R.; Dehority B.A.; Mc Clure K.E.; Parsons J.L., 1964.** A comparison of In vitro fermentation and chemical solubility methods in estimating forage nutritive value. J. Anim. Sci., 23 : 1124-1128.
- Joseph W.E., 1932.** The protein requirements of sheep. J. Anim Sci., 1932:37-41.
- Journet M. ; Poutou M. ; Calomiti S., 1965.** Appétit de la vache laitière.1. Variations individuelles des quantités ingérées. Ann. Zootech., 14: 5-37.
- Jung H.J.G., 1997.** Analysis of forage fiber and cell walls in ruminant nutrition. J. Nutr., 127: 810s-813s.
- Kamalak A. ; Combolat O. ; Erol A. ; Kiline C. ; Kizilsimsek M. ; Ozkan C.O.; Ozkose E., 2005.** Effect of variety on chemical composition, In vitro gaz production,

---

metabolizable energy and organic matter digestibility of alfalfa hays. *Livestock Research for rural development*, 17(7).

**Karabulut A.; Canbolat O.; Kamalak A., 2006.** Effect of maturity stage on the nutritive value of birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus* L) hays. *Lotus newsletter*, 36(1): 11-21.

**Karsli A.; Russel R. J., 2002.** Prediction of voluntary intake and digestibility of forage based diets from chemical composition and ruminal degradation characteristics. *Turkish J. of veterinary and Animal Sci.*, 26: 249-255.

**Kennedy C.A., 1996.** Near analysis on intact grass silage and fresh grass for the prediction of dry matter, crude protein and acid detergent fiber. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in a faculty of graduate studies. University of Columbia, 96p.

**Kerbaa F., 1980.** Guide de la valeur alimentaire des fourrages cultivés en Algérie. INRAA, Baba Ali, 12p.

**Khaldoun A. ; Djennadi F. ; Bellah F., 2001.** Développement des fourrages en Algérie : Dans le cadre du plan national de développement agricole (PNDA), 12-17. In : ITGC, 2001. Actes de l'atelier national sur la stratégie de développement des cultures fourragères en Algérie, 79p.

**Kriss M., 1931.** A comparison of feeding standars for dairy cows, with especial reference to energy requirements. *J. Nutri.; Editorial review*, 4 (1):141-160.

**Kyriazopoules A.P. ; Nastis A.S., 2009.** Effect of shading on herbaceous trnasplanted reciprocally between three shading treatment. *Option méditerranéenne, série A, N °85*: 165-169.

**Laouar M. ; Abdelgeurfi A., 1997.** Privatisation du foncier ; Une des causes de la dégradation des milieux naturels en Algérie. *Options méditerranéennes*, 32 :209-212.

**Lapeyronie A., 1982.** Les productions fourragères méditerranéennes. Ed. G.P.Maison neuve et Larose, 425p.

**Leggrette J.M., Ladizinsky G., Hagperg P.; oubani m., 1992.** The distribution of *Avena* species in Spain and Marocco. *Can. J. Bot.*, 70(2):240-244. Cité par Abdelguerfi A. Laouar M., 2002. Espèces fourragères et pastorales, leurs utilisations au Maghreb. Ed. FAO, 146p.

**Leng R.A., 1993.** L'application de la biotechnologie à l'alimentation animale dans les pays en développement. *Etude FAO production et santé animales 90*, FAO, Rome, 132p.

**Leroy A.M., 1954.** Utilisation de l'énergie des aliments par les animaux. *Ann. Zoot.*, 4 : 335-370. <http://animres.edpsciences.org/>

**Liebig J., 1842.** Die organish chemie in ihrer anwendung auf physiologic und pathologie. Braunshweig. Cité par: Johnson D.E., 2007.

**Lila M. ; Furstoss V., 2000.** L'utilisation de la spectroscopie dans le proche infrarouge pour l'évaluation de la qualité des fourrages. *Fourrages*, 161 : 69-81.

**Lippke H. F. ; Barton E., 1988.** II. Near Infrared Reflectance Spectroscopy for Predicting Intake of Digestible Organic Matter by Cattle. *J. Dairy Sci.*, 71(11) : 2986-2991.

- Lippke H., 2002.** Forage and grazing lands: Estimation of forage intake by ruminants on pasture. *Crop Sci*, 42: 869-872.
- Lønne Ingvarsten K., 1994.** Models of voluntary food intake in cattle. *Live. Prod. Sci.*, 39 (1) :19-38.
- Lounaoussi N.; T ibahine K., 2005.** Contribution à l'étude de l'influence de l'alimentation sur la qualité du lait : Cas de la station de L'ITELV. Thèse d'ingénieur d'état en Agronomie, Université de Blida, 72p.
- MA, 1998-2002.** . Statistiques agricoles : Superficies et production. Série B, campagne agricole d'automne, 43p.
- Macon B. ; Sollenberger L. E.; Moore J. E.; Staples C. R.; Fike J. H.; Portier K. M., 2003.** Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows at pasture. *J. Anim. Sci.*, 81 : 2357-2366.
- MADR, 2003-2008.** Statistiques agricoles : Superficies et production. Série B, campagne agricole d'automne, 68p.
- MADR, 2006.** Rapport sur la situation du secteur agricole 2006. MADR, 77p.
- MADR, 2007.** Statistiques agricoles, série B.
- Madsen J., 1985.** The basis of the proposed Nordic protein evaluation system for ruminants. The AAT/PBV system. *Acta., Agric., Scand.*, suppl. 25: 9.
- MAFF (Ministry of agriculture, fisheries and food), 1975.** Technical bulletin n°33, H.M., Stationary office.
- Magendie J., 1936.** Précis élémentaire de physiologie. 4th éd. Paris Mequignon-Marvis, cité par : Johnson D.E., 2007.
- Maigua H.A., 2006.** Les obstacles à l'évaluation de rations efficaces pour les bovins au Mali.4é Edition Mali Symposium on Applied Sciences, Publication MSAS. <http://www.msas.maliwatch.org/msas-2006/acE.html> .
- Maillard D. ; Bastionelli D. ; Tranchot M. ; Bonnal L. ; Cugnasse J.m. ; Marty E. ; Garel M., 2005.** Evaluation de l'utilisation de la spectroscopie dans le proche infrarouge (SPIR) pour l'estimation de l'évolution de la qualité des régimes alimentaires du moufflon. ONCFS, rapport scientifique, 4p.
- MAP, 1982-1997.** Statistiques agricoles : Superficies et production. Série B, campagne agricole d'automne, 71p.
- MARA, 1967-1979.** Statistiques agricoles : Superficies et production. Série B, campagne agricole d'automne, 60p.
- Marble V.L., 1989.** Fodders for the Near East: Alfalfa: collection FAO, Rome.
- Marcel M. ; Michel A. ; Alin B. ; Jacques B. ; Bertrand N. ; Estrade J.R., 2002.** Larousse agricole, 767 p.
- Mathison G.W.; Hsu H.; Soofi-Siawash R. ; Resinos-Diaz G. ; Okine E.K. ; Helm J. ; Juskiw P., 1999.** Prediction of composition and ruminal degradability characteristics of barley starw by Near infrared reflectance spectroscopy. *Can. J. of Anim. Sci.*, 79 : 519-523.

- Maynard L.A., 1953.** Total digestible nutrients as measure of feed energy. J. Nutr., Editorial review, 15-21.
- Mc Meniman J. P.; Defoor P. J.; Galyean M. L., 2009.** Evaluation of the research council dry matter intake prediction equations and relationships between intake and performance by feedlot cattle. J. Animal Sci., 87:1138-1146. <http://jas.fass.org/cgi/content/short/87/3/1138>.
- Meissner H. H.; Du Preez M. M.; Ens lin A. D.; Spreeth E. B., 1992.** Utilisation of Lolium multiflorum by sheep. 1. Influence of dry matter content and correlated factors on voluntary intake. J. of Grassland Society South Africa, 9: 11-22.
- Meissner H. H.; Paulsmeier D. V., 1995.** Plant compositional constituents affecting between-plant and animal species prediction of forage intake. J. Animal Sci., 73: 2447-2457.  
<http://jas.fass.org/cgi/content/abstract/73/8/2447> .
- Menke K.H. ; Raab L. ; Salewski A. ; Straingass H. ; Fritz D. ; Shneider W., 1979.** The estimation of digestibility and metabolisable energy content of ruminant feeding when they are incubated with rumen liquor In vitro. J. of agricultural Sci., 93 :217-222.
- Mesli M. E, 2007.** L'agronome et la terre. Ed. Alpha, Paris, 279 p.
- Meuret M. ; Dardenne P. ; Biston R. ; Poty O., 1993.**The use of NIR in predicting nutritive value of mediterranean tree and shrub foliage. J. Near infrared Spectrosc., 1 : 45-54.
- Michalet-Doreau B. ; Gatel F., 1983.** Evolution au cours d'une année des quantités de foin ingérées par des béliers castrés. Ann. Zootech., 32: 459-464.
- Michalet-Doreau B. ; Gatel F., 1988.** Evolution au cours d'une année des quantités de foin ingérées par des béliers castrés. Ann. Zootech., 37(3) : 151-158.
- Miller E.L., 1973.** Evaluation of food as source of nitrogen and amino acids. Prod. Nutr. Soc., 32 :79.
- 237. Morales M. S.; Dehority B. A., 2009.** Ionized calcium requirement of rumen cellulolytic bacteria  
J. Dairy Sci., 92: 5079-5091.
- Morrison F.B., 1915.** The modified Wolff-Lehmann Feeding standards. J. Anim. Sci., 1917: 64-69.
- Morrison, F.B., and Associates. 1936.** Feeds and Feeding. 20th ed. Morrison Publishing, Ithaca, N.Y.
- Morrisson F.B., 1947.** Feeds and feeding. New York, Morrisson publishing Co. (20<sup>th</sup> ed. Of Henry).
- Morrisson I.M., 1972.** A semi-micro method for the determination of lignin and its use in predicting the digestibility of forage crop. J. Sci. Food Agric., 23 :453-455.
- Moulai A., 2009.** (pnué/pam/plan bleu) repenser le développement rural en méditerranée : Actes de l'atelier régional sur l'agriculture et le développement rural durables: Bari, Italie, 8 -11 mai 2008. N° 172 de la série des rapports techniques du pam, pnué/pam, Athènes, 2009, 1140p.

- Mould F. L.; Orskov E. R.; Gauld S. A., 1983.** Associative effects of mixed feeds. 2. The effect of dietary addition of bicarbonate salts on the voluntary intake and digestibility of diets containing various proportions of hay and barley. *Animal Feed Science and Technology*, 10: 31-47.
- Mountousis I. ; Papanikolaou K. ; Stanogias G. ; Chatzitheodoridis F. ; Roukos C., 2008.** Seasonal variation of chemical composition and dry matter digestibility of rangelands in NW Greece. *J. Cent. Eur. Agric.*, 9 (3) : 547-556.
- Murphy J.P. , Hoffman L.A., 1992.** The origin history and production of Oats. In: H.G.Marshall and M.E. Sorrells, 4-28. Cité par Abdelguerfi A. ; Laouar M., 2002. *Espèces fourragères et pastorales, leurs utilisations au Maghreb*. Ed. FAO, 146p.
- Nedjraoui D., 2001.** Country pastures forage resource profiles Algeria. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/Algeria/Algeria.htm>.
- Nedjraoui D., 2003.** Profil fourrager : Algérie. URBT, Alger, 36p.
- Neel J.P.S. ; Feldhake C.M. ; Belesky D.P., 2008.** Influence of solar radiation on the productivity and nutritive value of herbage of cool-season species of understorey sward in a mature conifer woodland. *Grass and Forage Sci.*, 63: 38-47.
- Neiman-Sorensen A., 1980.** Survey of the energy feeding standards used in the cost countries and of the experimental background. *Ann. Zootech.*, 29 (h.s): 17-26.
- Newman Y.C. ; Sollenberger L.e. ; Boote K.j. ; Allen J.R.L.H., 2005.** Temperature and carbon dioxide effects on nutritive value of Rhizoma peanut herbage. *Crop Sci.*, 45 (1): 316-321.
- Niwinska B. ; Strzteski J.A. ; Kowalczyk J. ; Borowiec F. ; Domanski P., 2005.** The effect of phenological stage and season on nutritive value, chemical composition and nutrient digestibility of Lucerne (*Medicago sativa* L.) green forage in the alimentary tract of cattle. *Czech J. of Anim. Sci.*, 50 (11) : 511-518.
- Norris K.H. ; Barnes K.F. ; Moore J.E. ; Shenk J.S., 1976.** Predicting forage quality by Near infrared reflectance spectroscopy. *J. Anim. Sci.*, 43 (4) : 889-897.
- NRC, 1956.** Composition of concentrate by-product feedingstuffs. Publ. 449. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- NRC, 1982.** United States-Canadian Tables of Feed Composition: Nutritional Data for United States and Canadian feeds. Third Revision Subcommittee on Feed Composition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., 148p.
- NRC, 1985.** Nutrient requirements of sheep. 6<sup>th</sup> edition. National academy press, Washington, DC.
- NRC, 1996.** Nutrient requirements of beef cattle. National academy press, Washington, DC, 242p.
- NRC, 2001.** Nutrients requirements of dairy cattle. Seventh revised edition, national academy press, Washington, D.C., 408p.
- NRC, 2007.** Nutrient requirements of small ruminants : sheep, goats, cervids and new world camelids. The international academy press, Washington D.C., 384p.

- Okine E.K. ; Mathison G.W., 1991.** Effects of feed intake and energy balance prediction models for lactating dairy cattle. Ph. D thesis, Cornell University, Ithaca.
- Olsson I., 1980.** Swedish energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. *Ann. Zootech*, 29 (h.s):406-409.
- Osborne B.G. ; Fearn T.; Hindle P.H., 1993.** Practical NIR spectroscopy. Longman Scientific & Technical, UK, 227 p.
- Peyraud J.L.; Astigarraga L., 1998.** Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: Consequences on animal nutrition and N balance. *Animal Feed Sci. Technol.*, 72: 235-59.
- Pittroff W.; Kothmann M., 2001.** Quantitative prediction of feed intake in ruminants: II. Conceptual and mathematical analysis of models for cattle. *Livestock Production Science* 71(2-3): 151-169.
- Poirier B., 1976.** Production fourragère et calendrier fourrager en Algérie. Institut National Agronomique, 66p.
- Quin J.I. ; Wath Vander J.G. ; Myburgh S., 1939.** Studies on the alimentary tract of merinos sheep in South Africa. IV. Description of experimental technique. *Onderstepoort. J. Vet. Sci. Anim. Ind.*, 11 :341-360.
- Quinby J.R., Hesketh J.D. et Voigt R.L., 1973.** Influence of temperature and photoperiod on floral initiation and leaf number in Sorghum. *Crop. Sci.*, 2:243-246.
- Ramírez R. G.; Haenlein G. F. W.; García-Castillo C. G.; Núñez-González M. A., 2004.** Protein, lignin and mineral contents and in situ dry matter digestibility of native Mexican grasses consumed by range goats, *Small Ruminant Research*, 52: 261-269.
- Refsgaard andersen H.; Foldager J., 1980.** Danish energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. *Ann. Zootech.*, 29 (h.s):387-391.
- Reid J.T., 1956.** Nutrition and feeding of dairy cattle. *J. dairy Sci.*, 39 (6): 735-763.
- Reid R., Ettencourt E.; Konopka J., 1993.** Genetic resources of Lathyrus and Vicia and associated quarantine problems. In: Proceedings of the Vicia /Lathyrus workshop. J.R. Graling and Perry M. W., Western Australia, september 22-23, 1992. CLIMA Occasional Publication n°1 :10-19.
- RGA, 2003.** Recensement général de l'agriculture 2001 : rapport général des résultats définitifs. Direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information. MADR, 70p.
- Richard D.; Guerin H. ; Fall S.T., 1989.** Feeds of the dry tropics (Senegal). In: INRA, 1989. Ruminant nutrition. Recommended allowances and feed tables: 325-345, INRA and Libbey Eurotext, Paris, Londres, 389p.
- Roberge G., 1988.** L'intensification fourragère et l'irrigation en milieu tropical sec Sénégalaise des Recherches Agricoles et Halieutiques 1 ; N°1 – 1988 : 19-26.
- Roberts C.A. , Stuth J., Finn P.C., (2003).** NIRS applications in forages and feedstuffs. In: Roberts, Morkman J and Reeves J. Near infra-spectroscopy in agriculture. Agron. Monogr. 321. ASA.CSSA and SSSA. Madison.WI.

- Stuth J. ; Jama A.; Tolleson D., 2003.** Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. *Field Crops Research*,84 (1-2) :45-56.
- Robinson J.J., 2002.** Review of nutritional standards for sheep. British Society for Animal Science, Edinburgh.
- Robotnikof C.M.; Planas G.M.; Colomer J. S.; Stritzler N.P., 1995.** Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for predicting forage quality of perennial warm-season grasses in la Pampa, Argentina. *Ann. Zootech.*, 44 : 97-100.
- Rohr K., 1987.** Present situation of the modern protein system: Germany: 3. In: JARRIGE R.; ALDERMANN G., 1987. Feed evaluation and protein requirements systems for ruminants, EUR 10657, CEC, Bruxelles, Belgium.
- Rondia P., 2006.** Aperçu de l'élevage ovin en Afrique du Nord. *Filière ovine et caprine N°18* :11-14.
- Roy J.H.B., 1980.** Protein utilisation: The basis of feeding standards for protein in growing and fattening beef cattle. *Ann. Zootech.*, 29 (h.s): 161-171.
- Royo C., Trobo F., 1997.** Tritical and barley for grain for dual-purpose (forage=grain) in a mediterranean-type environment.II. Yield component and quality. *Aust. J. Agric. Res.*, 48: 411-421.
- Ruba M.; Abdul Shakoob C., 2008.** Methods to study degradation of ruminants feeds. *Nutrition research reviews*, 21: 1-15.
- Sainte Hilaire G, 1919.** L'élevage dans l'Afrique du Nord : Maroc, Algérie, Tunisie. Paris ; A Challamel ; 531p.
- Sauvant D. ; Assoumaya C. ; Giger-Riverdin S. ; Archimede H., 2006.** Etude comparative du mode d'expression du niveau d'alimentation chez les ruminants. *Rech. Renc. Ruminants*, 13 :103.
- Sauvant D. ; Chapoutot P. ; Giger-Reverdin S. ; Meschy F., 2005.** Nouveaux critères d'évaluation de la qualité des aliments concentrés et coproduits pour les ruminants ,12<sup>e</sup> Ed Rencontre Recherche Ruminant INRA, Institut de l'Élevage (Editions). [http://www.inst-elevage.asso.fr/html28/IMG/pdf/2005\\_qualite\\_aliments\\_ruminants\\_02\\_sauvant.pdf](http://www.inst-elevage.asso.fr/html28/IMG/pdf/2005_qualite_aliments_ruminants_02_sauvant.pdf) \_
- Sauvant D. ; Giger-Reverdin S., 2009.** Modélisation des interactions digestives et de la production de méthane chez les ruminants. *INRA Prod. Anim.*, 22: 375-384.
- Sauvant D., 1988.** La composition et l'analyse des aliments. In : Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA Publ. : 305-314.
- Sauvant D., 2003.** Modélisation des effets des interactions entre aliments sur les flux digestifs et métaboliques chez les bovins. *Renc. Rech. Ruminant*, 10 :151-158.
- SCA, 1990.** Feeding standards for Australian livestock, ruminants. Standing committee on agriculture, SCIRO publications, Melbourne, Australia, 266p.
- Schneider B.H. ; Lucas H.L. ; Cipolloni M.A. ; Pavlech H.M. , 1952.** The prediction of digestibility for feeds from their proximate composition data. *J. Anim. Sci.*, 11 :77-83.
- Schneider B.H. ; Lucas H.L. ; Pavlech H.M. ; Cipolloni M.A., 1951.** Estimation of the digestibility of feeds from their proximate composition. *J. Anim. Sci.*, 10 :706-713.

- Scotti E., 1987.** L'institut agricole d'Algérie : Ecole nationale supérieure agronomique d'Alger : 1905-1960. Cercle algérienniste, 40. [www.alger-roi.net/alger/institut\\_agricole/textes/institut\\_agricole\\_cercle40.htm](http://www.alger-roi.net/alger/institut_agricole/textes/institut_agricole_cercle40.htm) .
- Seone J.R., 1982.** Relationships between the physic-chemic characteristics of hays and their nutritive value. *J.Anim. Sci.*, 55 :422-431.
- Si Ziani Y. ; Boulberhane D., 2001.** Bilan fourrager 1998 ; Comparaison offre/besoins, 20-23.In : ITGC, 2001. Actes de l'atelier national sur la stratégie de développement des cultures fourragères en Algérie, 79p.
- Silva C.F.L. ; Milach S.C.K. ; Silva S.D.A. ; Montero C.R., 2008.** Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess protein and lipid contents in *Avena sativa* L. *Crop Breeding and applied technology*, 8: 127-133.
- Smart A.J.; Schacht W.H. ; Pedersen J.F. ; Undersauder D.J. ; Moser L.E., 1998.** Prediction of leaf-stem ratio in grasses using near infrared reflectance spectroscopy. *J. Range Manage.*, 51 : 447-449.
- Snyman L.D.; Joubert H.W., 1993.** Prediction of the chemical composition and In vitro dry matter digestibility of a number of forages by near infrared reflectance spectroscopy. *S. Afr. J.Anim. Sci.*, 23 (1) : 20-23.
- S-Plus Statistics** 4-5<sup>e</sup> edition, Tokyo 1998.
- Srairi M.T., 2004.** Diagnostic de situation de l'élevage bovin laitier au Maroc : perspectives d'amélioration des performances. Transfert de technologie en agriculture, *Elevage bovin laitier* N°114, 4p.
- Srairi M.T., 2008.** Perspectives de durabilité des élevages de bovins laitiers au Maghreb à l'aube des défis futurs : libéralisation des marchés, aléas climatiques et sécurisation des approvisionnement. Colloque international « Développement durable des productions animales : enjeux, évaluation et perspectives. Alger le 20-21 Avril, 2008.
- Stag A., 1980.** Investigation on methods of predicting feeding value of feedstuffs for beef cattle in COST-countries. *Ann. Zootech.*, 29 (h.s): 341-350.
- Steinfeld H. ; Gerber P. ; Wassenaar T. ; Gastel Y.; Rosales M.; De Haan C., 2006.** *Livestock's long shadow: Environmental issues and options.* FAO 2006, 407p.
- Steinfeld H.; Mäki-Hokkonen J., 1999. **A classification of livestock production systems . World animal review 50<sup>ème</sup> Anniversaire: Animal Production and Health Division, FAO, Rome, Italy.**
- Stubbs T. ; Kennedy C. ; Fortuna A.M., 2010.** Using NIRS to predict fiber and nutrient content of dryland cereal cultivars. *J. Agric. Food Chem.*, 58 : 398-403.
- Stuth J.; Jama A. ; Tolleson D., 2003.** Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. *Field crop research*, 84: 45-56.
- Suttie J.M., 2004.** Conservation du foin et de la paille pour les petits paysans et les pasteurs Collection FAO: Production végétale et protection des plantes, 317 p.
- Tilley J.M.A. ; Terry R.A., 1963.** A two stage technique for the In vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grass. Ed. Soc.*, 18 :104.

- Tisserand J.L., 1991.** Présentation des tables de la valeur alimentaire pour lmes ruminants des fourrages et sous produits d'origine méditerranéenne. Option méditerranéenne, série A, séminaires méditerranéens, 16 :23-25.
- Toutain B.; Roberge G., 1999.** Cultures fourragères tropicales. Édi.Quae, CIRAD, France, 369p.
- Traore E.H., 1998.** Facteurs de variations de la composition chimique et de la digestibilité des ligneux consommés par les ruminants domestiques. Thèse de doctorat 3ème cycle en biologie animale, Université de Dakar, faculté des sciences et techniques, 101p.
- Tremblay G.F.; Pageau D.; Surprenant J. ; Petit H.V. ; Drapeau R., 1995.** Effet de la fertilisation azotée et du stade de coupe sur le rendement, la composition chimique et la digestibilité In Vitro des céréales plantes entières. Ann. Zootech., 44, suppl. : 45.
- Triki S., 2003.** Recherche sur les besoins en énergie et en azote des ovins algériens de race Ouled Djellel : validation zootechnique. Thèse de doctorat d'état, INA El Harrach, 100p.
- Tuori M.; 1980.** Finnish energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. Ann. Zootech., 29 (h.s): 391-392.
- Tyler C., 1956.** The development of feeding standars for livestock. The agricultural history review, 4(2): 97-107.
- Tyler C., 1975.** Albrecht Taher's hay equivalent: Fact or fiction? Nutrition Abstr. Rev. 45(1): 1–11.
- Van Es A.J.H., 1980.** Netherlands energy and protein feeding standards for growing and fattening cattle. Ann. Zootech., 29 (h.s): 402-406.
- Van Soast P.J.; Mertens D.R.; Deinum B., 1978.** Preharvest factors influencing quality of conserved forage. J. Anim. Sci., 47 : 712-720.
- Van Soast P.J.; Wine B.H., 1968.** Determination of lignin and cellulose in acid detergent fiber with permanganate. J. Assoc. Off. Agr. Chem., 51 :580.
- Van Soest P. J., 1963.** Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin, J. of AOAC, 46: 829-835.
- Van Soest P.J., 1965.** Symposium of factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake in relation to chemical composition and digestibility. J. Anim Sci., 24: 834-843.
- Vignau-Loustau L. ; Huyge C., 2008.** Stratégie fourragère : pâturage, ensilage, foin. Ed. France agricole, 750 10, Paris,336p.
- Villax E.J., 1963.** La culture des plantes fourragères dans les régions méditerranéennes occidentales. Rabat. Chair de cahier Rech. Agron. INRA: 1-64.
- Wilman D. ; Field M.; Lister S.J.; Givens D.I., 2000.** The use of near infrared spectroscopy to investigate the composition of silages and the rate and extent of cell-wall degradation. Anim. Feed. Sci. Technol., 88:139-151.
- Xande A.; Garcia-Trujillo R., Caceres O., 1989.** Feeds of the humid tropics (West indies). In: INRA, 1989. Ruminant nutrition. Recommanded allowances and feed tables: 347-363, INRA and Libbey Eurotext, Paris, Londres, 389p.

**Xiang K.; Jiankun X.; Xiulan W.; Yingjin H.; Jinsong B. , 2005.** Rapid prediction of acid detergent fiber, neutral detergent fiber and acid detergent fiber lignin of rice materials by near-infrared spectroscopy. .J. Agric. Food .Chem., 58: 2843-2848.

**Yahiaoui S. ; Abdelguerfi A., 1995.** Comportement et phénologie d'une espèce annuelle de la luzerne : *Medicago orbicularis* (L.) Bart. Options méditerranéennes, 12 : 25-28.

**Yearsley J.; Tolkamp B. J.; Illius A. W., 2001.** Theoretical development in the study and prediction food intake. Proceedings of the Nutrition Society, 60 (1): 145-156.

**Znidarsic T.; Verbic J.; Babwik D. , 2005.** Prediction of chemical composition and energy value of hay by Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS). Acta agriculturae Slovenica, 86 (1): 17-25.

## Annexes

### Annexe 1. Quelques valeurs de production d'unités fourragères (RGA, 2003)

Nature fourrages	Production annuelle en (UF Leroy en millions)
Fourrages cultivés en vert	43
Fourrages cultivés en sec	577
Fourrages naturels	5498
- Jachères	1443
- Prairies naturelles	73
- Parcours et pacages	3982

### Annexe 2. Evolution des superficies fourragères des fourrages cultivés en Algérie(MADR, 2008)

Culture	Fourrages cultivés							Moyenne 00/07	Progression (%) 2000/2007
	Années	00.01	01.02	02.03	03.04	04.05	05.06		
Superficies (10 <sup>3</sup> ha)	243	300	273	462	484	612	494	410	+16,4
Production (Millions Qx)	5,5	4,9	7,9	15,5	16,6	16,4	18,8	12,3	+23,8
Rendement (Qx/ha)	22,8	16,3	29,0	33,7	34,4	26,9	25,3	26,9	+5,7

### Annexe 3. Evolution des superficies fourragères naturelles en Algérie (MADR, 2008)

Culture	Fourrages naturels							Moyenne 2000/2007	Progression 2000/2007 (%)
	Années	00/01	01/02	02/03	03/04	04/05	05/06		
Superficies (10 <sup>3</sup> ha)	143	101	299	176	145	166	228	179	+22,8
Production (1000Qx)	2535	1433	4931	3499	2856	2889	4992	3305	+32,4
Rendement (Qx/ha)	17,8	14,2	16,5	19,9	19,7	17,0	21,9	17,5	+4,4

#### Annexe 4. Evolution du cheptel en Algérie (2000/2007) (MADR, 2008)

ESPECES	Effectifs (en millions de têtes)				Total effectifs
	BOVINS	OVINS	CAPRINS	CAMELINS	
2000	1,59	17,62	3,03	0,234	22,47
2001	1,61	17,30	3,13	0,246	22,28
2002	1,55	17,59	3,28	0,250	22,67
2003	1,56	17,50	3,32	0,253	22,66
2004	1,61	18,29	3,45	0,273	23,62
2005	1,59	18,82	3,63	0,279	24,31
2006	1,61	19,62	3,75	0,287	25,26
2007	1,66	19,85	3,77	0,293	25,5
Moyenne (2000/2007)	1,59	18,32	3,42	0,29	23,5
Evolution (%) 2006/2007	3,11	1,2	0,53	2,16	0,94
Moyenne d'évolution (%) 2000/2007	4,02	12,18	3,21	3,26	5,16

#### Annexe 5. Répartition du cheptel ovin (AnGR, 2003)

Races	Aires de répartition	Effectifs part (%)	Part (%)
<b>Ouled djellal</b>	Steppe et hautes plaines	11 340 000	63
<b>Rembi</b>	Centre Est (steppes et hautes plaines)	1 998 000	11,1
<b>Hamra ou Beniguil</b>	Ouest Saida et limites zones Sud	55 800	0,31
<b>Berbère</b>	Massif montagneux	4 500 000	25
<b>Barbarin</b>	Erg oriental sur frontières tunisiennes	48 600	0,27
<b>D'men</b>	Oasis du Sud Ouest algérien	34 200	0,19
<b>Sidahou</b>	Le grand Sahara algérien	23 400	0,13

## Annexe 6. Effectifs de brebis selon la taille du troupeau (RGA, 2003)

Classe de troupeau de brebis	Exploitations	Effectifs en têtes	Effectif/exploitation
<b>1 à 9</b>	146 491	614 079	4
<b>10 à 19</b>	69 417	884 955	13
<b>20 à 49</b>	59 116	1 734 845	29
<b>50 à 99</b>	24 666	1 675 117	68
<b>100 à 199</b>	11 318	1 469 362	130
<b>200 à 499</b>	3 383	917 373	271
<b>500 à 999</b>	307	198 406	646
<b>&gt; 1000</b>	68	155 196	2282
<b>Total</b>	<b>314 766</b>	<b>7 649 333</b>	<b>24</b>

## Annexe 7. Méthodes de mesure de la digestibilité des fourrages

Méthodes	Principe	Avantages	Inconvénients
Méthode directe de référence (essai de digestibilité) <sup>1</sup> « <i>In vivo</i> »	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Animaux maintenus dans des cages à métabolisme.</li> <li>- Mesure quotidienne du distribué, refusé, collecte de fèces et urine lors des bilans azotés.</li> <li>- Phase d'adaptation et de mesure dure environ 15 à 20 jours.</li> <li>- Analyse chimiques des échantillons collectés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de donner une bonne estimation de la digestibilité des nutriments et sert de référence avec laquelle toutes les autres mesures sont comparées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Longue et coûteuse</li> <li>- Nécessite des animaux (au moins 3) et de l'aliment.</li> <li>- Nécessite la main d'œuvre</li> <li>- L'ingestion est anormalement basse et erratique.</li> </ul>
Méthodes indirectes (de prédiction) 1- Méthode chimique (SCHNEIDER <i>et al.</i> , 1951 et 1952)  2- Méthode microbiologique <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>In vitro</i> Tilley et Terry (1963)<sup>2,3</sup></li> <li>• <i>In sacco</i> (dérive de la technique des poches de soie utilisées par Quin <i>et al.</i> (1939)<sup>4</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prédire la digestibilité à partir de la composition chimique ou la solubilité dans des solvants<sup>4,5</sup></li> <li>- Développer des équations de régression entre les composants chimiques et les digestibilités obtenues « <i>In vivo</i> ».</li> <li>- Utilisation du jus de panse</li> <li>- Elle consiste en 2 étapes, la première, consiste à incuber un échantillon (0.5 g) à 38°C dans un tube à essai (50 ml) avec du jus de rumen et une solution tampon et le tout est saturé avec du CO<sub>2</sub>. Après 48h l'incubation est arrêtée, puis filtration. Dans la deuxième étape, le résidu est récupéré pour être incubé pendant 48h avec pepsine-HCl.</li> <li>- Consiste à amener 2 à 3 g d'échantillons dans un sachet en polyester, dacron ou nylon qu'on suspend dans le rumen d'un animal (bovin ou ovin) muni d'une fistule du rumen pour des temps variables. Les sachets sont récupérés, lavés et séchés, puis le résidu est pesé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simple et rapide</li> <li>- Simple, rapide et non coûteuse.</li> <li>- Traiter plusieurs échantillons à la fois.</li> <li>- Bonne estimation de la digestibilité <i>In vitro</i>.</li> <li>- Peu onéreuse <i>In vitro</i>.</li> <li>- Peu laborieuse.</li> <li>- Bonne corrélation avec <i>In vivo</i>.</li> <li>- Plus précise qu'<i>In vitro</i>.</li> <li>- Permet d'étudier la cinétique de dégradation des aliments.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite des valeurs de références « <i>In vivo</i> ».</li> <li>- Pas aussi précise.</li> <li>- Equations de régressions pour chaque espèce<sup>1</sup>.</li> <li>- Nécessite l'entretien d'animaux fistulés pour le jus de rumen.</li> <li>- Peu reproductible.</li> <li>- Nécessite le maintien d'animaux fistulés.</li> <li>- Peu d'échantillon pouvant être traités à la fois <i>In vitro</i>.</li> </ul>

1 : Aufrère et Michalet-Dorsau (1990) ; 2 : Ruba et Abdul Shakoob (2008) ; 3 : Ajmal Khan *et al.* (2003) ;

4 : Johnson *et al.* (1964) ; 5 : Dehority et Johnson (1964) ; 6 : Demarquilly et Jarrige (1981) ; 7 : Decruyenaere *et al.* (2009) ; 8 : Lila et fustoss (2000).

## Annexe 7 (Suite). Méthodes de mesure de la digestibilité des fourrages

Méthodes	Principe	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Gas-test (Menke et al. (1979))<sup>2,3</sup></b></li> </ul>	- C'est une adaptation de la première étape de Tilley et Terry, avec l'utilisation des seringues à la place des tubes à essai. On mesure la quantité de gaz de fermentation produit à des temps variables.	- Elle peu être automatisée, donc moins de travail, mais coûteux.	- Peu reproductible - Interprétation difficile des résultats.
<p>1- <b>Méthode enzymatique<sup>1</sup> (Danefer et al., 1963 ; Jarrige et Thivend (1969))</b></p> <p>2- <b>Méthode physique (Chenot, 1966 ; Chenot et Grenet, 1971)<sup>4</sup></b></p>	- Consiste à utiliser des enzymes cellulolytiques extraites des champignons ou autres. Un pré ou post traitement est associé (pepsine-HCl ; Détergent acide ou neutre) à l'action de l'enzyme (100mg/100 ml de tampon).	- Bonne précision de la prévision. - Reproductibles. - Simple, Rapide et moins laborieuses.	- Nécessite l'emploi d'équations de prévision différentes selon les espèces, les familles et le mode de conservation du fourrage. - Standardisation très rigoureuse du conditionnement
<p><b>Analyse chimique des fèces (Au pâturage)</b></p>	- Consiste à mesurer l'énergie nécessaire pour broyer un fourrage. Ce qu'on appel « indice de fibrosité ».	- Simple et rapide	- Mauvaise reproductibilité - N'a pas eu de développement
<p><b>Analyse chimique des fèces (Au pâturage)</b></p>	- Consiste à doser l'azote ou l'indigestible pariétal dans les fèces.	- Bonne estimation de la digestibilité	- L'étroite relation entre l'azote fécal et la digestibilité sont liés aux caractéristiques botaniques du pâturage ce qui ne permet pas une application universelle.
<p><b>Analyse globale par spectrophotométrie<sup>5</sup> (SPIR)</b></p>	- Analyse des fèces ou l'aliment et les fèces pour prévoir la digestibilité. - Mettre au point une équation de calibration.	- Bonne précision - Technique prometteuse surtout pour les animaux aux pâturages.	- Onéreuse - Nécessite une grande base de données de mesures in vivo pour la calibration (>150 échantillons pour des équations robustes).

1 : Aufrère et Michalet-Doreau (1990) ; 2 : Ruba et Abdul Shakour (2008) ; 3 : Ajmal Khan et al (2003) ;  
4 : Johnson et al (1964) ; 5 : Dehority et Johnson (1964) ; 6 : Demarquilly et Jarrige (1981), 7 :  
Decruyenaere et al, (2009) ; 8 : Lila et fustons (2000).

## Annexe 8. Les méthodes de mesure de l'ingestibilité des fourrages

Méthodes	Principes	Avantages	Inconvénient
- Méthode directe « In vivo », de référence	- Mesure quotidienne du distribué et du refus, pour déterminer l'ingéré sur 6 sujets en moyenne logés individuellement ou en lot, cela dépend du but de l'expérimentation. Une période d'adaptation de 10 à 15 jours est recommandée.		- Longue et coûteuse en animaux et en aliments. - Laborieuse et nécessite la main d'œuvre.
- Méthodes indirectes (Prévision par des équations)  ✓ Age et Composition chimique  ✓ Méthodes biologiques (In situ et le gaz test)	- Consiste à établir des régressions simples ou multiples entre l'ingestibilité « in vivo » et la composition chimique ou l'âge des fourrages (MAT, CB, NDF, ADF, ADL).  - Même principe que les méthodes chimiques, ou les composants chimiques sont remplacés par les paramètres de dégradations des fourrages (a, b, a-b) ou la cinétique de dégradation (72 h et 96h).	- Simples et rapides  - Simples et rapides - Représente mieux ce qui se passe dans le rumen (dégradation et fermentation). - Meilleure prédiction que les composants chimiques. - Ces techniques associées aux composants chimiques donnent de meilleures équations de prédiction <sup>1,2</sup> .	- Précision moyenne  - L'association de plusieurs techniques nécessite plus de travail.
Vaches aux pâturages  - Directes • Mesure de la masse d'herbe <sup>4</sup>	- Basées sur la mesure de la masse d'herbe avant et après le pâturage. - La masse d'herbe est estimée par la récolte et la pesée de l'herbe récoltée dans une surface prédéfinie. - Utiliser pour les animaux en troupeaux.	- Facile à appliquer si la période de pâture est courte (1 à 2 jours au maximum) et le taux de chargement est élevé (toute l'herbe est consommée).	- Erreur de l'estimation si la période de pâture est plus de deux jours, à cause des repousses.

1 : Ferret et al (1997) ; 2 : Chermiti (1997) ; 3 : Macoon et al (2003) ; 4 : Decruyenaere et al (2009a) ; 5 : Decruyenaere et al (2009b) ; 6 : Lippke (2002).

## Annexe 8 (Suite). Les méthodes de mesure de l'ingestibilité des fourrages

Méthodes	Principes	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Différence des poids vifs<sup>1</sup></li> <li>• Besoins et performances des animaux<sup>2</sup></li> </ul> <p>- Indirectes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Techniques des marqueurs<sup>3</sup></li> <li>* Techniques des ratios</li> <li>* Etude du comportement</li> <li>* Analyse micro-histologique des résidus de plantes contenu dans les fèces, l'estomac ou les intestins<sup>4</sup></li> <li>• Modèles empiriques</li> </ul>	<p>- Basé sur l'hypothèse que la connaissance des besoins et les performances des animaux sont le reflet de la valeur nutritive des aliments ingérés.</p> <p>- Implique la détermination des composants naturels indigestible chez les plantes. Tel : la lignine, les alkanes et les cendres insolubles excrétés dans les fèces.</p> <p>- Implique la détermination de la digestibilité du fourrage et la récolte des fèces par la collecte totale des fèces, ou à travers un sac fixé par un harnais sur l'animal, et enfin, l'utilisation d'un marqueur indigestible externe (oxyde de chrome, ytterbium)</p> <p>- Méthodes basées sur les observations du temps de pâturage, nombres de bouchées...</p> <p>- Appliquées aux animaux sauvages</p> <p>- Basé sur des régressions multiples entre l'ingestion et les caractéristiques des plantes (digestibilité, fibres, part des légumineuses...); de l'animal (PV, GPV,</p>	<p>- on peut mesurer l'ingestion sur une courte période (1 heure).</p> <p>- Fiable<sup>5</sup> et peu coûteuse.</p> <p>- Facile à appliquer.</p> <p>- Ne nécessite aucun équipement.</p>	<p>- La précision dépend de la balance, et la perte de poids liés aux fèces et urines.</p> <p>- La détermination précise des besoins des animaux surtout les pays tropicaux ou les animaux se déplacent à la recherche de l'herbe.</p> <p>- L'échantillonnage doit être le plus représentatif possible de l'ingéré.</p> <p>- Les méthodes de récolte des fèces peuvent perturber l'animal au pâturage.</p> <p>- La méthode des sacs peut induire des erreurs dans l'estimation.</p> <p>- L'observateur peut perturber l'animal, il faut l'accoutumer à sa présence.</p> <p>- Nécessite l'abattage de l'animal.</p>
<p>1 : Ferret et al (1997) ; 2 : Chermiti (1997) ; 3 : Maccoou et al (2003) ; 4 : Decruyenaere et al (2009a) ; 5 : Decruyenaere et al (2009b) ; 6 : Lippke (2002).</p>			
Méthodes	Principes	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Analyse par la spectrométrie dans le proche infrarouge<sup>6</sup></li> </ul>	<p>- Basé sur l'établissement d'une calibration à partir d'un grand nombre de données reliant les spectres (lumière absorbée à différentes longueurs d'onde) aux valeurs obtenues par les méthodes de références.</p> <p>- Ces calibrations permettent l'estimation de la digestibilité In vivo en premier, et l'ingestion en deuxième lieu, à travers l'analyse des fourrages, des contenus oesophagiens ou les fèces.</p>	<p>- Très bonne précision comparable à celles obtenues In vivo.</p> <p>- Facilite la détermination de l'ingestion au pâturage à travers l'analyse des fèces.</p>	<p>- Equipement coûteux.</p> <p>- Nécessite le développement d'une large gamme de valeurs de références mise à jour périodiquement, pour développer des équations de calibrations plus robustes.</p>
<p>1 : Ferret et al (1997) ; 2 : Chermiti (1997) ; 3 : Maccoou et al (2003) ; 4 : Decruyenaere et al (2009a) ; 5 : Decruyenaere et al (2009b) ; 6 : Lippke (2002).</p>			

## Annexe 9. Les principales caractéristiques des espèces étudiées (l'orge)

Classification	Description	Origine	Aire de répartition	Exigences	Production mondiale et commercialisation en grains	Différentes utilisations en alimentation animale	
						Grains	Fourrages
<b>Classe :</b> monocotylédone <b>Ordre :</b> Cyperales <b>Famille :</b> Poaceae <b>Sous-famille :</b> Psectuacoidées <b>Genre :</b> Hordeum <b>Espèce :</b> <i>Hordeum vulgare</i>  <b>Variétés en Algérie (8)</b> Tichedret Saïda Jaidor (Dahbia) Rihane 03 Barbesouss (Hamra) ACSAD176 (Nalia) ACSAD 60 (Bahrés) ACSAD 68 (Femada)	Graminée annuelle de 120-150cm de haut, talles abondants. Système racinaire de 3 à 9 racines primaires et de racines adventives. Tige érigée portant 5 à 10 feuilles, chaumes alternés simples, gaine glabre. Ligule de 1-3 mm de longhyaline et limbe lancéolé. L'inflorescence est un épi barbu de 5 à 30 cm, le fruit est un caryopse 4), grain à glumelles adhérentes qui restent attachées au grain lors du battage (2) (3).	Céréale annuelle originaire d'Asie occidentale (1)	Cosmopolite, elle est présente dans les régions boréales les plus éloignées (Scandinavie) le Nil jusqu'à atteindre l'Afrique de l'Est en passant par toutes les régions tempérées (1), (3).	Variables, s'adapte mieux au climat tempéré, supporte les températures élevées sous climat sec et humidité sous climat frais. Est mal adaptée aux climats chauds et humides. Accepte des précipitations allant de 0,2 m à 1 m. S'accommode a tous les types de sols sauf des sols très humides. Ceux argileux bien drainés et fertile conviennent le mieux. Supporte bien les sols alcalins, (pH=6-8,5), mais pas les sols acide. Est très sensible à l'asphyxie (2); (3); (5).	Production mondiale de grains est 150 millions de tonnes (MT) en 2009 sur une surface de 54,1 millions d'hectares (Mha)  <b>Plus gros producteur :</b> Fédération de Russie 17,8 MT, 7,7 Mha ; Allemagne 12,2 MT et 1,8 Mha ; Canada 9,5 MT et 2,9 Mha (2009)  <b>Plus gros exportateurs :</b> USA 0,73 MT ; Australie 1,8 MT et le Canada 1,9 MT en 2007.  <b>Plus gros importateurs :</b> L'Arabie saoudite (7 MT), Chine 0,96 MT ; le Japon 1,4 MT en 2007 (6)  <b>Importation Algérie :</b> 26 551 tonnes en 2007  <b>Production Algérie :</b> 22 033 590 quintaux (9)	Seuls ou incorporés dans un concentré	En vert (2 coupes) ou en pâturer (2 à 3 passages) Rendements de 20 à 40 tonnes de vert. Emulé au stade grain laitex. En foin reste moins importante que les autres graminées. Peut être cultivée seule ou en association avec une légumineuse (vesce, pois, gesse) (3), (2).  <b>Rendement en Algérie :</b> 17,6 quintaux/ hectare (9)
(1) Villax (1963) ; (2) Marcel et al(2002) ; (3) Abdélguerfiel Laouar (2002) ; (4) Royo et Trobo (1997) ; (5) ITGC (2006) ; (6) FAO(2009) ; (7) MADR (2007) ; (8) Colli (1979) ; (9) FAOstat(2010).							

## Annexe 9 (suite). Les principales caractéristiques des espèces étudiées (l'avoine)

Classification	Description	Origine	Aire de répartition	Exigences	Production mondiale et commercialisation en grains	Différentes utilisations en alimentation animale	
						Grains	Fourrages
<p><b>Classe</b> Monocotylédone</p> <p><b>Ordre</b> Cyperales</p> <p><b>Famille</b> Poacées</p> <p><b>Sous famille</b> Panicoïdées.</p> <p><b>Genre</b> Avena</p> <p><b>Espèce</b> Avena sativa</p> <p><b>Variétés en Algérie (8)</b></p> <p>ROUGE 31 (LAHMAR 31)</p> <p>HANEL</p> <p>NOIRE 912 (LAKHAL 912)</p> <p>AVON (NOUR)</p> <p>WWT 8 PREVISION (Bani)</p>	<p>Annuelle</p> <p>l'inflorescence est une panicule très ramifiée.</p> <p>L'épillet porte 2 à 3 fleurs fertiles auto fécondantes donnant 2 à 3 grains velus entourés de 2 glumelles. A maturité ces glumelles se colorent. Grains blanc à gris, noir ou rougeâtre. Glumelle inférieure constitue un critère de distinction de variété d'avoine par sa couleur, sa forme et sa pilosité (4).</p>	<p>Origine exacte pas clairement établie.</p> <p>C'est une plante provenant des pays froids (1)</p>	<p>Va des îles canaries au moyen orient (2).</p> <p>Largement cultivée dans les régions tempérées du Nord (Europe, Amérique du Nord) (3). Les variétés cultivées en Europe appartiennent pour la plus part à la sous espèce Avena sativa (4)</p>	<p>Préfère les régions à climat frais et plus au moins humide (1). Résiste aux basses températures (5)</p> <p>Sensible au déficit en d'eau (0,4m à 0,5m). Préfère les sols limoneux profonds bien alimentés en eau et bien drainés et tolère les sols acides et peu fertiles (8). Les meilleurs rapports sont obtenus sur sol profond à forte capacité de rétention (5).</p>	<p>Production mondiale en grains est de 23 MT sur une surface cultivée de 10,2 Millions Mha (2009).</p> <p><b>Principaux producteurs</b> Fédération de Russie (5,4 MT) sur 3 Mha ; Canada 2,7 MT sur 0,94 Mha ; Etat unis 1,3 MT sur 0,55 Mha (2009).</p> <p><b>Les plus gros exportateurs</b> Canada 2 MT ; Suède 120 712 tonnes ; Finlande 270 527 tonnes (2007) (6).</p> <p><b>USA plus gros importateur</b> 1,8 MT (2007) (6).</p> <p><b>Importation Algérie</b> : 5861 Tonnes</p> <p><b>Production Algérie</b> :</p> <p>95 712 quintaux sur 36 582 ha (9).</p>	<p>Seuls ou incorporés dans un concentré</p>	<p>Elle peu être utilisée comme fourrage vert (déprimé ou en coupe). Peut être ensilée (avril-Mai) ou fanée pour être utiliser en foin. Peut être à maturité utilisée en paille (8).</p> <p><b>Rendement en Algérie:</b></p> <p>12,4 quintaux /hectare (9)</p>

(1) Villax (1963) ; (2) Murphy et Hoffman (1992) ; (3) Leggett et al (1992) ; (4) Marcel et al (2002) ; (5) ITGC (2006) ; (6) FAO (2009) ; (7) MADR (2007) ; (8) Colli (1979) ; (9) FAOstat (2010).

## Annexe 9 (suite). Les principales caractéristiques des espèces étudiées (le Sorgho)

Classification	Description	Origine	Aire de répartition	Exigences	Production mondiale et commercialisation	Différentes utilisations en alimentation animale	
						Grains	Fourrages
<b>Classe :</b> Monocotylédone  <b>Ordre :</b> Cyperales  <b>Famille :</b> Poacées  <b>Sous famille :</b> Panicoïdées.  <b>Genre :</b> Sorghum.  <b>Espèce :</b> <i>Sorghum vulgare</i>  <b>Variétés en Algérie</b>  Tarif (7)	Plante annuelle, bisannuelle ou pérenne à thalles unique ou multiples (5m). Système racinaire (1,5m) ramifié ; tige cylindrique, pleine et érigée (1 à 3m). Feuilles alternes, simples, gaines (15-35cm), ligule de 2 mm avec un limbe lancéolé. Inflorescence en panicule (60cm), épillets groupés par 2 ou 3. Est généralement autogame. Grain est un caryopse (4 à 8.mm). On distingue deux types : le S. vulgare, le S. vulgare var sudanais (3) ;(4) ;(10)	D'Ethiopie il s'est répandu vers l'Est (Inde, l'Asie du Sud) et vers l'ouest en Afrique centrale et occidentale pour donner naissance aux diverses formes de sorghos. Domestiqué 5000-3000 ans jusqu'à 1000 ans avant JC (1) ;(2) ;(10).	Du Nord de l'Afrique, il s'est diffusé dans toute l'Afrique, le proche orient l'Inde et en Amérique avec le commerce des esclaves au 16ème siècle. Actuellement il est cultivé sur les cinq continents	Plante des milieux tropicaux et semi aride ; s'adapte à la sécheresse. Supporte les températures de tous niveaux, cultivé en régions tempérées et tropicales jusqu'à 2300.m d'altitude. Culture d'été qui se caractérise par une croissance printanière (5) ;(6). S'adapte à une large gamme de sol allant des sols les plus légers (sabloux) aux sols les plus lourds (vertisols) et aux pH qui varient de 4,5 à 8,5 (8).	Le sorgho occupe désormais le 5ème rang mondial des céréales après le blé, le maïs, l'orge et le riz avec une production mondiale de : 62.MT sur une surface cultivée de 43,7 MHa (2009) (9). En Afrique il occupe la 2ème place après le maïs avec une production de 27,1.MT sur 27,7 MHa (2009).  <b>Principaux producteurs :</b> USA avec 9,7.MT sur 2,2 Mha, l'Inde (7,2.MT sur 7,7 Mha), et le Nigeria (9,3.MT sur 7,6 Mha) (2009) (9).  <b>Exportateurs :</b> USA (5,7.MT)  <b>Importateurs :</b> Mexique (1,8.MT) et Japon (1,2.MT) (9).  <b>Production Algérie :</b> 3 890 quintaux sur 43 ha (2009)	Seuls ou incorporés dans un concentré	Peut être exploité de diverses façons : affouragement en vert (5) au stade épisaison début floraison (4). En pâturage : les nouvelles variétés contiennent peu d'acide cyanhydrique, le risque sanitaire minime (3). Il peut être aussi ensilé (5) au stade début grain pâteux (4).  <b>Rendement en Algérie :</b> 90,4 quintaux/hectare

(1) Marcellet al (2002) ; (2) Dogene (1970) ; (3) Abdelguerfi et Laouar (2002) ; (4) Abdelguerfi (2007) ; (5) ITCG (2006) ; (6) Quimby et al (1973) ; (7) Colli (1979) ; (8) Lapeyronie (1992) ; (9) FAOstat (2010) ; (10) Toutsain et Roberge (1999)

## Annexe 9 (suite). Les principales caractéristiques des espèces étudiées (Trèfle d'Alexandrie « bersim »)

## Éléments princeps de la valeur alimentaire des fourrages algériens pour le ruminant

Classification	Description	Origine	Aire de répartition	Exigences	Production mondiale et commercialisation	Différentes utilisations en alimentation animale	
						Grains	Fourrages
<p><b>Classe :</b> Dicotylédone</p> <p><b>Sous classe :</b> Rosidae</p> <p><b>Ordre :</b> Fabales</p> <p><b>Famille :</b> Fabacées</p> <p><b>Genre :</b> Trifolium</p> <p><b>Espèce :</b> <i>Trifolium alexandrinum</i>.</p> <p><b>Variétés en Algérie (5)</b> multi-coupe (Egypte) Lipo Kastalia Sacramento (USA).</p>	<p>Légumineuse annuelle à poussée hivernale, à port érigé. Racines puissantes à forte ramification ; tige velue pouvant atteindre 60cm voir plus en floraison ; feuilles composées de trois folioles ; fleur de couleur blanchâtre à rosâtre (3).</p>	<p>Le centre primaire du bersim serait la Syrie. Introduit en Egypte au 6ème siècle d'où son nom tréfle d'Alexandrie (1).</p>	<p>Abondante au proche Orient et notamment en Egypte Le bersim a été introduit vers les années vingt au Maroc ; dans certains pays du Maghreb. Le tréfle d'Alexandrie est la principale légumineuse (2).</p>	<p>Adapté aux hivers doux et humides (supérieur à 500 mm) et aux températures de 11 à 20°C (3) mais croissance possible à 30°C ; craint les basses températures. Préfère les sols argileux, limoneux supporte bien le calcaires (2)</p>	-	Non	<p>Plante nettoiyante et amélioratrice, possède une grande souplesse d'exploitation en vert, mais qui se fane mal (4). Utilisée exclusivement pour l'affouragement en vert ; ne s'adapte pas au pâturage et sa conservation est déconseillée (2).</p>

(1) Villax (1963) ; (2) Abdelguerfi et Laonar (2002) ; (3) ITGC (2006) ; (4) Lapeyronie (1982) ; (5) Colli (1979).

## Annexe 9 (suite). Les principales caractéristiques des espèces étudiées (La luzerne)

Classification	Description	Origine	Aire de répartition	Exigences	Production mondiale et commercialisation	Différentes utilisations en alimentation animale	
						Grains	Fourrages
<p><b>Classe :</b> Dicotylédone</p> <p><b>Sous classe :</b> Rosidae</p> <p><b>Ordre :</b> Fabales</p> <p><b>Famille :</b> Fabacées</p> <p><b>Sous famille :</b> Faboideae.</p> <p><b>Genre :</b> Medicago</p> <p><b>Espèce :</b> <i>Medicago sativa</i></p> <p><b>Variétés en Algérie : (6)</b> PROVBIICE</p>	<p>Herbacée de 30 à 70 cm de haut vivace par ses tiges souterraines ramifiées ; Racines pivotante forte enfoncées très profondément dans le sol (2.m). La tige portes des feuilles trifoliolées ; fleurs en grappes violacées, pourpres et blanchâtres ; fruit est une gousse recourbée en hélice sur 2 à 3 tours, contenant des graines brunes-jaunes réniformes allogames (4).</p>	<p>Originnaire des régions montagneuses d'Iran. Elle a gagné la méditerranée puis l'Europe occidentale. Elle a été introduite en Amérique au siècle dernier (1); (2).</p>	<p>Légumineuse fourragère la plus cultivée dans le monde. Culture très ancienne, remonte à plus de 9000 ans dans les hauts plateaux du Caucase, l'Iran et la Turquie d'où elle se serait répandue dans le monde entier. Il existe trois types de luzerne qui se distinguent par le repos végétatif : faible (type méditerrané) ; moyen (type intermédiaire) ; très marqué ; (type nordique) (1)</p>	<p>Adaptation assez large aux différents climats mais elle peut être sensible aux basses températures au début de son développement. Cultivée dans les régions à plus de 450 mm de pluie. Convient aux sols fertiles bien drainés ayant un pH proche de la neutralité perméable et profond. S'adapte difficilement dans les sols hydromorphe (3)</p>	<p>La récolte annuelle mondiale est de plus de 454 MT en culture pure. Elle occupe 33 Mha dont 13 aux USA, 8 Mha en Amérique du Sud et 8 Mha en Europe.</p> <p><b>Production Algérie :</b> 211 510 quintaux (5)</p>	Non	<p>En vert après un pré fanage ou ensilé après un fanage avec une graminée, en bouchon(1) ; (3)</p> <p><b>Rendement en Algérie :</b> 49,6 quintaux/hectar (5)</p>

(1) Abdelguerfi et Laonar (2002) ; (2) Abdelguerfi (2007) ; (3) ITGC (2006) ; (4) ADCF (2005) ; (5) MADR (2007) ; (6) Colli (1979).

## Annexe 9 (suite). Les principales caractéristiques des espèces étudiées (La vesce)

Classification	Description	Origine	Aire de répartition	Exigences	Production mondiale et commercialisation	Différentes utilisations en alimentation animale	
						Grains	Fourrages
<p><b>Classe :</b> Dicotylédona</p> <p><b>Sous classe :</b> Rosidae</p> <p><b>Ordre :</b> Fabales</p> <p><b>Famille :</b> Fabacées</p> <p><b>Sous famille :</b> Viciées</p> <p><b>Genre :</b> Vicia</p> <p><b>Espèce :</b> <i>Vicia sativa</i></p> <p><b>Variétés en Algérie :</b> (5)</p> <p>Précoces : Langnedoc 225 et 159</p> <p>Demi-tardives : Kabylie 130, Bulgané 145</p> <p>Tardives : Roumanie 3226-2 et 3232-3</p>	<p>Papilionacée, possédant des feuilles composées de 5 à 7 folioles et dont l'axe est terminé par une vrille ramifiée, les feuilles sont glabres, parfois légèrement pubescentes, disposées de façon alterné sur la tige Principale (1). Les fleurs d'un pourpre violacées sont solitaires ou groupées par deux, les grains, sphériques, de couleurs grises, brunes, vertes ou blanches (1).</p>	<p>Compte environ 150 espèces originaires de l'Ancien et du Nouveau Monde et plus particulièrement de la région de la Méditerranée (2). Le genre vicia est originaire des régions tempérées ; La vesce cultivée, originaire d'Europe (3).</p>	-	<p>Espèce du sous genre Vicia, la moins tolérante aux conditions difficiles par rapport aux autres espèces. Optimum de croissance à 15°C à 5°C. Arrête sa croissance. A - 5°C, la plante est détruite. Craint la chaleur (+30°C) (6). Est mal adaptée aux conditions méditerranéennes, Préférence pour les sols limoneux et tolère un pH entre 4,5 à 8,2 (7) Elle s'adapte aux sols lourds, frais et humifères.</p>	-	Non	<p>Couramment cultivé comme fourrage, mais aussi comme engrais vert, avant culture de céréales. Peut être distribuée aux animaux en vert (fauchés), fanée ou ensilée. Intérêt à l'associer à un autre fourrage (avoine, orge), qui lui servira de support, et entraînera un complément de production (5).</p>
<p>Marcel et al (2002) ; (2) Ernest (2009) ; (3) Encarts (2009) ; (5) Poirier (1976) ; (6) Reid et al (1993) ; (7) Duck (1981).</p>							

## Annexe 10. Définition des cycles et stades de coupe (INRA, 2007)

- les Graminées

### 1<sup>er</sup> Cycle

**Stade feuillu** : aucune ébauche d'épis ne se trouve à plus de 7cm de hauteur dans la gaine.

**Stade début épiaison** : apparition des épis hors de la gaine; en pratique, de 5 à 10 % des plantes examinées sur une ligne de 1 m ont leurs épis sortis de la gaine.

**Stade épiaison** : 50% des plantes examinées sur une ligne de 1m ont leurs épis sortis de la gaine.

**Stade floraison** : 50% des plantes examinées ont leurs étamines sorties.

2<sup>ème</sup> Cycle

**Les repousses de deuxième cycle des graminées sont de deux sortes**

- **Les repousses feuillues** : les espèces ne remontent pas à épis aux cours des cycles de repousses.
- **Les repousses épiées** : les espèces remontent à épis au cours du deuxième cycle

Pour les graminées céréalières (blé, orge, sorgho, avoine,...) les stades de maturité des échantillons sont caractérisés par la consistance du grain ;

**Stade laiteux** : Le grain a pris sa forme définitive et est rempli d'un liquide laiteux.

**Stade pâteux** : Le grain est coloré, s'écrase facilement sous la pression des doigts et son contenu est pâteux.

**Stade vitreux** : Le grain à l'aspect corné et ferme, bien qu'on puisse encore le couper avec l'angle.

- Les Légumineuses

**Stade végétatif** : absence totale de boutons floraux.

**Stade bourgeonnement** : 50% des tiges examinées sur une ligne de 1m ont des boutons floraux à leur extrémité.

**Stade début floraison** : 5% à 10% des tiges examinées sur une ligne de 1m ont des fleurs épanouies.

**Stade floraison** : 50% des tiges examinées sur une ligne de 1m ont des fleurs épanouies.

## **Annexe 11. Principe et signification des méthodes de d'analyse de la composition chimique des aliments du bétail utilisées dans le monde**

Analyse	Méthode et principe	Avantages	Inconvénients	Auteurs
Matière sèche	- C'est le résidu qui reste après dessiccation d'un échantillon d'aliment dans une étuve réglé à 103°±1°C après 24h.	- Permet de rapporter tous les autres nutriments sur la base de la MS. - Meilleure comparaisons des aliments et formulation de rations.	-	<b>Sauvant (1988)</b> <b>Ball et al (2001)</b>
Les cendres	- Résidu obtenu après incinération à 550±10°C pendant 6 heures	- Permet l'évaluation de la MO de l'aliment.	- Pas de signification pour raisonner l'alimentation minérale des animaux (P, Ca, Mg...), il faut des dosages spécifiques.	-
Les matières azotées	- L'azote total est dosé par la méthode <b>Kjeldahl (1883)</b> . - L'azote organique est minéralisé par l'acide sulfurique, l'azote ammoniacal formé est déplacé par la soude et dosé par titrimétrie. Ce dernier multiplié par 6.25 donne les MAT.	-	- Elle ne permet pas le dosage direct des nitrates, nitrites, nitrosyles, cyanures qu'il faut d'abord réduire en ammoniac.	-
Extrait éthéré ou matière grasses brutes	- Correspond aux substances extraites sous reflux par de l'éther éthylique (ébullition à 35°C) et plus récemment l'hexane ou l'éther de pétrole (55-65°C).	-	- L'extrait ne comporte pas la totalité des lipides et renferme des substances non lipidiques solubles dans le solvant. - Cet extrait est à prendre avec réserve pour les fourrages car, il est constitué pour moitié de pigments.	<b>Sauvant (1988)</b>
Les fibres - La cellulose brute  - Résidu pariétal (NDF)  - Résidu ADF	- Dosée par la méthode de <b>Weende (1860)</b> . Le résidu est obtenu après deux hydrolyses l'une en milieu acide et l'autre en milieu alcalin (1.25%).  - Méthode <b>Van soest et Wine (1968)</b> . Le résidu est obtenu par l'action d'un détergent neutre et tamponné.  - Méthode de <b>Van soest (1963)</b> . Le résidu est obtenu par un acide sulfurique normal associé au CTAB.	- Permet de renseigner sur la partie indigestible de l'aliment.  - Permet une estimation rapide et à peu près exact.  - Plus simple, rapide et plus reproductible que la CB.	- Elle sous estime la teneur en paroi totale, où la majorité de la cellulose et de lignine sont solubilisées avec les protéines et les MG et comptabilisé avec l'ENA.  - Il sous estime la concentration en paroi, car les substances pectiques des parois, et une partie des hémicelluloses et de la lignine sont solubilisées.	<b>Giger et Pochet (1987)</b> <b>Jung (1997)</b>

## Annexe 11 (suite). Principe et signification des méthodes de d'analyse de la composition chimique des aliments du bétail utilisées dans le monde

Analyse	Méthode et principe	Avantages	Inconvénients	Auteurs
- Résidu ADL	- Méthode gravimétrique de <b>Van soest (1963)</b> . Obtenue sur le résidu ADF après attaque par l'acide sulfurique concentré (72%). - Méthode de <b>Van Soest et Wine (1968)</b> . Estimée à partir de la MS extraite à partir de l'ADF après oxydation par le permanganate de potassium - Méthode par absorption moléculaire de <b>Morrison (1972)</b> . La lignine solubilisée dans le bromure d'acétyle absorbe les rayons ultra-violet (280 nm).	- Simple	- Surestimation de la lignine - Faible reproductibilité.  - Nécessite l'élimination des protéines et les substances phénoliques et trouver une lignine de référence représentative de celle des échantillons à doser	<b>Giger et Pochet (1987)</b>
- Eau, MAT, CB, glucides et constituants pariétaux	- Méthode de la spectrométrie dans le proche infrarouge, développée par <b>No rris (1962)</b> . Basée sur le principe d'absorption du rayonnement infrarouge (1100-2500 nm) par la matière organique de l'échantillon. Nécessite une phase d'étalonnage basée sur des mesures de référence et l'établissement de modèles mathématiques reliant le spectre à ces mesures.	- Simple, rapide, non destructive et nécessite peu d'échantillons (4-5 g suffisent)	- Ne permet pas le dosage des matières minérales. - Les substances à l'état de traces (- 3 % MS) ne peuvent prédites par la SPIR. - Onéreux e.	<b>Cirad (2010)</b>

## Annexe 12. Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans

N°	Aliments	MS en (%)	Composition chimique en % de MS					dMO%	Nombre d'essais	Valeur énergétique			Valeur azotée (g/Kg)				Quantité ingérée	
			MAT	CB	Cendres	Ca	P			UF leroj	UFL	UFV	MAD	PDIA	PDI	PDIE	gMS/100 kg P.V.	g/kg p <sup>0.75</sup>
	GRAMINÉES																	
	FOURRAGÈRES																	
	Fétuque élevée																	
	Fétuque élevée																	
1	cyde1 Feuillue	19,0	20,0	21,0	14,0			1										
2	cyde2 Feuillue	17,39	20,9	21,4	13,4			2	0,75			157						
3	cyde3 Feuillue	18,0	18,1	23,0				2	0,72			127						
3	cyde3 Feuillue	18,0	18,1	23,0				2	0,72			127						
4	cyde4 Feuillue	20,0	17,2	24,1	13,7			2	0,67			117,7						
5	cyde5 Début épisaison	26,3	14,7	29,5	7,2			2	0,65			97,1						
	Ray-grass d'Italie																	
	1 <sup>er</sup> cycle																	
6	Feuillue	12,8	18,0	18,7	16,7			6	0,86			137,5					2621	
7	Épi à 10 cm	16,8	15,4	21,9	11,0			7	0,79			162,6					3020	
8	Épisaison	22,6	15,2	27,8				6	0,74	1,2							2640	
	2 <sup>ème</sup> cycle																	
9	Épi à 10 cm	14,5	16,0	23,0	14,4			7	0,76			170					2920	
10	Épisaison	21,2	16,9	28,2				6	0,68			120					2580	
	3 <sup>ème</sup> cycle																	
11	Épisaison	14,0	16,1	24,4	10,1			6	0,71			114					2440	
	4 <sup>ème</sup> cycle																	
12	Fin épisaison	16,5	11,4	28,1	11,2			6	0,68			77					2100	
	5 <sup>ème</sup> cycle																	
13	Florisaison	24,7	9,4	31,8	8,9			7	0,62			58,5					2020	10,7

## Annexe 12 (suite). Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans

N°	Aliments	MS en (%)	Composition chimique en % de MS					Digestibilité MO%	Nombre d'essais	Valeur énergétique			Valeur azotée (g/Kg)				Quantité ingérée		
			MAT	CB	Cendres	Ca	P			UF Leroy	UFL	UFV	MAD	PDIA	PDIN	PDIE	gMS/ 100 kg P.V.	g/kg P <sup>0,75</sup>	
	<b>Céréales</b>																		
	<b>Avoine</b>																		
14	Montaison	16,98	15,7	27,52	14,28			73	4	0,73				114				2640	
15	Épaison	20,88	12,98	29,97				68,9	5	0,64				92				2540	
16	Floraison	25,45	7,44	31,91	9,25	0,92	0,21	57	8	0,46				52				1860	
17	Grain laitex	31,87	8,26	37,29	9,26	0,29	0,19	55	14	0,42				50				1760	
18	Grain pâteux dur	38,77	7,85	34,25				62,1	9	0,47				51				1880	
19	Grain vitreux	61,06	6,53	36,25	9,42	0,46	0,29	56	4	0,43				43				1820	
	<b>Orge</b>																		
20	Feuille	12,2	23,04	29,2	14,3	0,63		79,8	4	0,85				169				2580	
21	Montaison	13,9	17	25,2	12,8	0,57		73,9	6	0,75				122				2420	
22	Épaison	22,06	13,86	30,55				69	4	0,66				108				2040	
23	Floraison	27	11,4	34,8	11	0,76	0,29	64,9	3	0,6				80				1900	
24	Grain laitex	25	9,6	32,6	10,6			62	4	0,54				63				1780	
25	Grain pâteux	31,26	8,06	33,86	7,1	0,63	0,29	63,9	4	0,58				44				1700	
	<b>Sorgho</b>																		
	<b>1<sup>er</sup> cycle</b>																		
26	Montaison	16,4	9,2	27,5	11,3	0,69	0,36	63	4	0,56				70				2440	
27	Débutépaison	19,7	8,35	30,1	10,05	0,43	0,29	61	3	0,55	0,49							1596	66,9
28	Épaison	22,2	7,4	32,4	8,5	0,44	0,28	60	3	0,52				43				1900	
29	Floraison	23,8	6,7	33,4	6	0,41	0,23	59	2	0,51				36				1640	

## Annexe 12 (suite) : Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans

N°	Aliments	MS en (%)	Composition chimique					Digestibilité MO%	Nombre d'essais	Valeur énergétique			Valeur azotée (g/Kg)				Quantité ingérée	
			MAT	CB	Cendres	Ca	P			UF Leroy	UFL	UFV	MAD	PDIA	PDIN	PDIE	gMS/100 kg P.V.	g/kg p <sup>0,75</sup>
30	Grain laitex	24,9	6,2	30,2	5,8	0,45	0,32	60	2	0,53			33				1820	
31	Grain pâteux dur	37	5,5	29,6	7,9	0,48	0,35	61	2	0,54			27				1680	
	2 <sup>ème</sup> cycle																	
32	Epiaison	17,6	10,6	28,6	11,8		0,23	62	4	0,54			79				2040	
33	Floraison	23,6	8,1	31,3	9,7			62	4	0,55			52				1820	
34	Fin floraison	25,7	6,4	34,7	9,1			58	2	0,48			32				1800	
35	Grain pâteux	29,9	5,8	34	10,2			60	2	0,51			27				1920	
	3 <sup>ème</sup> cycle																	
36	Début épiaison	17,6	13,22	28,2	10,4	0,9	0,48	62	3	0,56			97				1960	
37	Epiaison	18	12,5	32,9	10,3	0,72	0,36		1									
	LEGUMINEUSES																	
	FOURRAGERES																	
	Luzerne																	
	1 <sup>er</sup> cycle																	
38	Végétatif	15,8	25,2	23	10,8	1,31	0,38	77	8	0,83			206				3160	
39	Bourgeonnement	20,3	23,3	25,6	10,4	1	0,36	69	5	0,68			187				3040	
40	Début floraison	24,5	20,6	28,6	8,03	1,35	0,87	62	4	0,56			167				2920	
41	Floraison	24,3	17,19	31,65				63	2	0,56			137				2830	
42	Gousses	30,3	15,4	34,8	9,8	14,6	0,3	58	2	0,47			123				2160	
	2 <sup>ème</sup> cycle																	
43	Bourgeonnement	21	24,5	26,5	10	1,14	0,34	68	5	0,67			214				3300	
44	Début floraison	23,8	21,6	29,1	9,04	1,6	0,36	65	5	0,61			175				2880	
45	Floraison	26,2	17,8	31,5	9,5	1,44	0,37	61	4	0,53			142				2340	
46	Fin floraison	32,2	15,7	36,2	8,5	1,25	0,3	59	3	0,5			124				1900	
	3 <sup>ème</sup> cycle																	
47	Bourgeonnement	25,4	24,3	25,2	8,8	1,41	0,35	67	5	0,65			186				2960	

## Annexe 12 (suite). Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans

N°	Aliments	MS en (%)	Composition chimique					Digestibilité MO%	Nombre d'essais	Valeur			Valeur azotée (g/Kg)			Quantité ingérées		
			MAT	CB	Cendres	Ca	P			UFLeroy	UFL	UFV	MAD	PDIA	PDIN	PDIE	g.MS/	g/kg p <sup>0,75</sup>
	4 <sup>ème</sup> cycle																	
64	Végétative	14,8	22,5	23	9,7	1,32	0,26	75,2	4	0,81			173				3380	
65	Floraison	19,5	15,4	31	8,6	1,1	0,25	64	2	0,6			107				2360	
	5 <sup>ème</sup> cycle																	
66	Végétative	13,4	22,6	24,2	13,1	1,45	0,28	75	4	0,77			171				3440	
67	Début floraison	20,3	17,8	26,1	9,6	1,08	0,31	63	2	0,57			134				2480	
	COMPOSÉS																	
	Vesce -Avoine																	
68	Végétative Feuillue	13,14	16,82	20,55	12,71		0,38	77	8	0,81			129					
69	Végétative -Montaison	14,09	13,13	28,25	13,42	1,11	0,36	75	3	0,76			92					
70	Début floraison-Épaison	16,64	12,44	31,49	11,61	1,39	0,24	71	2	0,67			87				2360	
71	Floraison -Floraison	19,58	10,22	33,16	10,52	1,17	0,31	68	2	0,66			70				2120	
72	Formation gousses- Formation grains	25,48	8,47	35,71	11,75	0,91	0,11	62	3	0,54			56				1960	
73	Gousses Laitueuses- Grain Laiteux	30,14	9,62	32,43	9,47	0,67	0,26	64	2	0,59			63				1840	
74	Gousses Pâteuses- Grain Pâte Dur	35,64	12,96	29,73	8,92	1,13	0,3	65	3	0,61			90				2020	
75	Pois -Avoine	21,66	13,58	27,47	9,6			69,3	3	0,64			91,14				1,97	49,58
	FOINS																	
	GRAMINÉES																	
76	Fétuque élevée	92,26	15,25	27,89	8,66				6	0,65								
	Ray-grass d'Italie																	
77	Épi à 10 cm	86,1	19,98	25				72,3	1	0,69			151,7					
78	Début épaison	90,71	16,1	22,3				65,2	1	0,58			117,8					
79	Floraison	87,26	8,21	43,3				53,1	3	0,38			46					

## Annexe 12 (suite) : Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans

N°	Aliments	MS en (%)	Composition chimique					Digestibilité dMO%	Nombre d'essais	Valeur énergétique			Valeur azotée (g/Kg)			Quantité ingérée		
			MAT	CB	Cendres	Ca	P			UFLeroy	UFL	UFV	MAD	PDIA	PDIN	PDIE	gMS/100 kg P.V.	g/kg p <sup>0,75</sup>
80	Orge fourragère	88,95	11,87	13,64	6,25			53	10									
81	Avoine fourragère	89,88	11,09	37,31	7,72				3									
82	Mais fourrager	89,22	10,96	3,68	2,84				8									
	LÉGUMINEUSES																	
83	Luzerne fourragère	88,57	16,81	33,58	10,73			61,6	19	0,52	0,57		118,3				2532,25	
84	Féverole fourragère	88,38	6,71	7,47	5,29				6									
85	Pois fourrager	91,63	25,02	7,43	3,27				2									
	COMPOSÉS																	
86	Vesce -Avoine	92,5	7,19	37,55	9,62			58,4	19	0,5	0,6	0,53	13,68				2564,8	
	FOURRAGES DESHYDRATÉS																	
87	Luzerne déshydratée	91,19	20,68	25,5	10,5			56,3	3	0,47			118					
	PAILLES																	
88	Paille de blé	92,11	3,94	42,02	7,2			50,8	28	0,26	0,41		14,66				1457,93	40,55
89	Paille d'orge	92,98	4,35	32,71				57,1	3	0,38			16,51					
90	Paille traitée à l'ammoniac	88,66	7,39	41,63	7,72			51,8	12	0,37	0,51		23,54					59,91
91	Paille traitée à l'urée	87,54	14,32	42,21	7,57			52,7	11	0,39	0,53		69,72					59,88
	SOUS-PRODUITS																	
	DIVERS																	
92	Pulpes de betterave	88,93	10,74	13,49	7,28				3									
93	Pulpes sèches de betteraves	90,65	9,17	17,75	5,44			70	2	0,87			34,4				1167,18	29,77
94	Pulpes d'agrumes séchées	88,35	7,44	11,43	5,12				3									

## Annexe 12 (suite). Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans

N°	Aliments	MS en (%)	Composition chimique					Digestibilité MO%	Nombre d'essais	Valeur énergétique			Valeur azotée (g/Kg)				Quantité ingérée	
			MAT	CB	Cendres	Ca	P			UFLeroy	UFL	UFV	MAD	PDIA	PDIN	PDIE	g MS/100 kg P.V.	g/kg p <sup>100</sup>
95	Pulpes d'agrumes séchés	80,35	8,6	9,53	5,14			85,9	2	1,02	1,15	1,16	51		86,7	35	2400	56,8
96	Pulpes de tournesol	90,01	28,19	28,7	3,66				2									
97	Pulpes de raisin	89,1	14,14	27,45	13,02				3									
98	Grignons d'olives brutes	90,84	10,08	31,52	5,06			34,8	12	0,36							408	9,7
99	Grignons d'olive frais	78	6,8	45,8				31,4			0,43	0,27	4,42	26,4	43,82	43,82		
100	Grignons tannés	91	13,42	21,62	8,22	0,6	0,09		7									
101	Grignons épuisés tannés	94,5	11,75	23,78		1,11	0,1		3									
102	Marc de raisin		13,3	24,77	5,2			34,4	5		0,88	0,57	12,87	24,2	36,6	44,21		
103	Drêches de brasserie		93,71	23,5	17,69	6,73												
	SOUS-PRODUITS DE PALMERAIE																	
104	Rebut de dattes	88,49	5,15	9				70,8	4									
105	Pédicelles	90,98	3,93	36,55				48,1	1	0,94			28,94					
106	Palmes sèches	94,37	3,9	30,7				44,5	1									
	SOUS-PRODUITS DE TAILLE																	
107	Feuilles de figuier	34,7	12,25	15,5				73,2	2		0,66	0,62	95,64	37,9	76,95	88,47		28,49
108	Feuilles d'olivier	56,5	13,05	16,7				65,1	2		0,47	0,44	67,03	30,5	80,7	77,03		41,76
109	Feuilles d'abricotier	47,4	10,45	13,7				63,9	2		0,7	0,65	37,84	19	50,22	71,35		31,14
110	Feuilles de poirier	68,22	8,14	16,68				68,8	1		0,6	0,54	54,06	21,8	56,15	62,1		58,96
111	Feuilles de pêcher	51,6	11,95	14,75				82,6	1		0,89	0,87	89,78	27	71,58	84,4		64,94
	Arbres et arbustes fourragers																	
112	Feuilles de frêne	71,32	12,65	12,56				73,4	1		0,67	0,62	98,4	29,5	78,05	75,86		49,65

## Annexe 12 (suite). Résultat du recensement général des fourrages algériens ayant fait l'objet d'études depuis environ 50 ans

N°	Aliments	MS en (%)	Composition chimique					dMO %	Nombre d'essais	Valeur			Valeur azotée (g/Kg)				Quantité ingérée	
			MAT	CB	cendres	Ca	P			UFLeroy	UFL	UFV	MAD	PDIA	PDIN	PDIE	g MS / 100 kg P.V.	g/kg P <sup>100</sup>
113	Atriplex	33,7	23,55	20,15			60,5	2		0,44	0,38	158,95	91,49	151,77	117,9			
114	Feuilles d'oranger séchées	89,5	11,9	15,6			70,5	1		1,06	0,98	83,65	36,98	75,04	82,93		94,7	
115	Feuilles de démentier	89,3	12,4	16,1			71,4	1		1,06	0,99	83,65	36,98	75,04	86,15		86,16	
116	Caroube	87	7	8,5	3,7													
117	Chêne kermès	92,01	9,45	30,29	3,81			2										
	PARCOURS SAHARIENS																	
118	Drinn	93,34	5,3	37,98			57,9	5	0,53			21,15						
119	El Guetaf	85,12	18,45	32,83	27,68													
120	Bagud	91,33	9,83	49,02	12,95												31,83	
	CONCENTRÉ																	
121	Okara	92,59	31,64	14,06	3,97		82,1	3	0,11			29,85						
122	Son de blé	92,48	16,64	6,4	3,86			2										
<b>Nombre d'essais total</b>									<b>541</b>									

## Annexe 13a. Composition chimique et valeur nutritive des 23 fourrages de l'INRA (1988, 2007) homologues à ceux du groupe 2

N°	Fourrages	Composition chimique						Valeur énergétique					Valeur azotée	Valeur d'encombrement			
		MS (%)	MAT	MM	CB	NDF	ADF	dMO (%)	EB	ED	EM	UFL	UFV	MAD (g/Kg MS)	UEM	UEL	UEB
1	Fétuque, cycle 2, feuillu	20,8	16,1	12,7	25,6	54,3	28,4	72	4,17	2,86	2,35	0,83	0,77	114	0,99	1	0,99
2	Ray-gras d'Italie, C1, feuillu	15,1	19,1	13,3	17,8	46,6	22,2	81	4,2	3,26	2,72	0,99	0,96	145	0,9	0,96	0,92
3	Ray-gras d'Italie, C1, épi à 10 cm	15,8	16,8	11,4	18,8	45	21,5	80	4,24	3,25	2,72	0,99	0,96	122	0,95	0,98	0,96
4	Avoine montaison	14,9	12	12,1	23	51,3	27,8	81	4,18	3,25	2,75	1	0,98	86	0,94	0,97	0,95
5	Avoine floraison	17,7	10,1	10	33,3	63,8	37,9	66	4,24	2,67	2,16	0,74	0,67	69	1,59	1	1
6	Avoine grain laitex	31,8	6,7	7,2	27	56,2	31,8	59	4,31	2,41	1,99	0,67	0,58	40	1,44	1,03	1,05
7	Orge floraison	15,5	12	12,5	32,9	63,4	37,6	65	4,16	2,57	2,07	0,71	0,63	84	1,58	1	1
8	Orge grain laitex	23,2	9,9	8,8	30	59,8	34,7	63	4,29	2,58	2,1	0,72	0,63	65	1,51	1,01	1,01
9	Orge grain pataux	30,8	8,6	7,8	27,1	57,2	32,5	63	4,32	2,59	2,11	0,72	0,64	52	1,88	1,03	1,05
10	Sorgho, C1, montaison	15,4	19	11,6	26,4	55,7	31,2	71	4,2	2,83	2,3	0,81	0,74	146	1,04	1,02	1,03
11	Sorgho, C1, début épiaison	18,5	12,2	8,5	30,4	60,8	35,3	64	4,25	2,59	2,11	0,72	0,64	82	1,25	1,1	1,18
12	Sorgho, C1, épiaison	21	10,8	7,8	32,3	63,1	37,4	61	4,27	2,49	2,03	0,69	0,6	71	1,38	1,14	1,26
13	Sorgho, C1, floraison	24,4	8,7	7,3	32,1	62,9	37,2	60	4,26	2,44	2	0,68	0,59	53	1,39	1,14	1,27
14	Sorgho, C1, grain laitex	27,6	6,9	5,9	30,7	60,7	35,4	60	4,3	2,48	2,04	0,69	0,61	36	1,38	1,14	1,27
15	Sorgho, C2, épiaison	19,9	12,4	7,1	28,5	58	33,2	65	4,32	2,68	2,19	0,75	0,68	89	1,38	1,14	1,27
16	Luzerne, cycle 1, végétatif	14,4	24,6	12,9	20,1	42,3	25	77	4,44	3,29	2,69	0,96	0,92	199	0,88	0,94	0,9
17	Luzerne, C1, bourgeonnement	17,6	19,3	11,2	29,9	48,8	31,5	66	4,43	2,78	2,25	0,77	0,69	147	0,98	0,99	0,98
18	Luzerne, C1, début floraison	18,9	17,8	10,9	31,5	51,3	34,3	63	4,42	2,66	2,15	0,73	0,65	132	1	1	1
19	Luzerne, C4, végétatif	19,1	8,1	15	20,7	44,2	25,8	71	4,37	2,97	2,41	0,74	0,78	210	0,83	0,92	0,87

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; NDF : neutral detergent fibre ; ADF : acid detergent fibre ; dMO : digestibilité de la matière organique ; EB : énergie brute ; ED : énergie digestible ; EM : énergie métabolisable ; UEL : unité fourragère lait ; UFV : unité fourragère viande ; MAD : matières azotées digestibles ; UEM : unité encombrement mouton ; UEL : unité encombrement ; UEB : unité encombrement bovin ; Mcal : méga calories ; 1Q : premier quartile ; 3Q : troisième quartile ; ET : écart-type 1 ; CV : coefficient de variation ; P<sup>0.25</sup> : poids métabolique ; C : cycle Mcal : méga calories.

## Annexe 13a (suite). Composition chimique et valeur nutritive des 23 fourrages de l'INRA (1988, 2007) homologues à ceux du groupe 2

N°	Fourrages	Composition chimique					Valeur énergétique					Valeur azotée	Valeur d'encombrement				
		MS (%)	MAT	MM	CB	NDF	ADF	dMO (%)	EB	ED	EM	UFL	UFV	MAD (g/Kg MS)	UEM	UEL	UEB
20	Foin de luzerne	85	7,1	9,3	35,1	54,8	35,2	60	4,4	2,5	1,99	0,67	0,58	123	1,2	1,03	1,04
21	Luzerne déshydratés	91	18	13	26,5	-	-	60	4,36	2,45	1,95	0,72	0,62	123			
22	Paille de blé	88	3,5	8	42	79,8	50,4	42	4,34	4,65	1,34	0,42	0,31	0	2,41	1,6	1,8
23	Paille traitée à l'ammoniac	88	10	8,5	41,9	76,6	50,4	54	4,38	2,2	1,75	0,58	0,47	44	1,7	1,15	1,3
	n	23	23	23	23	22	22	23	23	23	23	23	23	23	22	22	22
	Moyenne	31,93	12,60	10,12	28,85	57,12	47,97	65,39	4,30	2,80	2,18	0,75	0,68	97,04	1,30	1,06	1,10
	1Q	15,80	8,60	7,80	25,60	51,30	28,40	60,00	4,24	2,49	2,00	0,69	0,60	53,00	0,98	0,99	0,98
	3Q	30,80	17,80	12,50	32,30	62,90	37,40	71,00	4,37	2,97	2,35	0,81	0,77	132,00	1,51	1,14	1,26
	Minimum	14,40	3,50	5,90	17,80	42,30	21,50	42,00	4,16	2,20	1,34	0,42	0,31	0,00	0,83	0,92	0,87
	Maximum	91,00	24,60	15,00	42,00	79,80	354,00	81,00	4,44	4,65	2,75	1,00	0,98	210,00	2,41	1,60	1,80
	ET	26,75	5,28	2,51	6,34	9,46	68,74	9,08	0,09	0,50	0,33	0,13	0,16	52,26	0,39	0,14	0,21
	CV (%)	83,8	42,0	24,8	22,0	16,6	143,3	13,9	2,0	18,0	15,1	17,9	23,4	53,9	29,8	13,2	18,8

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Wende ; NDF : neutral detergent fibre ; ADF : acid detergent fibre ; dMO : digestibilité de la matière organique ; EB : énergie brute ; ED : énergie digestible ; EM : énergie métabolisable ; UFL : unité fourragère lait ; UFV : unité fourragère viande ; MAD : matières azotées digestibles ; UEM : unité encombrement mouton ; UEL : unité encombrement ; UEB : unité encombrement bovin ; 1Q : premier quartile ; 3Q : troisième quartile ; ET : écart-type ; CV : coefficient de variation ; P<sup>0,75</sup> : poids métabolique ; C : cycle ; Mcal : méga calories.

## Annexe 13b. Composition chimique et valeur nutritive des 23 fourrages du groupe 2 homologues à ceux de l'INRA (1988, 2007)

## Eléments princeps de la valeur alimentaire des fourrages algériens pour le ruminant

N°	Fourrages	Composition chimique						Valeur énergétique						Valeur azotée		Valeur d'encoumbrement		
		MS (%)	MAT	MM	CB	NDF	ADF	dMO (%)	EB	ED	EM	UFL	UFV	MAD (g/Kg MS)	UEM	UEL	UEB	
																		(% MS)
1	Fétuque, cycle 2, feuillu	17,4	13,3	20,9	21,4	50,4	24,3	73,2	4742	3319	2680	0,94	0,88	157	1,0	1,0	1,0	
2	Ray-gras d'Italie, C1, feuillu	12,8	16,7	18,0	18,7	47,3	21,7	79,6	4706	3581	2919	1,05	1,01	137,5	1,1	1,0	1,1	
3	Ray-gras d'Italie, C1, épi à 10. cm	16,8	11,0	15,4	21,9	50,9	24,8	74,7	4673	3337	2725	0,97	0,91	162,6	1,2	1,1	1,1	
4	Avoine montaison	16,9	14,3	15,7	27,5	57,3	30,1	73	4677	3264	2648	0,93	0,87	114	1,2	1,1	1,2	
5	Avoine floraison	25,4	9,2	7,4	31,9	62,3	34,3	57	4572	2491	2047	0,69	0,59	52	1,5	1,2	1,32	
6	Avoine grain laitoux	31,8	9,2	8,2	37,3	68,5	39,4	55	4582	2408	1964	0,65	0,55	50	1,5	1,2	1,3	
7	Orge floraison	27,0	11,0	11,4	34,8	65,7	37,1	64,9	4622	2868	2329	0,80	0,72	80	1,1	1,1	1,1	
8	Orge grain laitoux	25,0	10,6	9,6	32,6	63,1	35	62	4599	2726	2228	0,76	0,67	63	1,4	1,1	1,3	
9	Orge grain pâteux	31,2	7,1	8,0	33,8	64,5	36,1	63,8	4579	2793	2287	0,78	0,70	44	1,4	1,1	1,3	
10	Sorgho, C1, montaison	16,4	11,3	9,2	27,5	57,3	30,1	63	4594	2767	2276	0,78	0,69	70	1,4	1,2	1,3	
11	Sorgho, C1, début épiaison	19,7	10	8,3	30,1	60,3	32,6	61	4583	2672	2196	0,75	0,66	50	1,4	1,1	1,3	
12	Sorgho, C1, épiaison	22,2	8,5	7,4	32,4	62,9	34,8	60	4572	2622	2153	0,73	0,64	43	1,5	1,1	1,3	
13	Sorgho, C1, floraison	23,8	6,0	6,7	33,4	64	35,7	59	4563	2573	2114	0,71	0,62	36	1,5	1,2	1,4	
14	Sorgho, C1, grain laitoux	24,9	5,8	6,2	30,2	60,4	32,7	60	4556	2613	2157	0,73	0,64	33	1,5	1,2	1,3	
15	Sorgho, C2, épiaison	17,6	11,8	10,6	28,6	58,6	31,2	62	4612	2733	2239	0,76	0,67	79	1,3	1,1	1,2	
16	Luzerne, C1, végétatif	15,8	10,8	25,2	23,0	52,2	25,8	77	4797	3531	2820	1,00	0,94	206	1,0	1,0	1,0	
17	Luzerne, C1, bourgeonnement	20,3	10,4	23,3	25,6	55,2	28,3	69	4773	3148	2517	0,87	0,79	187	1,0	1,0	1,0	
18	Luzerne, C1, début floraison	24,5	8,0	20,6	28,6	58,6	31,2	62	4739	2808	2251	0,76	0,67	167	1,1	1,0	1,1	
19	Luzerne, C4, végétatif	18,8	10,3	25,2	26,5	56,2	29,2	69,5	4797	3187	2535	0,88	0,80	203,5	1,0	1,0	1,0	

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; NDF : neutral detergent fibre ; ADF : acid detergent fibre ; dMO : digestibilité de la matière organique ; EB : énergie brute ; ED : énergie digestible ; EM : énergie métabolisable ; UEL : unité fourragère lait ; UFV : unité fourragère viande ; MAD : matières azotées digestibles ; UEM : unité encoumbrement mouton ; UEL : unité encoumbrement ; UEB : unité encoumbrement bovin ; 1Q : premier quartile ; 3Q : troisième quartile ; ET : écart-type ; CV : coefficient de variation ; P<sup>h</sup> : poids métabolique ; C : cycle Kcal : kilos calories.

## Annexe 13b (suite). Composition chimique et valeur nutritive des 23 fourrages du groupe 2 homologues à ceux de l'INRA (1988, 2007)

N°	Fourrages	Composition chimique						Valeur énergétique					Valeur azotée		Valeur d'encombrement		
		MS (%)	MAT	MM	CB	NDF	ADF	dMO (%)	EB	ED	EM	UFL	UFV	MAD (g/Kg MS)	UEM	UEL	UEB
												(% MS)					
20	Foin de luzerne	88,5	10,7	16,8	33,58	64,3	35,9	61,5	4690	2757	2216	0,8	0,7	118,3	1,2	1,1	1,2
21	Luzerne déshydratés	91,2	10,5	20,7	25,5	55,1	28,2	56,3	4739	2550	2051	0,7	0,6	118,0	1,1	1,0	1,1
22	Paille de blé	92,1	3,9	7,2	42,02	73,9	43,9	50,8	4527	2197	1800	0,6	0,5	14,6	1,7	1,2	1,5
23	Paille traitée à l'ammoniac	88,6	7,4	7,7	41,63	73,4	43,5	51,8	4571	2263	1840	0,6	0,5	23,5	1,6	1,2	1,4
	n	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	Moyenne	33,4	10,1	13,3	29,9	60,1	32,4	63,7	4646	2835	2304	0,8	0,7	96,0	1,3	1,1	1,2
	1Q	17,4	8,0	7,4	25,6	55,2	28,3	59,0	4571	2573	2114	0,7	0,6	44,0	1,1	1,0	1,1
	3Q	31,2	11,0	20,6	33,6	64,3	35,9	69,5	4738	3187	2535	0,9	0,8	157,0	1,5	1,2	1,3
	Minimum	12,8	5,8	3,9	18,7	47,3	21,7	50,8	4527	2197	1800	0,6	0,5	14,6	1,0	1,0	1,0
	Maximum	92,1	16,7	25,2	42,0	73,9	43,9	79,6	4796	3581	2918	1,1	1,0	206,0	1,7	1,2	1,5
	Ecart-type	27,0	2,6	6,7	6,0	6,9	5,7	7,8	85,3	385,8	302,2	0,1	0,1	60,9	0,2	0,1	0,1
	CV (%)	80,9	25,6	50,7	20,1	11,4	17,6	12,3	1,8	13,6	13,1	15,6	20,0	63,4	16,9	6,7	12,1

MS : matière sèche ; MM : matière minérale ; MO : matière organique ; MAT : matière azotée totale ; CB : cellulose brute Weende ; NDF : neutral detergent fibre ; ADF : acid detergent fibre ; dMO : digestibilité de la matière organique ; EB : énergie brute ; ED : énergie digestible ; EM : énergie métabolisable ; UFL : unité fourragère lait ; UFV : unité fourragère viande ; MAD : matières azotées digestibles ; UEM : unité encombrement mouton ; UEL : unité encombrement ; UEB : unité encombrement bovin ; 1Q : premier quartile ; 3Q : troisième quartile ; ET : écart-type ; CV : coefficient de variation ; P<sup>0,75</sup> : poids métabolique ; C : cycle ; Kcal : kilos calories.

## Annexe 14. Principales équations utilisées dans le monde pour la prédiction des quantités ingérées

Prédiction à partir de la composition chimique (g/kg PV <sup>0,75</sup> )					
Auteurs	Aliment	n	Equations	R <sup>2</sup>	ETR
Chermi (1997)	Foins et pailles	8	MSI = 12,2-1,07 NDF = 97,9-12 ADF = 29,5+1,16.a = 9,4+1,45a+0,02 NDF = 29,2-1,23a-0,006 ADF	0,72 0,75 0,83 0,83 0,83	5,60 5,34 4,42 5,01 5,01
Dulphy et al (1999)	16 fourrages verts 19 ensilages d'herbes 14 foins et 2 pailles	51	MSI = - 0,0938 NDF + 114,5	0,75	5,2
Karsli et Russel (2002)	Régimes composés		MOI (% PV) = - 7,72 NDF + 78,85 MOI = 3,63.a + 12,85	0,69 0,80	-
Fonseca et al (1998)	5 PNT 2 PTU 5 foins d'herbe	12	MSI = 36,1 - 0,03 NDF = 30,2 - 0,036 ADF	0,61 0,67	1,64 1,52

Ferret et al (1997)	Ensilage de maïs	11	MSI = 28,09 + 0,06 ADL MSI = 70,50 - 0,13 NDF + 329,2 (ADL/ADF)	(0,64) (0,75)	7,2 6,6
INRA (1981)	Fétuque élevée en vert 1 <sup>er</sup> cycle	49	QIM = 77,67 - 0,003583 AGE <sup>2</sup> QIM = 90,86 - 0,000319 CB <sup>2</sup> = 92,40 + 0,1483MAT + 1,0709CB - 0,002020CB <sup>2</sup>	(0,87) (0,83) (0,87)	3,7 4,1 3,8
	2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> cycle	17 et 15	= 79,40 - 0,00297AGE <sup>2</sup> = 383,88 - 2,2818CB + 0,004167CB <sup>2</sup> = 61,28 + 0,0823MAT - 0,0190CB	(0,61) (0,41) (0,44)	3,5 4,1 4,1
	Luzerne en vert 1 <sup>er</sup> cycle	40	MSI = 91,33 - 0,3407AGE MSI = 109,37 - 0,1101CB MSI = 82,23 + 0,0854MAT - 0,0770CB	(0,631) (0,657) (0,685)	5,4 5,3 5,2
	Foins de légumineuses (tous cycles)	95	MSI = 105,94 - 0,1230CB	(0,55)	7,7

Prédiction de la MSI à partir d'autres paramètres					
Seone (1930)	Foins	9	MSI = 128,5 + % MS SOL - 2,2 % CL	(0,96)	3,16
Demarquilly et Chenost (1969)	Fourrages verts	63	MSI = 1,135 X + 5,23	(0,819)	7,19
	Ensilages	17	MSI = 0,983 X <sup>0,428</sup>	(0,701)	9,15
	Foins	54	MSI = 0,977 X <sup>0,428</sup> - 1,07	(0,78)	5,86
Giger Riverdin (2005)	Parcours, pâturages et pailles de trois continents	73	MSI (g/kg PV) = 21,9 + 1,11 (GP 8h) - 0,757 (GP 12 h)	(0,55)	5,8

X : Digestibilité en sachet 12h ; X<sub>24</sub> : Digestibilité 24h en sachet de la MS ; PV : poids vif ; GP : gaz production ; NH<sub>3</sub>-N : azote ammoniacal ; N sol : azote soluble ; VOL : volume de l'eau retenue après incubation dans l'eau ; MATf : MAT fécale ; NF : azote fécal ; NI : azote ingéré ; CBF : CB fécal ; PL : production laitière ; VPV : variation du poids vif ; SL : stade de lactation ; C : concentré ; CR : proportion du concentré dans la ration ; ADFr : ADF de la ration ; CBF : CB du fourrage ; dMOF : dig de la MO du fourrage ; dMSF : dig de la MS du fourrage ; TMOF : teneur en MO du fourrage ; BIOM : biomasse par hectare ; HAL : herbe allouée par animal et par jour ; LEG : proportion des légumineuses dans l'herbe parue ; temp : température ; BOUE : épaisseur de boue ; RPL : rendement en protéines du lait ; CL : cellulose

## Annexe 14 (suite). Principales équations utilisées dans le monde pour la prédiction des quantités ingérées

Auteurs	Aliment	n	Equations	R <sup>2</sup>	ETR
<b>Prédiction de la MSI à partir d'autres paramètres</b>					
<b>Kamalak et al (2005)</b>	Foins, pailles et ensilages	5	$MSI = -23,5 + 705c$ $= 8,68 - 0,960b$ $= -6,7 + 0,888(a+b)$ $= 44,4 - 959c + 14,3b - 12,2(a+b)$ $= 27,4 + 515c + 0,387(a+b)$	0,78 0,70 0,65 0,90 0,84	6,22 7,32 8,35 4,18 5,34
<b>Andueza et al (2004)</b>	Pailles et PTNH <sub>2</sub>	22	$MSI = 68,32 - 2,27 VOL$	(-0,75)	2,20
<b>Bouazizi et Madjdoub (1999)</b>	Parcours tunisiens	48	$MSI = 442,3 + NF$ $= 759,55 + 17,9 NI$ $= 284 + 77,62 NF + 6,12 CBF$	0,74 0,4 0,77	6,64 3,12 -

Prédiction des quantités ingérées au pâturage des vaches laitières (kg/jour) (Revue de : Favardin, 1992 ; Delagarde et O'donovan, 2005)	
MAFF (1975)	$0,025 * PV + 0,1 * PL$
Neal et al (1984)	$0,022 * PV + 0,2 * PL$
Journet et al (1965)	$6,7 + 0,007 * PV + 0,27 * PL$
Bines (1979)	$(1 + 0,2 * FPM) * (4,25 + 0,0113 * PV + 0,16 * PL + 2,45 * VPV)$
McCullough (1981)	$-5,54 + 0,022 * PV + 0,511 * PL - 4\% - 0,0024 * PL - 4\%$
Curran et al (1970)	$(-3,28 + 0,66 * C + 0,184 * dMOF + 0,094 * PL) * 100 / TMOF$ en milieu de lactation
Vadiveloo et al (1979)	$0,076 + 0,404 * C + 0,015 * PV - 0,129 * SL + 4,12 * \log(SL) + 0,14 * PL$
Yungbhat et al (1981)	$3,37 + 0,01 * PV + 0,34 * PL + 0,053 * TB + 0,34 * NL - 0,11 * ADF$
Roseler (1994)	4,6+0,011PVS+12,4 REND PROT DU LAIT*LAG <sub>1</sub> (primipares) 8,4+0,006PVS+12,2 RPL*LAG <sub>1</sub> (multipares). 4,6+0,011PVS+12,4 REND PROT DU LAIT*LAG <sub>1</sub> (primipares) 8,4+0,006PVS+12,2 RPL*LAG <sub>1</sub> (multipares).
Caird et Holmes (1986)	$(0,023 - 0,177 * PL - 0,010 * PV - 1,636 * C_{p1} - 0,008 * B3005 - 0,54 * HAL - 0,006 * HAL2 - 0,048 * HAL * C) * 100 / TMOF$ (équation pour pâturage tournant)
CSIRO (1990)	$PV * 0,7 * 0,024 * (1 + 0,0656 * SL) * \log(-0,167 * SL) + 0,012 * (PL \text{ MAX} - PV / 100) * (1 - 1,7 * (0,8 - 0,045 * F) - 0,0017 * LE * G) * CT$ avec CT = 1 si TEMP < 25 et CT = 0,02 * (TEMP - 25)

X : Digestibilité en sachet 12h ; X<sub>1</sub> : Digestibilité 24h en sachet de la MS ; PV : poids vifs ; GP : gaz production ; NH<sub>3</sub>-N : azote ammoniacal ; N sol : azote soluble ; VOL : volume de l'eau retenue après incubation dans l'eau ; MAT<sub>f</sub> : MAT fécale ; NF : azote fécal ; NI : azote ingéré ; CBF : CB fécal ; PL : production laitière ; VPV : variation du poids vif ; SL : stade de lactation ; C : concentré ; CR : proportion du concentré dans la ration ; ADFR : ADF de la ration ; CBF : CB du fourrage ; dMOF : dig de la MO du fourrage ; dMSF : dig de la MS du fourrage ; TMOF : teneur en MO du fourrage ; BIOM : biomasse par hectare ; HAL : herbe alloué par animal et par jour ; LEG : proportion des légumineuses dans l'herbe paturée ; temp : température ; BOUE ; épaisseur de boue ; RPL : rendement en protéines du lait ; CL : cellulose ; a : fraction immédiatement dégradable ; b : fraction lentement dégradable ; (a+b) : vitesse de dégradation de b.