

SOMMAIRE

INTRODUCTION

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1. Alimentation de la brebis reproductrice

1.1. Constituants des aliments des ruminants	1
1.1.1. Les constituants glucidiques	1
1.1.1.1 Les glucides cytoplasmiques.....	1
1.1.1.2 Les glucides pariétaux.....	2
1.1.1.2.1 Les polyosides.....	2
1.1.1.2.2. Les constituants non glucidiques	2
1.1.2. Les constituants azotés	3
1.1.2.1. Les matières azotées protidiques (MAP)	3
1.1.2.2. Les matières azotées non protidiques (MANP)	3
1.1.3. Les constituants lipidiques	3
1.1.4. Les minéraux	4
1.1.4.1. Les macro-éléments	4
1.1.4.2. Les oligo-éléments	5
1.2. Alimentation de la brebis reproductrice	7
1.2.1. Besoins et apports alimentaires recommandés	7
1.2.1.1. Brebis tarie, en lutte et en début de gestation	7
1.2.1.2. Brebis en gestation.....	9
1.2.1.3. Brebis allaitante	11
1.2.1.4. La production de la laine.....	11
1.2.2. Influence de l'alimentation sur la reproduction	12

Chapitre 2. Le métabolisme minéral

2.1. Etude des macro-éléments	16
2.1.1.1 Le calcium	16
2.1.1.1.1 Métabolisme	16
2.1.1.1.1.1 Absorption	16
2.1.1.1.1.2. Excrétion	17
2.1.1.1.2. Répartition	17

2.1.1.1.3. Rôles biologiques.....	17
2.1.1.2. Le phosphore	18
2.1.1.2.1. Métabolisme.....	18
2.1.1.2.1.1. Absorption.....	18
2.1.1.2.1.2. Sécrétion salivaire.....	18
2.1.1.2.1.3. Excrétion	19
2.1.1.2.2. Répartition.....	19
2.1.1.2.3. Rôles biologiques.....	20
2.1.1.3. Homéostasie phospho-calcique.....	20
2.1.2. Le magnésium	21
2.1.2.1. Métabolisme	21
2.1.2.1.1. Absorption	21
2.1.2.1.2. Excrétion	22
2.1.2.2. Répartition	22
2.1.2.3. Rôles biologiques	22
2.1.3. Le sodium, le potassium et le chlore	23
2.1.3.1. Métabolisme	23
2.1.3.1.1. Absorption	23
2.1.3.1.2. L'excrétion	24
2.1.3.2. Répartition	25
2.1.3.3. Rôles biologiques	26
2.2. Les oligo-éléments	26
2.2.1. Le cuivre	27
2.2.1.1. Métabolisme	27
2.2.1.1.1. Absorption	27
2.2.1.1.2. Excrétion	27
2.2.1.2. Répartition	28
2.2.1.3. Rôle biologique	28
2.2.2. Le zinc	28
2.2.2.1. Métabolisme	28
2.2.2.1.1. Absorption	28
2.2.2.1.2. Excrétion	29
2.2.2.2. Répartition	29
2.2.2.3. Rôles biologiques	29

ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre 1. Matériels et méthodes

1.1. Présentation de la région d'étude	34
1.1.1 Situation géographique et localisation	34
1.1.2 Caractéristiques climatiques	34
1.1.2.1 Température	34
1.1.2.2 Pluviométrie	35
1.1.2.3 Les vents	36
1.1.2.4 Ressources hydriques.....	36
1.1.2.5 Sols	36
1.1.3 Agriculture et production animale	36
1.1.4. La ferme pilote «El-Baaraouia».....	36
1.2. Matériels et méthodes	38
1.2.1. Matériels	38
1.2.1.1. Les animaux	38
1.2.1.2. L'alimentation et l'eau.....	38
1.2.2. Méthodes	39
1.2.2.1. Dosage plasmatiques.....	43
1.2.2.1.1. Calcium	43
1.2.2.1.2. Phosphore	43
1.2.2.1.3. Magnésium	43
1.2.2.1.4. Sodium	43
1.2.2.1.5. Potassium	44
1.2.2.1.6. Chlore	44
1.2.2.1.7. Cuivre et zinc	44
1.2.2.2. Extraction du cuivre et du zinc de la laine.....	45
1.2.2.2.1. Prélèvement de la laine	45
1.2.2.2.2. Lavage de la laine	45
1.2.2.2.3. Minéralisation	46
1.2.2.2.4. Préparation des solutions étalons.....	46
1.2.2.3. Analyse de l'aliment.....	47
1.2.2.3.1. Teneur en matière sèche.....	47
1.2.2.3.2. Mouture des échantillons	47
1.2.2.3.3. Teneur en matière sèche analytique	47

1.2.2.3.4. Teneurs en cendres totales et en matière organique.....	48
1.2.2.3.5. Teneurs en cendres insolubles	49
1.2.2.3.6. Teneurs en matières azotées totales	50
1.2.2.3.7. Teneurs en cellulose brute	52
1.2.2.3.8. Teneurs en parois cellulaires	53
1.2.2.3.9. Teneurs en matière grasse	56
1.2.2.3.10. Extraction des minéraux dans l'aliment	58
1.2.2.3.10.1. Dosage du phosphore.....	59
1.2.4. Analyses statistiques	64

Chapitre 2. Résultats et discussion

2.1. Etude des constituants chimiques de la ration	65
2.1.1. Les constituants organiques	65
2.1.1.1. Les constituants pariétaux.....	68
2.1.2. La composition minérale.....	71
2.2. Croît des agneaux	76
2.3. Les minéraux plasmatiques.....	77
2.3.1. Les macro-éléments	79
2.3.1.1. Calcium	79
2.3.1.2. Phosphore	82
2.3.1.3. Magnésium	84
2.3.1.4. Sodium	86
2.3.1.5. Potassium	88
2.3.1.6. Chlore	90
2.3.2. Les oligo-éléments	92
2.3.2.1. Cuivre	92
2.3.2.2. Zinc	94
2.4. Teneurs en cuivre et en zinc dans la laine des brebis	96
2.4.1. Cuivre	97
2.4.2. Zinc	99

CONCLUSION

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

LISTE DES ABREVIATIONS

ADF: Acid Detergent Fiber
ADL: Acid Detergent Lignin
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydropiques
AOAC: Association of Official Analytical Chemists
C° : degré Celsius
CEE : Communauté Economique Européenne
DSA : Direction des Services Agricoles
FSH: Folliculo Stimulating Hormon
GMQ: Gain Moyen Quotidien
ha: hectare
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures
IDGC : Institut de Développement des Grandes Cultures
ml : millilitre
mm : millimètre
mmol : millimôle
MO : Matière Organique
MS : Matière Sèche
NDF : Neutral Detergent Fiber
OMS : Organisation mondiale de la santé
PDI : Protéines Digestibles Intestinales
ppm : partie par million
PV : Poids Vif
SAT : Superficie Agricole Totale
SAU : Superficie Agricole Utile
µg/l : micro-gramme par litre
UE : Union Européenne
UFL : Unités Fourragères Lait
% : pourcentage

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Plan de la ferme pilote « El-Baaraouia » (IDGC, 2010).....	33
Figure 2. Droites d'étalonnage du (Cu), (Zn) du plasma.....	61
Figure 3. Droites d'étalonnage du (Cu), (Zn) de laine.....	61
Figure 4. Droites d'étalonnage du (Ca), (P), (Mg), (Na), (K) de l'aliment	60
Figure 5. Droites d'étalonnage du (Cu), (Zn), (Fe), (Mn) de l'aliment	61
Figure 6. Variation de la calcémie (mg/l) en fonction du stade physiologique	80
Figure 7. Variation de la phosphatémie (mg/l) en fonction du stade physiologique	82
Figure 8. Variation du magnésium plasmatique (mg/l) en fonction du stade physiologique	84
Figure 9. Variation de la natrémie (mEq/l) en fonction du stade physiologique	86
Figure 10. Variation du potassium plasmatique (mEq/l) en fonction du stade physiologique ...	88
Figure 11. Variation du chlore plasmatique (mEq/l) en fonction du stade physiologique	90
Figure 12. Variations de la cuprémie (µg/100ml) en fonction du stade physiologique	92
Figure 13. Variations de la zincémie (µg/100ml) en fonction du stade physiologique	94
Figure 14. Variations de la teneur en cuivre dans la laine (ppm) en fonction du stade physiologique	97
Figure 15. Variations de la teneur en zinc dans la laine (ppm) en fonction du stade physiologique	99

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Plages de variations des teneurs minérales dans les fourrages (Little, 1982 cité par Meschy <i>et al.</i> , 1995)	4
Tableau 2. Teneurs en oligo-éléments de quelques grains et fourrages (en mg /kg de MS ou ppm) (INRA, 1978 ; Chapuis, 1991)	5
Tableau. 3. Différents constituants des aliments d'origine végétale (Soltner, 1999)	6
Tableau 4. Besoins alimentaires et capacité d'ingestion de la brebis tarie ou en début de gestation (INRA, 1988)	8
Tableau 5. Apports alimentaires recommandés en fin de gestation selon le poids des brebis et l'importance de la portée conséquence sur la capacité d'ingestion (Fantaine, 1988 ; Drogoul <i>et al.</i> , 2004a)	10
Tableau. 6. Seuil de carence et de toxicité et apports recommandes pour les oligo éléments chez la brebis en mg/kg de MS (Gueguen et Barlet, 1978)	15
Tableau. 7. Concentration minérale moyenne du lait de la brebis (Underwood, 1981)	15
Tableau 8. Besoins en minéraux et oligo-éléments des ruminants et leurs rôles et déficiences (NRC, 1996 ; Bell,1997)	31
Tableau 9. Répartition mensuelle des températures moyennes durant l'année 2010 (Station météorologique d'Ain-El-Bey de Constantine, 2010)	34
Tableau10. Répartition mensuelle moyenne des précipitations 1984 – 2010 (ANRH de Constantine, 2010)	35
Tableau 11. Répartition mensuelle moyenne des précipitations de l'année 2010 (ANRH de Constantine, 2010)	35
Tableau 12. Les vents (Station météorologique d'Ain-El-Bey de Constantine, 2010)	36
Tableau 13. Effectif ovin dans la wilaya de Constantine (D.S.A de Constantine, 2010)	37
Tableau 14. Effectif des ovins dans la ferme El-Baraouia	37

Tableau 15. Ration alimentaire consommée par les brebis reproductrices.....	39
Tableau 16. Identification des espèces fourragères prélevées dans les parcours de la ferme pilote... ..	40
Tableau 17. Plan d'affouragement et conduite de l'élevage de la ferme	41
Tableau 18. Composition chimique de l'alimentation des brebis	66
Tableau 19. Teneurs moyennes en fibres pour les différents types d'aliments	69
Tableau 20. Teneurs moyennes en minéraux des aliments et de l'eau	72
Tableau 21. Moyenne ($m \pm S.D$) des poids des agneaux et GMQ (0 – 30j)	77
Tableau 22. Variations des teneurs en minéraux plasmatiques selon le stade physiologique (Moyenne $\pm$ Ecart type)	78
Tableau 23. Effet du stade physiologique sur les teneurs en minéraux plasmatiques.....	79
Tableau 24. Variations de la teneur en cuivre et en zinc dans la laine (ppm) en fonction du stade physiologique.....	96
Tableau 25. Effet du stade physiologique sur les teneurs en cuivre et en zinc dans la laine.....	97

Introduction

INTRODUCTION

L'élevage ovin en Algérie est concentré principalement dans la steppe avec presque 60% de l'effectif total estimé à plus de 19 Millions de têtes, dont 63% de race arabe blanche dite «Ouled Djellal» (**MADR, 2003**). Aujourd'hui, l'intensification des élevages est remise en cause par des problèmes environnementaux de pollution et d'entretien des espaces. Mais pendant de nombreuses années, les performances des animaux n'ont cessé de s'accroître notamment grâce à une alimentation plus concentrée, une des conséquences de cette intensification est un équilibre fragile entre : alimentation, production et reproduction des animaux (**Brunet, 2002**).

Cependant, les ovins comme les autres espèces herbivores, ont besoin d'une alimentation équilibrée pour se maintenir en bonne santé et leurs permettre d'exprimer leurs potentialités génétiques. L'importance des troubles métaboliques s'exprimant en fin de gestation et en début de lactation, tient surtout aux particularités du métabolisme des minéraux chez les ruminants adultes.

Le statut minéral a été étudié chez des brebis non gestantes et chez les caprins dans des zones arides (El kantara et Arris situées dans la wilaya de Batna) (**Bey et Laloui, 2005 ; Mallam, 2006**). Ce statut est peu étudié en relation avec la gestation dans les conditions environnementales Algériennes. C'est pourquoi nous avons réalisé un protocole sur terrain afin d'amener des informations utiles relatives à la relation entre alimentation et statut minéral des brebis aux gestionnaires en productions animales.

L'objectif principal de cette étude est de déterminer le niveau nutritionnel en minéraux des brebis reproductrices et surtout de déterminer l'influence de l'état physiologique sur le statut minéral.

Dans cette étude, les brebis sont choisies comme modèle animal et comme prélèvements biologiques nous avons choisi la laine qui représente un bon indicateur du stock des minéraux dans l'organisme, et le sang (particulièrement le plasma) un bon témoin immédiat et confirmatif d'une ingestion d'un élément toxique ou au contraire un indicateur de carence. De plus des échantillons d'aliments ont été analysés afin d'évaluer la valeur nutritive par leurs compositions chimiques et minérales.

Nous allons rendre compte du protocole expérimental mis en œuvre, des résultats obtenus et de leurs discussions ; auparavant sera exposée, une synthèse bibliographique relative au métabolisme et aux rôles des minéraux dans l'organisme ainsi qu'un aperçu sur l'alimentation de la brebis.

*Etude
Bibliographique*

Chapitre 1. Alimentation de la brebis reproductrice

Avant d'aborder l'alimentation de la brebis reproductrice ainsi que les apports recommandés, il nous a semblé utile de rappeler les principaux constituants des aliments consommés par les ruminants.

1.1. Constituants des aliments des ruminants

Les ruminants possèdent la particularité de transformer les végétaux non utilisables par le reste du règne animal en produits de grande valeur nutritionnelle pour l'être humain, ils sont les seuls à pouvoir valoriser les constituants cellulotiques des aliments d'origine végétale. Les ruminants domestiques tirent 90 à 95 % de leur nourriture de l'appareil végétatif aérien des plantes herbacées, des plantes vivrières après leur récolte et des arbustes. Ces fourrages sont d'une extraordinaire diversité dans leur nature botanique et leurs caractéristiques morphologiques anatomiques et physico-chimiques qui, toutes, agissent sur leur ingestibilité, leur dégradation dans le rumen et leur digestibilité (Jarrige *et al.*, 1995).

Une plante ne se décrit pas complètement à des fins nutritionnelles, c'est d'abord un édifice d'organes, chacun constitué de tissus, dont la désintégration physique par la mastication est un préalable à la dégradation chimique et joue un rôle primordial dans la quantité ingérée (Meziane, 2001).

1.1.1. Les constituants glucidiques

1.1.1.1. Les glucides cytoplasmiques

Ce sont essentiellement des glucides hydrosolubles dont la digestibilité est totale. Le glucose, le fructose et le saccharose sont prédominants et représentent environ de 3 à 8% de la matière sèche (MS). Cependant, il existe aussi des fructosanes qui s'accumulent à la base des tiges des graminées. L'amidon est absent généralement dans les fourrages sauf dans certaines légumineuses où des teneurs allant de 0.5 à 3 % de la matière sèche ont été observées (Drogoul *et al.*, 2004).

1.1.1.2. Les glucides pariétaux

Dans cette famille de glucides, il faut distinguer les polysides proprement dits et les constituants non pariétaux qui leur sont associés (Jean-Blain, 2002).

1.1.1.2.1 Les polysides

Formés de trois groupes :

- **La cellulose** : est le constituant principal des tissus de soutien (le collenchyme et le sclérenchyme) et d'une partie des tissus de conduction (le xylème). La cellulose est un glucane formé de longues chaînes de molécules de glucose, aux environs de 1000 dans les plantes fourragères, qui sont unies par des liaisons osidiques de type β (1-4) (Jarrige *et al.*, 1995). La liaison osidique β est résistante à l'attaque des enzymes du suc digestif mais qui peut être attaquée par les enzymes des bactéries de l'appareil digestif des ruminants (Jean-Blain, 2002 ; Drogoul *et al.*, 2004).

Dans les fourrages, elle représente de 40 à 45 % de l'ensemble des parois et par rapport à la MS totale de la plante, la teneur varie de 15 à 40 % selon l'espèce et surtout selon l'âge de la plante. Cette proportion augmente avec l'âge de la plante et c'est ce qui explique en partie la diminution de la digestibilité lorsque la plante vieillit (ITEB- INRA, 1984 ; Jarrige, 1988).

- **Les hémicelluloses** : sont composés essentiellement de pentoses, xylose en particulier, de quelques hexoses et d'acides uroniques. Leur teneur varie de 12 à 25 % de la MS des fourrages. Plus la plante vieillit, plus la teneur en hémicelluloses augmente. Leur digestibilité est un peu inférieure à celle de la cellulose en raison de leur imprégnation par la lignine (Jarrige, 1988).

- **Les substances pectiques** : sont des dérivés de l'acide galacturonique. On les retrouve dans les lamelles moyennes des cellules. Elles ont une teneur avoisinant les 2 % de la MS des graminées et ayant une digestibilité très élevée et proche de celle des glucides cytoplasmiques (ITEB- INRA, 1984 ; Soltner, 1999).

1.1.1.2.2. Les constituants non glucidiques

Le seul constituant intéressant est représenté par la lignine qui est une substance complexe formée de plusieurs alcools. La lignine incruste progressivement les fibres polysidiques des tissus de soutien et de conduction. Sa teneur varie de 2 % dans l'herbe jeune à 12 –13 % de la MS dans la paille. La lignine est pratiquement indigestible, elle protège une

partie des polysides membranaires, qu'elle incruste, de la dégradation microbienne. La teneur en lignine est le facteur principal limitant de la digestibilité des aliments (**Drogoul et al., 2004**).

1.1.2. Les constituants azotés

Aussi appelés matières azotées totales ou protéines brutes dont on distingue:

1.1.2.1. Les matières azotées protidiques (MAP)

Elles sont localisées dans les cellules chlorophylliennes et elles donnent par hydrolyse des acides aminés. Elles sont constituées de protéines, de peptides et des acides aminés libres.

1.1.2.2. Les matières azotées non protidiques (MANP)

Elles sont localisées dans les vacuoles des cellules végétales, elles ne donnent pas à l'hydrolyse des acides aminés. Ce sont les amines, les amides (telle que l'urée), les formes azotées simples (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), les bases azotées (formes cycliques constituant des acides nucléiques). Dans les fourrages verts, elles représentent 15 à 35 % des matières azotées totales, cette proportion est plus élevée dans les tiges que dans les feuilles. Les légumineuses sont plus riches que les graminées. Les matières azotées non protidiques des foin récoltés dans de bonnes conditions ont, en général, une proportion comprise entre 30 et 40 % des matières azotées totales (**ITEB-INRAP, 1984 ; Soltner, 1999**).

1.1.3. Les constituants lipidiques

Dans les plantes fourragères, on trouve des galactolipides qui sont des glycérides associés à du galactose. Ils sont localisés dans les chloroplastes, riches en acides gras non saturés et en particulier l'acide linoléique. On rencontre également des cérides (qui sont des alcools à poids moléculaire élevé et des acides gras) dans la cuticule des feuilles où ils constituent la substance principale de la cutine qui est indigestible (**Drogoul et al., 2004**).

Les lipides représentent une très faible fraction de la M.S des fourrages (2 à 5 %), ce qui explique le peu d'intérêt qu'il leur est accordé le plus souvent (**Jarrige, 1995 ; Soltner, 1999**).

1.1.4. Les minéraux

La composition minérale d'un fourrage résulte de l'action de plusieurs facteurs comme le stade de végétation de la plante, sa famille botanique et les conditions de milieu et d'exploitation (comme les épandages ou les fertilisants). Compte tenu des risques d'insuffisance d'apport en éléments minéraux des rations à base de fourrages des ruminants, l'attention des nutritionnistes est attirée sur les éléments minéraux suivants: Ca (calcium), P (phosphore), Na (sodium), Mg (magnésium), S (soufre) pour la laine, Zn (zinc), Cu (cuivre), Co (cobalt) (Gueguen et Barlet, 1978). Les matières minérales totales (ou cendres brutes) représentent de 8 à 15 % de la MS des fourrages (Meschy *et al.*, 1995 ; Meziane, 2001).

1.1.4.1. Les macro-éléments

Se présentent dans le végétal sous des formes chimiques variées:

- Le potassium et sodium sont presque totalement ionisés.
- Les phosphates sont sous des formes multiples; phosphore inorganique; phosphates estérifiés ou non; phytates présents dans les graines.
- Le calcium est sous forme soluble, partiellement soluble (phosphates) ou sous forme d'oxalates insolubles et enfin une fraction de calcium peut également être liée aux protéines et aux pectines (Meziane, 2001).
- Le magnésium dont 50 % sont sous forme soluble, environ 10 % associés au complexe chlorophyllien et une partie non négligeable est complexée aux acides organiques et à la lignine (Meschy *et al.*, 1995). Le tableau (1) rassemble l'intervalle de variation des teneurs minérales dans les fourrages.

Tableau 1. Plages de variation des teneurs minérales dans les fourrages
(Little, 1982 cité par Meschy *et al.*, 1995)

Macro-éléments	Teneur en g/kg de MS
P	0.2 à 7
Ca	0.4 à 41
Mg	0.3 à 10
Na	0.01 à 21
K	10 à 60
S	0.5 à 4

1.1.4.2. Les oligo-éléments

Les plantes fourragères peuvent souffrir de carences en oligo-éléments avec une production diminuée dues essentiellement aux carences rencontrées principalement sur les sols **Grace et Clark (1991)**. Selon ces mêmes auteurs, l'usage de fertilisants peut altérer la concentration des oligo-éléments dans les plantes en augmentant la teneur en Mo (Molybdène) et Se et en diminuant celles du Co, Mn (manganèse), Fe et Zn. Les teneurs en éléments minéraux mineurs varient d'un aliment à l'autre, le tableau (2) présente les teneurs en oligo-éléments de quelques aliments destinés à l'alimentation des ruminants.

Tableau 2. Teneurs en oligo-éléments de quelques grains et fourrages (en mg /kg de MS ou ppm)
(INRA, 1988 ; Chapuis, 1991)

Aliment	Cuivre	Zinc	Manganèse
Fourrage de prairie naturelle Fourchette des valeurs (min - max)	5.2 ± 0.8 (2.8 - 8.0)	29.1 ± 0.4 (13 - 60)	158.2 ± 5.3 (12-580)
Foin de luzerne	7.1 ± 0.3	24.6 ± 2.1	29.0 ± 2.4
Paille d'orge (min - max)	3.1 ± 0.9 (2.3 - 4.7)	7.3 ± 3.9 (3 - 12)	17.6 ± 9.2 (4.0 - 26.3)
Ogre (min - max)	4.1 ± 1.0 (2.6 -5.5)	24.4 ± 3.5 (20 - 30)	17.6 ± 5.9 (11 – 33)
Avoine (min - max)	3.5 ± 0.5 (2.7- 4.9)	25.2 ± 4.1 (17-37)	38.4 ± 13.0 (21-78)

Selon **Drogoul et al. (2004)**, les aliments apportent aux animaux les substances nutritives dont ils ont besoins ; un aliment unique est généralement incapable de faire face, seul, à l'ensemble des besoins. C'est la raison pour laquelle plusieurs aliments sont associés au sein d'une ration. Le tableau (3) renseigne sur les différents constituants des aliments d'origine végétale.

Tableau 3. Différents constituants des aliments d'origine végétale (Soltner, 1999)

M A T I È R E B R U T E	Eau	78 à 92% dans les betteraves fourragères 78 à 88% dans l’herbe verte 50 à 80% dans les ensilages et enrubannages 15 à 20% dans les foins et les grains			H ₂ O		
	Matière sèche (obtenue par dessiccation)	Matières minérales (cendres obtenues par combustion à 550°C)			Macro-éléments ou éléments majeurs	Chlorures, phosphates, sulfates, carbonates de Ca, Na, Mg, K	
					Micro-éléments ou oligo-éléments	Fe, Cu, Zn, Co, Mn, I, Se...	
		Matière organique (Brûle en dégageant du CO ₂)	Eléments ternaires ou substances hydrocarbonées (constitués de C, H, O)	G L U C I D E S	Glucides cytoplasmiques (contenus cellulaires)	Glucides solubles (sucres): ♦ en C ₅ (ribose, desoxyribose) ♦ en C ₆ (glucose, fructose) ♦ en C ₁₂ (maltose, lactose, saccharose, mélbiose) Glucides insolubles de réserve (fructosanes, amidon)	
					Glucides pariétaux (parois)	Glucides insolubles de structure (cellulose, hémicelluloses, substances pectiques, lignine, cires ou cutine)	
					Lipides ou corps gras		Esters d’acides gras (glycérides, stérides, cérides)
					Eléments quaternaires ou matières azotées	Matières azotées protidiques	Acides aminés libres et combinaisons d’acides aminés en peptides, polypeptides et protéines
			(constitués de C, H, O, N)	Matières azotées non protidiques	Amides (urée), Amines, Ammoniaque, bases azotées		

1.2. Alimentation de la brebis reproductrice

Chacune des périodes du cycle de production de la brebis peut se caractériser par des besoins alimentaires et par des apports énergétiques, azotés et minéraux. Les apports alimentaires sont rarement égaux aux besoins, excédents et déficits se succèdent. Les apports excédentaires en protéines sont éliminés par l'animal dans l'urine, inversement leurs déficits entraînent une diminution des performances. Il est donc indispensable de toujours couvrir les besoins en protéines. Il n'en est pas de même pour l'énergie dont les excédents sont stockés sous forme de graisses corporelles qui seront mobilisées au cours de la période de sous-alimentation suivante (Bocquier *et al.*, 1987a ; Bocquier et Caja, 2001).

Chez les brebis, les réserves accumulées au cours de la période de repos sont utilisées partiellement en fin de gestation et surtout au début de lactation, de ce fait, toute période de mobilisation doit être suivie d'une phase de récupération (Jarrige, 1988 ; Caple *et al.*, 2007).

1.2.1. Besoins et apports alimentaires recommandés

1.2.1.1. Brebis tarie, en lutte et en début de gestation

Les besoins de la brebis dépendent surtout de son poids vif et de la nécessité ou non de reconstituer les réserves corporelles dont elle aura besoin à la fin de gestation et surtout au début de la lactation. Cette reconstitution doit être précoce car la réussite de la prochaine lutte (fertilité, taux d'ovulation et mortalité embryonnaire donc prolificité) dépend du poids et de l'état corporel de la brebis 4 à 6 semaines avant la saillie (Bocquier *et al.*, 1987a ; Drogoul *et al.*, 2004).

Si par suite d'une insuffisance de ressources alimentaires ou d'un intervalle trop court entre le tarissement et la saillie, le poids des brebis n'est pas suffisant, ou si leur note d'état corporel est inférieure à 3.5 (qui peut aller de 0 à 5), il est encore possible d'améliorer les résultats de la lutte en réalisant un « Flushing » ; ce dernier consiste en une suralimentation énergétique temporaire (de plus de 20 à 30% des besoins d'entretien) (Bocquier *et al.*, 1987b). Il doit commencer 2 à 3 semaines avant la saillie et se poursuivre pendant les 3 premières semaines de la gestation. Il peut être obtenu par l'amélioration de la qualité des aliments offerts (choix d'herbe ou de fourrages moins encombrants), par l'augmentation des quantités disponibles ou

offertes ou enfin, surtout en bergerie, par la distribution d'aliments concentrés (Wolter, 1990 ; Selmi *et al.*, 2009).

Les effets du «Flushing» sont variables selon l'état initial du troupeau, maximum pour des brebis en état corporel moyen (note de 2.5 à 3), son efficacité est pratiquement nulle pour des brebis très grasses (note supérieure à 4) ou trop maigres qu'il aurait fallu supplémenter plus tôt pour les remettre en état d'embonpoint (Derradji-aouat et Naamoune, 2003).

Pendant la période de préparation à la lutte, pendant la lutte elle-même et au cours des premiers mois de la gestation, les variations brutales de l'alimentation doivent être proscrites car elles risquent de perturber la venue en chaleurs des brebis puis d'accroître la mortalité embryonnaire (Wolter, 1990 ; Jarrige, 1995).

Les apports retenus pour cette période doivent être choisis selon l'état réel des brebis à partir des besoins pour l'entretien (tableau 4) et pour la reconstitution des réserves. Ils sont déterminés à partir du gain de poids souhaité (ou de l'amélioration de l'état corporel) et de la durée de la période disponible pour réaliser cet objectif (Jarrige, 1988).

Tableau 4. Besoins alimentaires et capacité d'ingestion de la brebis tarie ou en début de gestation (INRA, 1988)

Besoins d'entretien								
Age	Poids vif (Kg)	Besoins quotidiens				Capacité d'ingestion(UEM)		
		UFL (/j)	PDI (g/j)	Ca (g/j)	P (g/j)	Note d'état des brebis		
						2à 2,5	3à 3,5	3,5à 4,5
Adultes	40	0,52	42	3,0	2,0	1,4	1, 3	1,2
	50	0,62	50	3,5	2,5	1,7	1,5	1,4
	60	0,71	57	4,0	3,0	2,2	1,7	1,6
	70	0,80	64	4,5	3,5	2,0	2,0	1,8

Des brebis adultes ayant une note moyenne de 2.0 peuvent gagner 0.5 point en 12 semaines, ce qui correspond à une majoration des apports énergétiques quotidiens de 0.40 fois le besoin d'entretien ($0.40 \times BE$) (Bocquier *et al.*, 1987a ; Drogoul *et al.*, 2004a).

1.2.1.2. Brebis en gestation

Les connaissances actuelles de la nutrition pour la conception et la gestation chez la brebis sont basées sur les résultats des épreuves de production impliquant différentes stratégies d'alimentation et des études mécanistes conçues pour démêler les systèmes de commande fondamentaux et leurs réponses aux aliments (Coleman et Henry, 2002). Cette alimentation peut se dérouler en trois périodes :

- *Début de gestation (1^{er} mois)*: pendant laquelle toute modification brutale du régime peut provoquer des mortalités embryonnaires.
- *Milieu de la gestation (2^{ème} et 3^{ème} mois)*: les animaux ont des besoins faibles, ils sont équivalents à ceux d'une femelle à l'entretien.
- *Fin de gestation* : c'est la période critique, car les besoins sont de plus en plus élevés du fait du développement du ou des fœtus, le volume de l'utérus prend de plus en plus de place dans l'abdomen, comprimant ainsi l'appareil digestif, par conséquent la capacité d'ingestion de la brebis diminue fortement (Bocquier et Caja, 2001 ; Caple *et al.*, 2007).

La brebis doit donc faire appel à ses réserves énergétiques mais de manière modérée, c'est pourquoi les apports recommandés doivent être considérés comme des minima. Ils sont inférieurs aux besoins stricts et supposent qu'une partie des besoins énergétiques de la brebis sont couverts par des réserves corporelles. Ils s'appliquent à des brebis en bon état (note d'état 3 au minimum) et doivent être augmentés de 10 % si les brebis ne présentent pas cet état minimum deux mois avant terme et aussi pour les primipares (Bocquier et Caja, 2001), l'alimentation en fin de gestation a une incidence sur :

- Le poids des fœtus ;
- La vigueur des agneaux nouveau-nés ;
- La mortalité ;
- La production laitière de la mère ;
- La vitesse de croissance de l'agneau ;
- Le poids et la maturité corporelle à la vente ;

Ce qui nécessite une complémentation avec un aliment peu encombrant et surtout riche en énergie, complémentation appelé « Steaming » (Bocquier *et al.*, 1987 ; Wolter, 1990). Le tableau (5)

indique que les besoins en période de gestation sont en fonction du nombre d'agneaux et du poids moyen des agneaux à la naissance.

Tableau 5. Apports alimentaires recommandés en fin de gestation selon le poids des brebis et l'importance de la portée conséquence sur la capacité d'ingestion.
(Fantaine, 1988 ; Drogoul *et al.*, 2004a)

Poids de la brebis (kg)	Poids de la portée kg (et taille)	Périodes (semaines avant l'agnelage)				
		-4 et -3				-6 à -1
		UFL /j	PDI (g/j)	Ca (g/j)	P (g/j)	Capacité d'ingestion
55	4 (1)	0,84	93	6,9	3,5	1,29
	5 (2)	0,89	103	7,7	3,7	1,16
	7 (2)	0,97	113	9,1	4,1	1,29
60	5 (1)	0,93	107	7,9	4,0	1,26
	6 (2)	0,97	112	8,6	4,2	1,32
	7 (2)	1,02	117	9,3	4,4	1,40
	8 (2)	1,07	122	10,0	4,6	1,45

Au regard du tableau ci-dessus, on remarque que la capacité d'ingestion s'accroît avec le poids total de la portée mais que, à même poids de portée, elle diminue avec le nombre d'agneaux portés (Jarrige, 1988). Si les besoins ne sont pas couverts, la brebis puise trop tôt sur ces réserves corporelles pour assurer la croissance du fœtus. Il s'en suit un mauvais état de la mère à la mise-bas et des agneaux chétifs et petits à la naissance (Drogoul *et al.*, 2004a ; Caple *et al.*, 2007).

- Un déficit en matières azotées et en minéraux a toujours des conséquences regrettables sur la viabilité et le poids des agneaux.
- Une sous-alimentation énergétique importante, entraîne une mobilisation excessive des réserves corporelles, risquant de provoquer une toxémie de gestation. Donc, il faut effectuer des lots selon l'état corporel, et éviter les manipulations et le stress (Dudouet, 2003).

1.2.1.3 Brebis allaitante

D'après **Gadoud *et al.* (1992)**, l'alimentation est variée en fonction du stade de lactation où les besoins de la brebis sont les plus élevés. Malgré l'augmentation rapide de sa capacité d'ingestion, elle ne peut, dans la plupart des cas, ingérer suffisamment d'aliments pour faire face à ces besoins pendant les premières semaines. Elle doit donc utiliser ses réserves corporelles, mais à la différence de la gestation, cette mobilisation n'entraîne pas de risque pathologique grave pour la mère et ces produits. Un apport insuffisant d'énergie ou de protéines, qui se traduirait par une réduction de la production laitière, serait partiellement compensé par une ingestion accrue d'aliments concentrés par les agneaux. Ils en consommeront des quantités notables après la 4^e semaine (**Drogoul *et al.*, 2004**).

Les besoins de la brebis varient selon son niveau de production (0,9 à 3 litres) et la composition de son lait (70g de matière grasse et 48g de protéines par litre). Ces deux paramètres sont très difficiles à mesurer, on doit donc les estimer à partir de la croissance de la portée au cours du premier mois ou entre 10 et 30 jours « gain moyen quotidien ou GMQ 10-30 », période pendant laquelle le lait constitue pratiquement le seul aliment des agneaux (**Rivière, 1978**).

Les différences entre besoins et apports énergétiques, n'ont pas d'incidence notable sur la production laitière des brebis, donc sur la croissance de leur agneaux surtout si elles ne sont pas prolongées au-delà de 6 à 8 semaines et si les besoins en protéines et minéraux sont entièrement couverts dès l'agnelage. Les rapports recommandés en protéines et minéraux sont donc égaux aux besoins totaux (**Theriez *et al.*, 1987**).

1.2.1.4. La production de la laine

Chez la brebis, une partie de ses dépenses est destinée à la production de laine, dont la croissance est lente, induisant une faible dépense en énergie mobilisée qui peut être négligée si les besoins d'entretien sont couverts. Mais les besoins en protéines sont élevés, dont la pousse de la laine constitue une dépense azotée importante. C'est surtout le cas des acides aminés soufrés qui interviennent en quantité importante (**Rivière, 1978**). De nombreux chercheurs ont remarqué que la tonte un mois avant la mise-bas favorise la capacité d'ingestion (**Slen et Whiting, 1952 ; Rouissi *et al.*, 2001**).

1.2.2. Influence de l'alimentation sur la reproduction

La disponibilité alimentaire et les variations annuelles de la quantité de la nourriture consommée interagissent pour moduler l'activité reproductrice ou la contrôler complètement (Thibault et Levasseur, 1991). Un bon état corporel a une action positive sur le développement de l'ovaire, le taux d'ovulation, le taux de fécondation et l'implantation embryonnaire et diminue la mortalité embryonnaire.

Le niveau d'alimentation au moment de la lutte influence sur la fertilité et la prolificité. En effet, la stimulation de l'activité ovarienne, favorisera le taux d'ovulation. Machensie et Edey (1980) cité par Dudouet (2003), enregistrent un fort pourcentage de non gestation suivie de cycles œstraux prolongés chez des brebis sous-alimentées. Sachant que l'alimentation des brebis en gestation est primordiale pour le développement des fœtus, la survie et la croissance des agneaux, de même, l'alimentation des brebis en lactation détermine leur capacité de production laitière et donc la croissance des jeunes et de ce fait, on a recours au « steaming » et au « flushing » (Rekik et Mahouachi, 1997 ; Hanzen *et al.*, 1996 ; Dudouet, 2003).

Le « Steaming » consiste à donner une complémentation avec un aliment peu encombrant et surtout riche en énergie en fin de gestation, il représente 30 à 50% des besoins d'entretien au 4^{ème} et 5^{ème} mois de gestation, soit 200 à 400g de concentré par brebis et par jour en fonction de l'état corporel et du stade de gestation ; sachant que la quantité apportée augmente au fur et à mesure qu'on se rapproche de la mise bas. Ne pas omettre qu'un état d'engraissement important compromet la fertilité (Rekik et Mahouachi, 1997 ; Dudouet, 2003).

Le « Flushing » est généralement utilisé pour évaluer l'état d'engraissement dans lequel se trouve la brebis au moment de l'accouplement (Niar, 2001). Il consiste en une suralimentation énergétique temporaire (plus de 20 à 30% des besoins d'entretien) avec des sels minéraux et des vitamines (Rekik et Mahouachi, 1997). Un Flushing pré-œstral (de 3 semaines) améliore le nombre d'agneaux nés de 10 à 20%. Ainsi un Flushing post-œstral (de 5 semaines) réalisé sur des femelles en bon état corporel, assure un taux d'ovulation élevé et un taux de perte embryonnaire faible. Ce Flushing représente 300 à 500g de concentré par brebis et par jour selon l'état des animaux (Niar, 2001 ; Dudouet, 2003).

Un des mécanismes de l'effet de l'alimentation sur l'ovulation a été proposé par Smith *et al.* (1982). Le « Flushing » produit une augmentation de la taille du foie et une élévation de la concentration

des enzymes microsomiales hépatiques. Il en résulte une augmentation du niveau métabolique des œstrogènes, et par suite, celle du niveau de la FSH avant et pendant la lutéolyse. Cette élévation de la FSH dans l'organisme peut être responsable du développement d'un plus grand nombre des follicules ovulatoires (Niar, 2001).

En résumé, la mauvaise nutrition, du point de vue quantitatif et/ou qualitatif, c'est à dire les insuffisances et les déséquilibre nutritionnels se répercutent sur l'état sanitaire de la brebis et en conséquence sur la reproduction (Craplet et Thibier, 1980 ; Rekik et Mahouachi, 1997 Dudouet, 2003).

Chapitre 2. Le métabolisme minéral

Les minéraux jouent des rôles spécifiques et irremplaçables, soit comme constituants structuraux (par exemple dans l'os), soit comme régulateurs des échanges cellulaires (dans le sang, en particulier), soit comme activateurs des réactions biologiques. Ils se répartissent en deux groupes en fonction de leur importance pondérale: les macro-éléments et les oligo-éléments (Wolter, 1999). Comme tous les mammifères, les ovins doivent trouver dans leur régime alimentaire des quantités suffisantes de tous les minéraux indispensables. Compte tenu des risques d'insuffisance des rations classiques à base de fourrages des ruminants, l'attention des nutritionnistes est surtout attirée sur les éléments minéraux suivants: P, Ca, Na, Mg, S (pour la laine), Zn, Cu, Co, I et Se (Gueguen et Barlet, 1978).

Les éléments minéraux se répartissent en deux groupes:

- **Les éléments minéraux majeurs:** se trouvent en quantité relativement importante et représentent 99% des éléments minéraux de l'organisme. L'unité de mesure est le milligramme. Ils sont représentés par: Phosphore (P), Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Sodium (Na), Potassium (K), Chlore (Cl) et Soufre (S).

- **Les oligo-éléments ou éléments traces:** sont présents en quantité très faible ou à l'état de traces. L'unité de mesure est le millicentigramme (mcg), on utilise aussi souvent la "ppm" (partie par million: Ex 1 mg/Kg). Ce sont : Fer (Fe), Cuivre (Cu), Manganèse (Mn), Zinc (Zn), Cobalt (Co), Iode (I), Sélénium (Se). Certains sont importants par leur carence mais d'autres peuvent être dangereux par leur excès (Mo, F, Se et Cu).

Les tableaux (6) et (7) rassemblent les données relatives aux éléments majeurs et mineurs et indiquent le seuil de carence et de toxicité et les apports recommandés ainsi que les teneurs moyennes dans le lait.

Tableau. 6. Seuil de carence et de toxicité et apports recommandés pour les oligo éléments chez la brebis en mg/kg de MS (Gueguen et Barlet, 1978)

Eléments	Seuil de carence	Seuil de toxicité	Apports recommandés Ration classique
Zinc	45	500	50
Manganèse	45	1000	50
Cuivre	7	15	10
Cobalt	0,07	100	0,2

Le lait est très riche en éléments minéraux, ces teneurs moyennes (tableau 7) varient un peu selon la race mais relativement peu selon le régime alimentaire, c'est à dire que le taux en Ca et du P augmente avec le taux de matières azotées. Le zinc est l'oligo-élément le plus abondant dans le lait mais sa faible teneur ne contribue pas beaucoup au besoin en zinc surtout chez la vache où sa concentration est de 0,3mg/kg de lait.

Tableau. 7. Concentration minérale moyenne du lait de la brebis (Underwood, 1981; Gueguen *et al.*, 1988)

Macro-éléments (g/kg)		Oligo-éléments (mg/l)	
Ca	0.19	Zn	4
Mg	0,15	Fe	0,5
P	1,5		
Cl	1,2	Cu	0,2
Na	0,45	Mn	0,04
K	1,25		

2.1. Etude des macro-éléments

2.1.1. Calcium et phosphore

Le calcium et le phosphore sont les minéraux les plus abondants dans l'organisme animal. Ils représentent environ 2% de la composition totale et sont principalement concentrés dans le tissu osseux.

2.1.1.1 Le calcium

2.1.1.1.1 Métabolisme

2.1.1.1.1.1 Absorption

Le Ca est absorbé au niveau de rumen-reseau, mais principalement au niveau de l'intestin grêle, par une voie transcellulaire saturable, et une voie paracellulaire insaturable (**Yano et al., 1991; Harold Copp, 2004**).

- La voie transcellulaire s'observe seulement au niveau duodénal, elle s'effectue par un transport actif facilité par des transporteurs spécifiques localisés dans les bordures en brosse des entérocytes (Binding Protein de Wasserman ou Ca.B.P) (**Guéguen et Pointillart, 2000**).

- La voie paracellulaire est une diffusion passive existant tous au long de l'intestin grêle surtout au niveau jéjunale (**Timet et al., 1981 ; Sklan et Hurwitz, 1985 cités par Meschy et Gueguen, 1995**).

Chez la brebis, en fin de gestation et surtout pendant la période de lactation, une augmentation du coefficient d'absorption réelle (CAR), elle représente près de 50% sur l'ensemble de la lactation. Cette augmentation pourrait s'expliquer par l'hypocalcémie transitoire qui accompagne la parturition et qui entraîne un pic de la 1,25 dihydroxycholecalciférol plasmatique (**Greene et al., 1983 ; Underwood et Suttle, 1999 ; Caple et al., 2007**).

La calcémie du mouton varie de 90-120 mg/l de sang (**Meziane, 2001**). L'absorption du calcium diminue avec l'âge, l'apport massif de calcium et un faible apport en vitamine D (**Ammerman et Goodrichard, 1983**).

2.1.1.1.2. Excrétion

Elle est essentiellement digestive, la perte endogène fécale du calcium, contrairement à celle du P, n'augmente pas avec la quantité de calcium ingérée; de plus l'excrétion urinaire est estimée à 2 mg /kg poids vif /jour (Caple *et al.*, 2007). Elle s'accroît lors d'apport libéral de S ou avec les rations riches en protéines et s'annule si la calcémie est inférieure à 7,7 mg/100ml chez la vache (Paragon, 1984; Underwood et Suttle, 1999).

2.1.1.1.2. Répartition

Le calcium se retrouve donc à 99 % dans les os et à 1% dans les tissus mous et liquides extracellulaires (Paragon, 1984 ; Caple *et al.*, 2007). Le calcium extracellulaire circule sous trois formes :

- à 50 % sous forme ionisée, qui est active ;
- à 45 % sous forme liée à un transporteur sanguin (globulines, albumines) ;
- à 5 % sous forme complexée avec d'autres composés : citrates, sulfates (Ammerman et Goodrich, 1983 ; Payne *et al.*, 1983 ; Reinhardt *et al.*, 1988).

La portion intracellulaire est concentrée essentiellement dans le réticulum endoplasmique (Jean-Blain, 2002 ; Marx, 2002 ; Drogoul *et al.*, 2004).

Dans le tissu osseux, 99% du Ca total dans le squelette se trouve sous forme de phosphate tricalcique, de carbonate de Ca, de citrate de Ca, de lactate de Ca, de protéinate de Ca et de traces de fluorures calciques.

2.1.1.1.3. Rôles biologiques

C'est le minéral majeur du corps, il est, avant tout, un constituant squelettique et contribue aux fonctions vitales comme l'intégrité cellulaire, l'excitabilité neuromusculaire, la contraction musculaire, la coagulation, les activités enzymatiques et hormonales.

- Il interviendrait dans la synthèse des hormones stéroïdes chez le mâle et la femelle.
- Il participe à la régulation de la perméabilité cellulaire.
- Il intervient dans la régulation de la contraction musculaire dans le sens du renforcement du tonus cardiaque et des fibres musculaires des vaisseaux sanguins.
- Il participe dans le processus de la coagulation sanguine.
- Il active la prothrombine en thrombine.

- Il libère les plaquettes sanguines.
- Il participe également à certaines réactions biochimiques.

Il aurait une action moins directe que le phosphore, par conséquent sa carence semble modifier assez peu la fécondité. On note cependant, l'effet négatif d'une surcharge alimentaire qui peut occasionner une carence conditionnée en oligo-éléments tels que le manganèse et l'iode (Bienfet *et al.*, 1965).

2.1.1.2. Le phosphore

2.1.1.2.1. Métabolisme

2.1.1.2.1.1. Absorption

Le phosphore est principalement absorbé au niveau de l'intestin grêle. Les mécanismes de transport intestinal du P sont évidemment plus complexes chez les ruminants, que chez les monogastriques. Dans le duodénum et le jéjunum du mouton, l'absorption du P par un transport actif (l'intervention d'un système Co-transport Na^+ indépendant par une interaction de deux ou plus des ions de Na avec un ion de P inorganique à pH 7.4) (Huber *et al.*, 2002 ; Bravo *et al.*, 2003a).

Il existe d'autre type de transport du P, c'est le transport passif suite à l'existence d'un gradient électrochimique (Schroder *et al.*, 1995 ; Huber *et al.*, 2002). D'après Meschy (2002), le phosphore chez la brebis, est moins absorbé que chez la chèvre, avec une valeur moyenne de CAR de 70% (Caple *et al.*, 2007).

2.1.1.2.1.2. Sécrétion salivaire

Le phosphore salivaire présente l'avantage, en passant par le rumen et l'intestin, d'être soumis à l'absorption intestinale. La concentration en P de la salive peut être 4 à 5 fois plus grande que celle du plasma sanguin.

Ainsi, la salive permet de rééquilibrer un rapport phospho-calcique en faveur du calcium et de réaliser des conditions optimales pour une bonne absorption intestinale, le phosphore est sécrété par la salive sous forme d'ion phosphate. Tomas (1974) cité par Meschy et Ramirez-Perez (2005), indique que le P salivaire recyclé représente la part la plus importante du P disponible dans le rumen (jusqu'à 70 % du P entrant dans le rumen). Le recyclage de ce P dépend de la concentration en P dans la salive, et du flux salivaire, influencé par la quantité de MS ingérée et la fibrosité de la ration (Bravo *et al.*, 2003b ; Kebreab *et al.*, 2006).

La production salivaire au cours de la rumination est nettement plus importante que pendant l'ingestion, ce qui souligne l'importance de bonnes conditions de fonctionnement du rumen pour l'optimisation du recyclage salivaire du P. Une situation d'acidose entraînant une réduction de la rumination et de la production salivaire, se traduit par une baisse du recyclage des substances tampon (fragilisation de l'écosystème ruminal) et du phosphore (moindre valorisation de la fraction fibreuse de la ration) (Brisson, 2003 ; Meschy et Ramirez-Perez, 2005).

L'élimination du phosphore par le lait est plus forte que celle des autres sécrétions digestives (Paragon, 1984).

2.1.1.2.1.3. Excrétion

L'excrétion elle est essentiellement fécale. Elle est estimée à :

- 23 mg /kg poids vif /jour (INRA, 1978)
- 10 mg/kg poids vif /jour (NRC, 1980) ; pour un niveau d'ingestion faible et une salivation réduite.
- Field (1983) cité par Paragon (1984), l'estime quand à lui à 20 mg/kg poids vif /jour pour se placer dans des conditions plus proche de la réalité et plus favorable au ruminant.

L'excrétion urinaire pour une ration à base de fourrage est estimée à 2 mg/kg PV/jour. Cette quantité augmente avec la part des concentrés dans la ration mais cette excrétion s'accompagne d'une perte de Na ou de K (Paragon , 1984).

2.1.1.2.2. Répartition

Le phosphore est le second macro-élément essentiel dans le corps, c'est un élément susceptible d'être un facteur limitant de la productivité des rations fourragères, il représente environ 0.7% du poids corporel dont 83% se trouve dans le squelette chez le jeune et 87% chez l'adulte sous forme de phosphate tricalcique et de phosphate trimagnésique. Sur la quantité totale de phosphate se trouvant dans le squelette, seule 13 à 20 % semblent disponibles et mobilisables (Paragon, 1984).

Il compose avec le calcium la trame osseuse sous forme d'hydroxyapatite employant 90% du phosphore et est l'anion majeur intracellulaire des tissus mous en se retrouvant dans les molécules principales de fonction et structurelles comme les phospholipides, les phosphoprotéines, les acides nucléiques, les molécules énergétiques (ATP) (Perry et Cecava, 1995).

2.1.1.2.3. Rôles biologiques

Le phosphore intervient dans le métabolisme énergétique, l'intégrité membranaire et osseuse, la contraction musculaire (Ammerman et Goodrich, 1983 ; Payne *et al.*, 1983 ; Reinhardt *et al.*, 1988 ; Rosol et Capen, 1997).

De plus, il joue un rôle très important chez les ruminants car les micro-organismes du rumen sont dépendants du phosphore pour la cellulolyse et la production d'acides gras volatiles (Rosol et Capen, 1997 ; Foucher, 2000). Le phosphore dans le sang se présente sous forme inorganique, associée à Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} ou à des protéines. C'est donc la forme inorganique que l'on mesure dans le sang (normes 45-75 mg/l de sang chez le mouton), or elle n'est point le reflet de la réserve osseuse en phosphore (Brunet, 2002).

En raison de la pauvreté courante des fourrages en phosphore, ce dernier est le plus souvent impliqué dans les problèmes d'infécondité. Wolter (1976), constate que lors d'une subcarence progressive, la fécondité peut être affectée en dehors de tout autre signe d'hypophosphatémie. Au début, les chaleurs restent régulières, d'intensité normale mais la fécondation est difficile, peut être par défaut d'ovulation, puis les chaleurs deviennent plus espacées et plus discrètes, ensuite s'installe une anaphrodisie plus ou moins prolongée.

Selon Bertrand et Des chanel (1976) cité par Thionoane (1982), le phosphore a une action sur la sécrétion d'hormone gonadotrope folliculaire ; donc une carence en phosphore agit sur le complexe hypothalamo-hypophysaire en provoquant une suppression de la fonction hypophysaire.

2.1.1.3. Homéostasie phospho-calcique

La concentration en calcium sanguin est très régulée. L'homéostasie calcique repose sur l'intervention de trois hormones: la parathormone (PTH), la calcitonine (CT), et la 1,25-dihydroxyvitamine D_3 (Vit D_3) (Kolb, 1975 ; Gueguen et Barlet, 1978 ; Guéguen et Pointillart, 2000 ; Jean-Blain, 2002 ; Drogoul *et al.*, 2004).

La calcémie est parfaitement régulée même si l'apport est marginal grâce à l'utilisation des réserves osseuses par le jeu de la calcitonine (freine la mobilisation osseuse) et de la parathormone (active la mobilisation osseuse) et de la 1-25 dihydroxychole-calciférol qui accélère le turn-over du calcium de l'os. Le calcium sanguin détermine la concentration de la

PTH et de la calcitonine circulante, ainsi lorsqu'il y'a hypocalcémie, la synthèse de PTH est augmentée, ce qui induit une augmentation de la synthèse de la 1,25-dihydroxycholecalciférol d'où une meilleure absorption intestinale et une résorption osseuse accrue de Ca (Payne *et al.*, 1983 ; Reinhardt *et al.*, 1988; Caple *et al.*, 2007).

Le phosphore est directement affecté par le contrôle de la calcémie. Le taux de calcium sanguin varie donc très peu (Normes 2-3 mmol/L), alors que celui du phosphore est plus variable (Normes 0.8 à 1.9 mmol/L) (Brugere-Picoux et Brugere, 1987 ; Brugere-Picoux et Brugere, 1995 ; Kebreab *et al.*, 2006).

Selon Yano *et al.* (1991), une phosphatémie faible n'entraîne pas chez les ruminants une augmentation de 1.25- OH D₃ plasmatique. L'apport en vitamine D peut favoriser un retour en chaleurs plus rapide et un intervalle vêlage-insémination fécondante plus court (Périé, 2009).

2.1.2. Magnésium

2.1.2.1. Métabolisme

2.1.2.1.1. Absorption

Steward et Moudie (1956) cité par Thionnoane (1982), en travaillant sur des veaux, avancent que le lieu de résorption intestinale est essentiellement l'intestin grêle. Günther (1990) situe l'absorption au niveau de l'épithélium du rumen par transport actif et l'évalue entre 10 à 25 pour 100 chez la vache laitière. Alors que Gueguen et Barlet (1978), note une absorption très forte de magnésium dans les pré-estomacs.

Enfin le Mg est quasiment absorbé au niveau ruminal (Lamand *et al.*, 1986 ; Jean-Blain, 2002 ; Odette, 2005), par un transport actif (pompe Na-K ATPase dépendante) (Martens et Rayseigier, 1980 cités par Marx, 2002), et seulement une faible quantité est absorbée à travers tout le tube digestif par un transport passif (Paragon, 1984 ; Martens *et al.*, 1991).

Au niveau de l'intestin grêle, la sécrétion est plus élevée que l'absorption (Paragon, 1984). Chez l'adulte, l'absorption se fait majoritairement au niveau du réticulo-rumen et en faible quantité au niveau du gros intestin, alors que chez le jeune, le feuillet est le principal lieu de l'absorption préintestinale (Dillon et Scott, 1979 cités par Marx, 2002 ; Kebreab *et al.*, 2006).

2.1.2.1.2. L'excrétion

Le magnésium est excrété à la fois par l'intestin et le rein avec une relation urines/fèces variant entre 1/10 et 1/30 avec un taux 1g/jour pour l'excrétion fécale (Fardeau, 1979).

- **L'excrétion rénale:** constitue le mécanisme régulateur majeur du bilan magnésien, elle s'accroît en cas de surcharge magnésique et se réduit en cas de déficit magnésique (Lamand, 1986). Lorsque la magnésémie est au dessous de 18g/l, l'excrétion rénale est supprimée (Jean-Blain, 2002 ; Kebreab *et al.*, 2006).

- **L'excrétion fécale:** l'élimination du Mg endogène est constante (Jean-Blain, 2002 ; Meschy, 2002).

- **La sécrétion par le lait:** Le magnésium renferme des taux variables, en moyenne 0,13 g/kg et le colostrum en est plus pourvu (Paragon, 1984). Donc ces animaux sont plus sensibles à la carence magnésienne par rapport aux animaux non laitiers (Sowande et Aina, 2001).

2.1.2.2. Répartition

Le magnésium est largement distribué dans les tissus animaux, avec environ 70% Mg total qui existe dans le squelette (Todd, 1969). Dans les liquides intracellulaires, il se range à coté du potassium du point de vue qualité et associé principalement aux mitochondries. Il apparaît dans des concentrations relativement basses, dans les liquides extra-cellulaires, y compris le liquide cérébro-spinal et le sang, à la différence du calcium qui existe dans le plasma et les érythrocytes (Underwood, 1981 ; Kebreab *et al.*, 2006).

D'après Jean-Blain (2002), le Mg est presque entièrement intracellulaire. Environ 1% seulement du Mg total se trouve dans le compartiment extracellulaire. Le magnésium, du point de vue nutritionnel et chimique, est proche du calcium mais s'en diffère, cependant, par son très faible taux dans l'organisme (0,05%) et par sa répartition très différente (Underwood et Suttle, 1999).

2.1.2.3. Rôles biologiques

Le magnésium entre dans la composition minérale de l'os en intervenant dans la cohésion du cristal osseux dans un rapport fixe avec Ca/Mg de 50 à 55 (Paragon, 1984). Le Mg est extrêmement impliqué dans le métabolisme des carbohydrates et des lipides comme catalyseur d'une grande partie d'enzymes qui exigent cet élément pour leurs activités optimales (Wacker,

1969). Le Mg est un modérateur du tonus musculaire (Jean-Blain, 2002). Il empêche la libération de l'acétylcholine et diminue la capacité de la réaction de la plaque motrice à l'acétylcholine. De plus, le seuil d'excitabilité de la fibre musculaire est rehaussé (Kolb, 1975). La magnésémie chez la brebis est de 25.0 ± 0.36 mg/l (Garnier, 1982 cité par Meziane, 2001).

2.1.3. Le sodium, le potassium et le chlore

Le sodium, le potassium et le chlore constituent les minéraux les plus abondants dans l'organisme après le calcium et le phosphore. Ils jouent un rôle important dans le maintien de la pression osmotique intra et extra-cellulaire, dans l'équilibre acido-basique, dans l'excitabilité neuromusculaire et dans l'absorption de certains nutriments, ce qui justifie leur étude simultanée.

2.1.3.1. Métabolisme

2.1.3.1.1. Absorption

Le tube digestif, est à différents niveaux, à la fois le siège d'une sécrétion de sodium, de chlore et de potassium, et d'une absorption intense de ces mêmes nutriments (Jean-Blain, 2002).

2.1.3.1.1.1. Le sodium et le chlore

Des quantités importantes de Na parviennent au rumen sous la forme de bicarbonate contenu dans la salive (de 3 à 3.5g/l de salive pour des animaux non carencés) (Remond *et al.*, 1996). Cette quantité correspond à cinq fois la quantité qui circule dans le sang (Payne, 1984).

Selon Meschy (1995), environ 50% de Na salivaire est réabsorbé avant le duodénum. L'absorption de Na et de Cl se fait simultanément dans le rumen (Paragon, 1984 ; Meschy et Gueguen, 1995). Il existe une bonne homéostasie plasmatique de Na et de Cl, 310 à 380 mg de Na/100ml de sang et de 350mg de Cl/100ml, grâce à une élimination des apports excessifs, par voie urinaire principalement et une conservation des apports minimaux par réduction de la fuite urinaire (qui s'annule lors de carence) et de recyclage salivaire (d'où une constitution d'une réserve ruminale en échange continu avec le liquide extracellulaire) (Payne, 1983 ; Paragon, 1984 ; Underwood et Suttle, 1999).

2.1.3.1.1.2. Le potassium

Le taux moyen d'absorption du potassium est d'environ 90 à 100 % par les vaches laitières. Les principaux sites de réception des ions potassium sont le jejunum et l'iléon (60%) et aussi le caecum et le gros intestin. Les sucs digestifs intestinaux contiennent beaucoup de potassium et la sécrétion se fait au niveau des reins mais aussi dans le caecum et le gros intestin.

Le lait de vaches renferme en moyenne 1,5 g de potassium sous forme de chlorures, de carbonates et phosphates (Fardeau, 1979). Le taux sanguin de potassium est de l'ordre de 5mEq/L, mais il ne représente pas la réserve cellulaire pouvant être échangée (Brunet, 2002).

2.1.3.1.2. L'excrétion**2.1.3.1.2.1. Le sodium et le chlore**

Le Cl est presque absorbé totalement, donc 2% seulement de la quantité ingérée se trouve au niveau fécal. Pour le Na, la quantité éliminée est un peu plus importante et représente habituellement entre 15 et 20% de l'apport alimentaire (Jean-Blain, 2002). Les pertes par les sueurs deviennent appréciables dans le cas du climat chaud (Paragon, 1984).

Le sel absorbé se retrouve au niveau des sucs digestifs sécrétés par la caillette, au niveau du rein dans le tube contourné distal (Gueguen et Barlet, 1978). La salive est très riche en sodium (3,45 g/l) et sa concentration dépend partiellement de l'approvisionnement. Chez la brebis, le sodium se rencontre dans le lait à la teneur moyenne de 17 mmol/l (Underwood et Suttle, 1999).

2.1.3.1.2.2. Le potassium

L'excrétion urinaire représente la voie d'élimination et de régulation essentielle du K.

- En cas de carence potassique, la réabsorption tubulaire du K est très active pour le maintien du K dans l'organisme.
- En cas d'excédent potassique, la filtration glomérulaire et la sécrétion tubulaire sont optimisées (Castillo, 2004).

On observe également l'existence d'une élimination du K par le lait, par les fèces, et par des pertes transcutanées liée aux productions sudoripares (Madelaine, 1999). Aussi, il est excrété par la salive (la salive est très pauvre en K, généralement moins de 50mg/l, cette concentration est augmentée dans le cas d'un déficit sodique) (Paragon, 1984).

2.1.3.2. Répartition

2.1.3.2. 1. Le sodium et le chlore

Le sodium est le cation le plus abondant dans le liquide extra-cellulaire et dans la sueur. L'organisme animal renferme entre 1g et 1,9 g/kg de sodium et 1 à 1,2 g/kg du poids corporel de chlore ; A l'inverse du potassium, ces ions sont en majorités extracellulaires, où le plasma renferme 149mEq/l de Na et 103mEq/l pour le Cl (**Jean-Blain, 2002**). De plus, le taux de ces ions est plus élevé dans la peau qu'on peut considérer comme un dépôt de chlorure de sodium (**Kolb, 1975 ; Jean-Blain, 2002**). La localisation du chlore est semblable à celle du sodium, mais avec une proportion plus faible dans les os (**Stolkowski et Lefevre, 1980**).

Le Na et le Cl sont répartis entre les os liés aux cristaux d'hydroxyapatite (0.4%), les liquides biologiques (0.35%) et les muscles (0.07%). Il y a peu ou pas de Na dans le tissu adipeux et il n'existe pas de réserves en Na dans l'organisme animal si ce n'est le tube digestif (**Meziane, 2001**).

Enfin, notons que le sang est plus riche en sodium et en chlore qu'en n'importe quel autre composant minéral et le chlore des sécrétions gastriques (acide chlorhydrique) dérive du sang (**Matrat, 1976 ; Underwood et Suttle, 1999**).

2.1.3.2. 2. Le potassium

Le pourcentage de potassium dans l'organisme animal est entre 0.17 et 0.25% avec une moyenne de 0.22%, mais il varie selon l'espèce et l'âge. Cet élément est en entier intracellulaire, où on retrouve 150mEq/l dans le secteur intracellulaire et 3.5 à 5mEq/l dans le secteur extracellulaire. Dans la cellule, la répartition du K est hétérogène avec une concentration plus importante dans les mitochondries. Les muscles et le foie sont également les organes les plus riches en K, alors que l'os et les liquides biologiques (plasma, liquide interstitiel) sont les plus pauvres. Il n'existe pas sous forme de réserve (**Payne, 1983 ; Paragon, 1984 ; Madelaine, 1999 ; Meziane, 2001 ; Jean-Blain, 2002**).

Pour le sang, le potassium est lié d'une manière complexe aux albumines dans les hématies et au niveau sérique, 13 à 19% de ce cation lié aux protéines est non dialysable.

2.1.3.3. Rôles biologiques

2.1.3.3.1. Le sodium et le chlore

L'ion sodium est le cation principal des liquides extracellulaires et assure 90% des effets osmotiques dans ces liquides. De plus, il agit dans l'équilibre acido-basique et la transmission de l'influx nerveux. L'étroite relation entre le sodium et le chlore, fait de ce dernier l'anion du milieu extracellulaire (60% des anions de ce compartiment). Selon **Matrat (1976)**, l'importance physiologique du sel est illustrée par l'emploi du sérum physiologique, simple solution isotonique au plasma, contenant 9 g de chlorure de sodium par litre d'eau distillée, utilisée pour combattre les pertes d'eau (**Thionoane, 1982**).

En plus, le Na intervient dans l'excitabilité neuromusculaire, l'absorption des acides aminés et du glucose et dans de nombreux systèmes enzymatiques. Il entre aussi dans l'os comme un agent de cohésion. Alors que le Cl participe essentiellement dans la sécrétion gastrique par la formation de HCl, et l'activation de l'amylase intestinale (**Paragon, 1984 ; Meziane, 2001**).

2.1.3.3.2. Le potassium

Le potassium est le principal cation du secteur intracellulaire où il participe à un certain nombre de processus fondamentaux. Ainsi, il intervient dans les phénomènes électriques membranaires, l'excitabilité neuromusculaire et la contractilité des muscles lisses, squelettiques et cardiaques (**Pandiyan et al., 2005**).

Dans le métabolisme protidique, il agit comme cofacteur enzymatique pour de nombreuses réactions. Il participe également dans le maintien de l'équilibre acido-basique et la régulation de la pression osmotique (**Paragon, 1984 ; Madelaine, 1999 ; Jean-Blain, 2002**). La kaliémie chez la brebis est de 4.55 ± 0.35 mEq/l (**Haddad, 1981**).

2.2. Les oligo-éléments

Lorsque les éléments majeurs font partie des structures tissulaires, les oligo-éléments sont présents en petites quantités dans les tissus vivants et jouent essentiellement un rôle catalytique. Leur déficit provoque le blocage ou la diminution de l'efficacité de différentes voies métaboliques. Si les blocages sont importants, ils entraînent des signes cliniques nets, alors que les sub-carences se manifestent seulement par une chute de la productivité. Encore appelés

“éléments traces”, sont présents en quantités très faibles ou à l’état de trace; ils influent grandement sur la qualité osseuse, la production de globules rouges, l’immunité et la fertilité (Lamand, 1978).

2.2.1. Le cuivre

2.2.1.1. Métabolisme

2.2. 1.1.1. Absorption

La solubilisation du cuivre, comme celle des autres oligo-éléments (Mn, Fe, Zn) est favorisée par l’acidité gastrique. Le Cu est absorbé par voie active et saturable, au moyen de transporteurs membranaires et le site principal d’absorption est l’intestin grêle (Underwood et Suttle, 1999). Le cuivre alimentaire, une fois absorbé à partir de la muqueuse intestinale, est véhiculé au foie lié à l’albumine et à l’histidine, le mécanisme passif correspond au transport à travers la muqueuse alors que le mécanisme actif correspond au transport dans les fluides (Howell et Gawthorne, 1987).

Dans le cytosol des entérocytes (phase liquide où baignent les organites cytoplasmiques), le Cu se lie à des métallothionéines, qui ont une capacité de stockage et/ou de détoxification du Cu (Cymbaluk et Smart, 1993). Une fois absorbé, le cuivre est transporté vers le foie, majoritairement par les albumines, mais également par la transcupréine et les acides aminés libres, notamment l’histidine. Dans le foie, le Cu lié aux métallothionéines peut être stocké, incorporé à la céruloplasmine puis transporté vers d’autres organes, ou secrété dans l’intestin grêle via la bile (Bremner, 1987 ; Buckley, 2000). Chez la brebis, la cuprémie varie de 7 à 24 $\mu\text{mol/l}$ (Meziane, 2001).

2.2.1.1.2. Excrétion

Le Cu est éliminé par l’intestin, par la bile où 8 à 10 % du cuivre capté lié aux acides biliaires et à des acides aminés. La bile a une concentration en cuivre 20 fois supérieure à celle du plasma. L’excrétion du cuivre est en faible quantité par l’urine et par le lait. Le lait de vache contient 0.17 à 0.28 mg/l (Paragon, 1984).

2.2.1.2. Répartition

Le cuivre est réparti dans le squelette (40 à 46%), dans le muscle (23 à 26%), dans le foie (8 à 10%), dans le cerveau (9%), dans le sang (6%) et dans les autres organes internes (3%) (Linder, 1991 cité par Cromwell, 1997 ; Buckley, 2000).

2.2.1.3. Rôle biologique

Le Cu est impliqué dans de nombreuses autres fonctions puisqu'il est un constituant, entre autres, de l'élastine et du collagène qui sont également à base des tissus osseux et ligamentaires (Riffard, 1988), de la monoamine oxydase qui joue un rôle très important pendant la vie embryonnaire. Ainsi il protège les femelles contre les avortements (McDowell, 1992). La reproduction peut être altérée lors de carence en Cu où on peut remarquer:

- Des chaleurs silencieuses, discrètes ou retardées,
- Des taux de réussite en insémination artificielle faible, des résorptions fœtales, sont autant de signes d'appel peu spécifiques d'une carence en Cu primaire ou secondaire à un excès en Mo.

En cas d'infection, le Cu agirait également directement sur le maintien des fonctions immunitaires tant naturelles qu'acquises (Percival, 1998).

2.2.2. Le zinc

2.2. 2.1. Métabolisme

Il possède beaucoup d'analogie avec celui du cuivre.

2.2.2.1.1. Absorption

Le foie, qui contient moins de 5 % du zinc total, joue un rôle central dans le transfert et la distribution du zinc (Underwood, 1978a ; Vallee, 1983). Le site principal d'absorption du zinc semble être l'intestin grêle, principalement dans le duodénum et le jéjunum. La captation du zinc par la bordure en brosse de l'intestin s'effectue selon plusieurs processus dont l'implication dépend de la concentration du zinc dans le chyme intestinal (Cousins et McMahon, 2000). Lorsque celle-ci est faible, le zinc est capté par la bordure en brosse selon un processus actif, spécifique et saturable. A l'inverse, l'ors qu'elle est élevée, le zinc traverserait la paroi de l'intestin selon un processus passif, non spécifique et non saturable.

Le zinc libéré des composants alimentaires se lierait à un ou plusieurs types de ligands absorbables de faibles poids moléculaires tels que les peptides, acides aminés, nucléotides, phosphates et/ou acides organiques (Swinkels *et al.*, 1994 ; Cousins et McMahon, 2000 ; Krebs, 2000).

Une fois le zinc absorbé et capté par le foie, il se trouve lié à l'albumine qui est supposée représenter la source principale du zinc pour les tissus autres que le foie. Le zinc qui reste dans le foie peut être associé à la membrane des cellules hépatiques, à des métalloenzymes, être stocké au niveau des métallothioneines ou être excrété via la bile.

2.2. 2.1. 2. Excrétion

Le zinc est principalement excrété par voie fécale selon deux composantes: le zinc alimentaire non absorbé et le zinc endogène (Schryver *et al.*, 1980 ; Revy *et al.*, 2003). L'excrétion urinaire du zinc est normalement faible, elle augmente lors de néphropathies avec des troubles de la filtration glomérulaire.

2.2. 2.2. Répartition

Le zinc est présent dans toutes les structures de l'organisme mais, sa répartition dans les différents organes est variable; les tissus riches en protéines et en calcium comme le foie, les muscles et les os sont plus riches en zinc, de 100 à 250 µg /g de matière sèche (Miller *et al.*, 1991), mais aucun tissu ne semble le stocker avec une préférence marquée (Hambidge *et al.*, 1986).

En ce qui concerne les organes de la reproduction, la prostate du mouton est la plus riche en zinc (150 à 200 µg/g de matière sèche) et les testicules contiennent environ 150 µg de Zn/g de matière sèche; de plus, la laine des ovins est la structure la plus concentrée en zinc (Martin et White, 1992). Moins de 0,5 % de la quantité totale de zinc du corps se trouve dans le sang. Ainsi, dans des conditions physiologiques normales, la concentration plasmatique en zinc chez les ovins varie de 0,8 à 1,2 mg/L, soit 11 à 18 µmol/L (Lamand, 1986). On estime être en présence d'une carence lorsque la valeur de la zincémie est inférieure à 0,7 mg/L, soit 10 µmol/L.

2.2.2.3. Rôles biologiques

Il intervient dans de très nombreux systèmes enzymatiques mais tout particulièrement dans le métabolisme protéique ainsi que dans le métabolisme glucidique (Paragon, 1984). Le zinc joue un rôle dans l'expression des gènes, la stabilisation de la structure des protéines, la

réplication cellulaire, la stabilisation de la membrane et du cytosquelette et dans la structure des hormones (**Revy et al., 2003**).

Le zinc intervient dans plusieurs étapes de la synthèse protéique (**Paragon, 1984**) (métabolisme nucléaire ADN polymérase RNase), le zinc est un élément indispensable à la structure et/ou à la fonction du DNA et RNA qui paraissent être Zn- dépendant de la division cellulaire (**Graham, 1991 ; Jean-Blain, 2002**). Le zinc est également un constituant de l'anhydrase carbonique rénale et contribue, à ce titre, à l'équilibre acido-basique (**Jean-Blain, 2002**).

En fin, le tableau (8) représente un récapitulatif des besoins en éléments minéraux majeurs et mineurs chez les ruminants ainsi que leurs rôles et déficiences principalement rencontrés.

Tableau 8. Besoins en éléments minéraux majeurs et mineurs des ruminants et leurs rôles et déficiences* (NRC, 1980 ; Bell, 1997)

Nutriments	Besoins minimums	Rôles majeurs	Déficiences Conditions où la déficience peut se manifester
Calcium (%)	0,20 - 0,60	Formation des os et dents, coagulation du sang, contractions musculaires, réactions enzymatiques	Baisse de production laitière, rachitisme, ostéomalacie, ostéoporose. <i>Ration riche en concentrés et en graminées</i>
Magnésium (%)	0,10 - 0,2	Formation des os, réactions enzymatiques et nerveuses	Perte d'appétit, anorexie (Tétanie d'herbage). <i>Jeune pâturage au printemps, veau nourri de lait entier sur très longue période</i>
Phosphore (%)	0,15 - 0,40	Formation des os et dents, métabolisme énergétique, conversion de carotène en vitamine A	Baisse de production laitière, problèmes de reproduction, rachitisme, ostéomalacie, ostéoporose. <i>Haut taux de fer ou d'aluminium dans la ration, animaux nourris uniquement de foin mature</i>
Potassium (%)	0,6 - 0,7	Régulation de la pression osmotique, contractions musculaires, réactions enzymatiques	Perte d'appétit, croissance ralentie, maigreur. <i>Bovillons nourris uniquement de concentrés</i>
Sodium (%)	0,06 - 0,10	Régulation de la pression osmotique, contractions musculaires, système nerveux	Lèchent ou mâchent objets divers, manque d'appétit, baisse des performances. <i>Environnement très chaud et travail dur</i>
Manganèse (mg/kg)	20 – 40	Réactions enzymatiques	Retard de croissance, problèmes de reproduction. <i>Ration très riche en maïs additionnée d'azote non-protéique</i>
Cuivre (mg/kg)	10	Formation de l'hémoglobine, métabolisme du fer	Anémie, croissance réduite, diarrhée, problèmes cardiaque, squelettique et de reproduction. <i>Veaux nourris uniquement de lait entier sur une longue période; Pâturage riche en soufre et fer</i>
Zinc (mg/kg)	30	Métabolisme des protéines, système immunitaire, fertilité et système reproducteur	Corne molle, baisse de fertilité et du taux de conception. <i>Santé des pieds et onglons pâturages pauvres en zinc</i>

(*) Sur la base de MS de la ration.

Partie
Expérimentale

Chapitre 1. Matériels et méthodes

Le but de cette étude consiste à mettre en évidence d'éventuelles variations des teneurs en éléments minéraux au cours du cycle reproductif de la brebis. Toute fois, ces éléments se distinguent par un métabolisme particulier dans l'organisme. Le statut minéral de la brebis dépend de plusieurs paramètres parmi lesquels on peut citer : le végétal et le stade physiologique de l'animal. Pour pouvoir mettre en évidence ces influences nous avons mis en place le protocole expérimental suivant :

- **Les plantes fourragères** : nous avons choisi le terrain végétal de la ferme pilote «El-Baaraouia» qui est le plus représentatif de la région de Constantine et qui contient des végétations herbacées plus ou moins abondantes.
- **Les brebis** : le choix est porté sur des ovins de race «Ouled Djellal» dont leur ration est composée d'aliments provenant exclusivement des terres cultivées de la zone cible.

Pour pouvoir atteindre notre objectif, nous avons mis en place des investigations sur :

Les aliments et l'eau:

- Evaluation de la valeur nutritive de l'alimentation des brebis (protéines totales, glucides pariétaux, cellulose brute, matière grasse)
- Extraction des minéraux (Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Zn, Fe, Mn).

L'animal:

- Dosage des minéraux plasmatiques (Ca, P, Mg, Na, K, Cl, Cu, Zn).
- Extraction du Cu et du Zn de la laine.



1.1. Présentation de la région d'étude

1.1.1 Situation géographique et localisation

L'étude a été réalisée dans la région de Constantine où se trouve la commune d'El-Khroub qui est située au Sud-ouest du chef lieu la wilaya de Constantine, elle est limitrophe des communes suivantes :

- Au Nord-ouest : commune de Ain-Smara
- Au Nord : commune de Constantine
- Au Nord-est : commune de Ibn-Badis
- Au Sud : commune de Ouled Rahmoune

L'étude s'est déroulée dans la ferme pilote « El-Baaraouia » située au Sud de la wilaya de Constantine sur le territoire du Khroub à une altitude de 640m, une longitude Est de 36,25m et une latitude Nord de 6,67m. Elle couvre une superficie totale de 1106 ha (D.S.A Constantine, 2010).

1.1.2 Caractéristiques climatiques

La zone ciblée par l'investigation est située dans un étage bioclimatique semi-aride de type continental, caractérisée par des étés chauds et des hivers frais et pluvieux.

1.1.2.1 Température

La température est considérée comme l'un des facteurs climatiques les plus importants pour la végétation. Elle assure l'évapotranspiration, la croissance ainsi que le démarrage de la plante. Nous remarquons une grande variabilité des températures mensuelles moyennes durant l'année d'étude 2010. La lecture des données du tableau (9) fait ressortir une période de faible température (2,25°C) correspondant à l'hiver et une autre avec une température maximale correspondant à l'été (33,45 C°).

Tableau9. Répartition mensuelle des températures moyennes durant l'année 2010
(Station météorologique d'Ain-El-Bey de Constantine, 2010)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
T min (°C)	2.6	2.25	4.55	6.75	10.6	14.95	17.7	18.25	15.05	11.45	6.65	3.65
T max (°C)	11.75	13.05	15.6	18.85	24.45	28.08	33.4	33.45	28.05	23.4	17.45	12.8
T moy (°C)	6.93	7.42	9.9	12.63	17.35	21.73	25.45	25.58	21.5	17.01	11.63	8

1.1.2.2 Pluviométrie

La pluviométrie constitue un élément très important dans l'analyse du climat (**Etienne et Godard, 1970 cité par Boudbia, 2008**). A la lecture du tableau (10), les quantités d'eau annuelles sont élevées et que le maximum pluviométrique se situe en Janvier, les minima apparaissent en Juin, Juillet et Août. Les précipitations sont fréquentes dans cette région au relief assez marqué ; la moyenne annuelle est de 450 mm/an, la période de forte pluviométrie est située entre le mois de décembre et Avril.

Tableau10. Répartition mensuelle moyenne des précipitations 1984 - 2010
(ANRH de Constantine, 2010)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Quantité (mm)	74 ,5	55,7	59,8	50,2	41,8	19,3	4,7	9,4	45,5	38,9	54,8	96,2

Tableau 11. Répartition mensuelle moyenne des précipitations de l'année 2010
(ANRH de Constantine, 2010)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Quantité (mm)	94	43,8	57,8	85,2	72,9	16,5	8,4	19	33,6	69,8	69,8	40,5

1.1.2.3 Les vents

Les vents qui ont une influence directe sur l'humidité et la température, ils activent alors l'évapotranspiration des plantes. La ferme pilote est soumise à des vents dominants (tableau 12) en provenance du nord-est et du sud.

Tableau 12. Les vents (Station météorologique d'Ain-El-Bey de Constantine, 2010)

Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Vitesse (m /s)	3.4	2.6	2.5	3.1	2.7	2.6	2.8	3.4	3.3	2.4	3.1	3.4

1.1.2.4 Ressources hydriques

Du point de vue hydrologique, la zone d'étude fait partie du bassin hydrologique n°10 du Kebir Rhumel, drainé par un Oued principal, Oued Ourghat et plusieurs affluents moins important ; Il a été calculé par le ruissellement moyens varie entre 3 et 10% du volume global des précipitations, à l'occasion d'une averse, ce pourcentage peut atteindre 15% (Boudbia, 2008)

1.1.2.5 Sols

Le périmètre d'étude totalise une superficie agricole utile (S.A.U) de 990 ha soit 86% environ de la superficie totale. Les sols sont à prédominance argilo-limoneux pour 55% de la SAU et calcaire pour 45%. Les terrains incultes sont à forte potentialités agricoles caractérisés par une végétation naturelle dominée par des espèces fourragères variées (orge en vert, avoine fourragère, vesce avoine, luzerne) (D.S.A de Constantine, 2010).

1.1.3 Agriculture et production animale

Le tableau (13) nous renseigne sur l'effectif ovin dans la wilaya de Constantine. L'élevage dans cette wilaya est caractérisé par une diversité des espèces animales avec une prédominance ovine en expansion progressive. Ainsi, les ressources animales de la wilaya sont surtout représentées par les bovins (37 000 têtes dont 19 000 vaches laitières) et les ovins (175000 têtes dont 86 000 Brebis) (D.S.A Constantine, 2010).

Tableau 13. Effectif ovin dans la wilaya de Constantine (D.S.A de Constantine, 2010)

Compagne agricole	Brebis	Béliers	Antenaises	Antenais	Agneaux	Agnelles	total cheptel ovin
2008	77340	3906	14369	12932	13669	12824	135040
2009	78550	3892	16144	15074	14976	16024	144660
2010	86780	4745	21590	19530	20580	21045	174270

1.1.4. La ferme pilote «El-Baaraouia»

La station expérimentale est un domaine d'élevage qui été crée à l'époque de la colonisation constitue la ferme pilote actuelle. La gestion de l'exploitation fut confiée à l'INRA, juste après l'indépendance. En 1974 fut crée l'I.D.G.C, auquel fut rattachée cette ferme. Elle est située à 14 km au Sud-est de Constantine et à 2km au Nord-ouest d'El-Khroub. L'unité d'exploitation de la ferme est un ensemble homogène, bien articulé qui a pour mission la production de semence de céréales, des fourrages et l'amélioration de la production animale (Merikhi et Ghemara, 2009).

D'après les études menées par Rached-Mosbah (1977) et Hamra-Kroua et Cancela da Fonseca (2009) sur le sol de la ferme d'El-Baaraouia, ils ont noté que la nature du sol est calcaire avec présence d'éléments calciques, la nappe phréatique est calcarifère se trouvant à moins de 50 m de profondeur.

Cette ferme comprend 87 têtes de bovins, 859 têtes ovines. Le tableau (14) identifie l'effectif des ovins dans la ferme El-Baraouia. De plus, les disponibilités alimentaires de la station sont principalement les fourrages verts, occupés par une superficie de 72 ha, avec 12ha d'orge vert et 60 ha de vesce-avoine (Badaoui, 1999), d'où une récolte de 1463 qx de paille par an (5850 bottes).

Tableau 14. Effectif des ovins dans la ferme El-Baraouia

Ovins	Femelles	Ovins	Males
Brebis	279	Béliers	25
Antenaises	133	Agneaux	164
Antenais	134	Agnelles	148

1.2. Matériels et méthodes

1.2.1. Matériels

1.2.1.1. Les animaux

L'étude a été effectuée sur une période de 10 mois et a intéressé des brebis de la race locale «Ouled Djellal» des élevages appartenant à la ferme pilote El- Baaraouia dans la wilaya de Constantine.

Le lot expérimental est composé de vingt femelles âgées de 2 ans, d'un poids moyen de $(53,65 \pm 4,22)$ Kg. Des prélèvements de sang et de laine ont été effectués avant la mise à la reproduction. Auparavant, ces brebis ont été vermifugées et identifiées avec des boucles auriculaires. Un bélier a été relâché au sein des brebis, sachant qu'aucun traitement de synchronisation n'a été utilisé. Le non retour des chaleurs est confirmé, en présence d'un bélier porteur de tablier, deux fois par jour pendant 10 à 15 min et cela tout le long des deux mois qui ont suivi la lutte. Les femelles sont considérées gestantes si des signes d'œstrus n'étaient plus observés après deux périodes d'observations (19 à 23 et 40 à 44 jours après la lutte) comme reporté par **Ouedraogo et al. (2008)**. Et de ce fait, seules dix brebis gestantes ont été retenues pour l'étude et ont été suivies jusqu'à 1 mois après la mise bas. Les femelles étaient à priori gestantes et confirmées à postériori après mise-bas. A ce moment, une pesée hebdomadaire est effectuée sur leurs produits et cela jusqu'à 1 mois d'âge.

Les échantillons de sang sont effectués à la veine jugulaire dans des tubes Vacutainer à héparinate de lithium. Quant aux prélèvements de laine, ils ont été effectués à l'encolure comme le recommande **Afri-Mehennaoui et al. (2001)**, les échantillons de laine sont placés dans des boîtes stériles et numérotées.

1.2.1.2. L'alimentation et l'eau

Toutes les brebis recevaient la même ration composée principalement par des plantes fourragères issues de pâturages naturels avec une durée allant de 10h à 17h. Par ailleurs, elles avaient à leur disposition en bergerie du concentré, du foin et de l'eau *ad libitum*.

Dans le but de déterminer les apports en minéraux dans cette exploitation, une enquête a été menée auprès des bergers afin de déterminer les parcours les plus souvent utilisés, et aussi pour

prélever et identifier les espèces fourragères consommées par les brebis. Le complément alimentaire servit à l'auge est à base d'un aliment grossier (foin de vesce avoine) et de concentré (orge concassé (50%), son gros (49%) et du gros sel (1%)). Le tableau (15) présente la ration alimentaire offerte aux brebis.

Tableau 15. Ration alimentaire consommée par les brebis reproductrices

Aliment	quantité
Foin (kg/j/ tête) avec refus	1
Concentré (g/j/ tête)	200
Pâturage libre estimé (kg/j/tête)	3- 4

Pour les prélèvements des plantes, des blocs ont été établie à superficie égale selon une diagonale. Les espèces fourragères indiquées dans le tableau (16), identifiées et classées selon **Beniston (1984)**, ont été prélevées à différents endroits du pâturage et ce par l'intermédiaire d'un cadre métallique (1m x 1m) lancé à chaque reprise d'une manière au hasard pour couper l'herbe aux quatre angles et au centre de chaque bloc selon la méthode décrite par **Maach et al. (2000)**, ensuite les prélèvements sont mélangés pour obtenir un échantillon représentatif de chaque espèce. Ainsi 500 g de fourrages verts a été prélevé dans un sac en plastique (non ouvert au préalable) pour analyse. De plus un échantillon représentatif d'environ 100g de chacun des autres aliments servis dans les bergeries a été prélevé : il s'agit de concentrés et de bottes de fourrages secs (**Kamoun, 2008**).

Tableau 16. Identification des espèces fourragères prélevées dans les parcours de la ferme pilote

Famille	Espèce		
	Nom Latin	Nom commun	Nom Arabe
Asteracées ou Composées	<i>Anacyclus clavatus</i>	Anacycle en massue	Boumellel
	<i>Scolymus hispanicus</i>	Chardon d'Espagne ou Scolyme d'Espagne	Guarnina
	<i>Carduus pycnocephalus</i>	Chardon à tête dense	Bok
Brassicacées (Crucifères)	<i>Raphanus raphanistrum</i>	Ravanelle sauvage	El harfil
	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Capselle Bourse à pasteur	Berghouta, Kess errai
	<i>Sinapis arvensis</i>	Moutarde des champs	Khardel
Fabacées (Légumineuses)	<i>Trifolium stellatum</i>	Trèfle étoilé	Nefla
Papilionacées	<i>Melilotus infesta</i>	Mélilots	Haninia, kesseba
Malvacées (Légumineuses)	<i>Malva sylvestris</i>	Mauve sauvage	Khobayez
Poacées (Graminées)	<i>Hordeum murinum</i>	Orge des rats	Sboulet elfar
	<i>Bromus rigidis</i>	Brome rigide	Chaâr halouf
	<i>Avena- sterilis</i>	Folle avoine	Neffedha, Goussila-jeli

Les parcelles d'échantillonnage des plantes fourragères consommées par les brebis se trouvent sur une prairie non travaillée et non fertilisée. Dans cette région semi-aride, la végétation a un caractère essentiellement steppique (Ramdane, 2003). Elle se caractérise par l'importance des espèces vivaces, ligneuses et des graminées (Le Houerou, 1995). Les plantes du site expérimental sont composées essentiellement de *Trifolium stellatum* (Trèfle étoilé) associée à *Sinapis arvensis* (Moutarde des champs), *Hordeum murinum* (Orge des rats), *Scolymus hispanicus* (Chardon d'Espagne), *Avena sterilis* (Folle avoine) et de nombreuses autres plantes

annuelles décrite par Beniston (1984). Par ailleurs, Lemnouar-Haddadi (2001) et Hamra-Kroua et Cancela da Fonseca (2009) qui en travaillant sur ce même site expérimental, ont pu identifier entre autres ces espèces fourragères.

L'eau de source d'Ain El-Bey servant à l'abreuvement des animaux a fait l'objet d'analyses minérales. L'eau a été prélevée et conservée dans une bouteille en plastique stérile en additionnant de l'acide nitrique à 1‰ jusqu'à son analyse.

Tableau 17. Plan d'affouragement et conduite de l'élevage de la ferme

DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV
Foin, concentré			Pâturage vert, foin, concentré			Parcours, foin, concentré			Foin, concentré		
Saillie		Gestation					Allaitement				

1.2.2. Méthodes

Les prélèvements sanguins (un spécimen de 10 ml) sont réalisés par ponction au niveau de la veine jugulaire après aseptisation dans des tubes sous-vide vacutainer à héparinate de lithium en polyéthylène spécial pour oligo-éléments (Becton-Dickinson-England), le matin à 8 heures à partir de 2 mois avant la lutte et allant jusqu'à 1 mois après la mise bas ;

(J₋₆₀) : 2 mois avant la saillie (NG),

(J₄₅) : 1 mois et demi de gestation (DG),

(J₁₂₀) : 4 mois de gestation (FG),

(J₁₇₀) : 1 mois après la mise bas (AL), sachant que J₀ est le jour de la saillie.

Le sang recueilli a été transporté dans une glacière et centrifugé, au plus tard 3 heures après le prélèvement, à 3000 tours/min pendant 15 minutes. Deux aliquotes de plasma ont été

recueillies dans des cryotubes et conservées à -20°C jusqu'au moment des analyses dans un délai n'excédant pas deux mois.

* Les dosages plasmatiques ont porté sur les éléments minéraux majeurs (Ca, P, Mg, Na, K, Cl) et oligo-éléments (Cu, Zn) par :

- Le calcium, le phosphore et le magnésium ont été mesurés par les méthodes colorimétriques sur automate du CHU Constantine (ARCHITET® CI 8200).

- le sodium, le potassium et le chlore ont été déterminé en mesurant leur activité ionique à l'aide d'un Ionogramme au CHU Constantine (SYNCHRON® CX 5).

- le cuivre et le zinc ont été mesurés par spectrophotométrie à absorption atomique en utilisant un spectrophotomètre à flamme (SHIMADZU® AA 6800) au niveau du laboratoire d'Environnement, Santé et Productions Animales (E.S.P.A) de l'Université El Hadj Lakhder Batna.

*Dans la laine et l'eau, la composition minérale a été réalisée par la même technique de dosage utilisée pour les éléments traces plasmatiques.

*Dans les aliments, la composition chimique de la ration a été évaluée. La détermination des minéraux se fait selon la même technique de dosage utilisée pour les éléments traces plasmatiques sauf pour le phosphore qui est dosé par spectrophotométrie où nous utilisons les méthodes colorimétriques.

L'analyse chimique des aliments est réalisée aux laboratoires de Zootechnie et de Pédologie de l'Université El Hadj Lakhder et a porté sur la détermination :

- * De la matière sèche, la matière organique et les cendres.
- * Des protéines totales par la méthode de Kjeldahl.
- * Des glucides pariétaux par la méthode de Van Soest.
- * De la cellulose brute par la méthode de Weende.
- * De la matière grasse totale par la méthode de l'extrait éthéré ou extraction continue de Soxhlet.

1.2.2.1. Dosage plasmatiques

1.2.2.1.1. Calcium

Le calcium est dosé par la technique colorimétrique à Arsenazo III pour former un produit coloré bleu- pourpre. Le système contrôle la variation de l'absorbance à 650 nm.

- *Réaction chimique :*

Calcium + 2 Arsenazo III $\longrightarrow$ Complexe Ca-Arsenazo (couleur bleue-pourpre).

1.2.2.1.2. Phosphore

Le phosphore est dosé par la technique colorimétrique au molybdate ammoniacal dans une solution acide et produit un complexe phosphomolybdate coloré. Le système surveille le changement d'absorbance à 340 nm.

- *Réaction chimique :*

Phosphore + molybdate $\xrightarrow{H_2SO_4}$ Phospho-molybdate complex.

1.2.2.1.3. Magnésium

Le magnésium est dosé par la technique colorimétrique à Calmagite pour former un chromogène stable. Le système contrôle la variation de l'absorbance à 520 nm.

- *Réaction chimique :*

Calmagite + Mg^{++} $\longrightarrow$ Mg^{++} + complexe Calmagite.

1.2.2.1.4. Sodium

Le système SYNCHRON[®] CX 5 détermine la concentration de sodium en mesurant l'activité des ions sodium dans le plasma.

- *Réaction chimique :* Lorsque le mélange échantillon/tampon (tampon de référence électrolyte ISE) entre en contact avec l'électrode, les ions sodium subissent un échange ionique dans la couche externe hydratée de l'électrode en verre. Lors de cet échange ionique, un changement de tension (potentiel) s'effectue à la surface de l'électrode. Ce changement de potentiel est comparé à une électrode de référence du sodium, pour compenser un léger bruit de fond ou un changement de température par analyse de rejet en mode commun.

1.2.2.1.5. Potassium

Le système SYNCHRON[®] CX 5 détermine la concentration des ions potassium en mesurant l'activité de l'électrolyte dans le plasma.

- *Réaction chimique:* l'électrode de potassium consiste en une membrane de valinomycine. La structure physique de cette membrane est telle que les cavités échangeuses d'ions sont presque égales au diamètre de l'ion potassium lors de la formation du complexe, un changement de tension (potentiel) est comparé à une électrode de référence du sodium pour compenser un léger bruit de fond ou un changement de température par analyse par réjection en mode commun. Le potentiel suit l'équation de Nernst et permet de calculer la concentration de K dans le sérum : $E = \text{constante} + (\text{pente}) (\log [K^+])$.

1.2.2.1.6. Chlore

Le système détermine la concentration de chlorure en mesurant l'activité des ions calcium dans le plasma.

- *Réaction chimique:* l'électrode sélective d'ions chlorure est une électrode de type Ag/AgCl à deux phases. Un équilibre s'établit à la surface de l'électrode. Lorsque les ions chlorure sont introduits dans le système, l'équilibre obtenu est rompu lors du chargement de la concentration des ions Ag^+ à la surface de l'électrode. Ce changement produit une variation du potentiel de l'électrode qui est indirectement liée à l'activité du chlorure dans l'échantillon.

1.2.2.1.7. Cuivre et du zinc (Lamand, 1978a)

Le cuivre et le cuivre sont dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique sur une prise d'essai de 1 ml diluée au 1/5. Les protéines du plasma sont précipitées.

- Pour les échantillons de plasma :
 - Prélever 1 ml de plasma et ajouter lentement 0.5 ml d'acide chlorhydrique. Agiter, attendre 10 minutes.
 - Ajouter de même 0.5 ml d'acide trichloracétique. Agiter, attendre 10 minutes.
 - Ajouter 3 ml d'eau déminéralisée. Agiter.
 - Centrifuger à 4500 tour/minutes pendant 20 minutes.
 - prélever le surnageant dont on mesure l'absorption atomique.

- Pour les étalons cuivre et du zinc :

Dans 1 litre d'eau déminéralisée ont dissout une certaine quantité de telle façon à obtenir 1g :

-De cuivre à partir de sulfate de cuivre 5 fois hydraté ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

-De zinc à partir de chlorure de zinc (ZnCl_2).

Préparer les étalons 0.5, 1, 2, et 5 mg/l à partir d'une solution mère à 1000 ppm (1 g/l) celle du cuivre et du zinc, prélever pour le cuivre et le zinc 1 ml de chaque étalon et le traiter comme les plasmas sans attendre 10 minutes. Les courbes d'étalonnages du cuivre et du zinc dans le plasma sont représentées dans la figure (02) (à la fin du chapitre).

1.2.2.2. Extraction du cuivre et du zinc de la laine (Milhaud et Mehennaoui, 1988)

1.2.2.2.1. Prélèvement de la laine

Environ, 20 g de laine sont prélevés au niveau de l'encolure puis placés dans des boîtes en papier « Conson » et numérotées.

1.2.2.2.2. Lavage de la laine

La technique de lavage est une étape très importante, car elle doit éliminer les contaminations externes tout en respectant les métaux qui sont incorporés dans la kératine. Le lavage de la laine est effectué selon le procédé décrit par Mehennaoui (1985), la laine est trempée dans l'eau bouillante et laissée ainsi toute une nuit, pour que les matières fécales ou toutes autres souillures collées se détachent. On procède ensuite à un rinçage à l'eau déminéralisée et au besoin un brossage pour enlever toute particule macroscopique.

La laine est lavée avec un détergent non ionique le Triton X100 à 1 % puis rincée deux à trois fois avec de l'eau déminéralisée jusqu'à disparition complète de la mousse, et obtention d'une eau claire. On égoutte les échantillons par pressage et on les laisse sécher dans l'étuve. Une fois que les échantillons de laine sont secs, toutes les particules macroscopiques sont éliminées à l'aide d'une pince puis sont coupés en petits fragments de 1 cm environ. Chaque échantillon est placé dans une capsule en porcelaine.

1.2.2.2.3. Minéralisation

La calcination sèche adoptée est réalisée selon la méthode décrite par **Milhaud et Mehennaoui (1988)**. Environ 2g de laine bien séchée et coupée en petits morceaux sont placés dans une capsule en porcelaine. La calcination se fait par paliers successifs jusqu'à 450°C, dans le but d'éviter une inflammation brutale du prélèvement et qui provoquerait des pertes, après la pesée exacte pour chaque prélèvement, on allume le four à moufle (Heraeus®) à température réglable. On laisse les échantillons à l'intérieur pendant 1 heure à 100°C, 1 heure à 200°C, 1 heure à 300°C et 16 heures à 450°C. A la sortie des échantillons du four, il faut s'assurer qu'il a refroidi pour éviter un choc thermique qui risquerait de casser les capsules. Le résultat doit être des cendres blanches. Dans le cas contraire on doit refaire la calcination, en augmentant toujours la température par paliers successifs de la même façon précédente.

Une fois que les cendres sont bien blanches, on procède par une attaque à l'acide nitrique, 2ml d' HNO_3 5N pour faire dissoudre les cendres en chauffant légèrement. Le liquide obtenu est filtré sur du papier filtre sans cendre dans une fiole de 50ml, puis avec de l'eau déminéralisée, on rince bien la capsule et on ajuste la fiole à son volume final et ainsi l'échantillon est prêt pour le dosage du cuivre et du zinc.

1.2.2.2.4. Préparation des solutions étalons

Les solutions mères sont à 1000 ppm (1 g/l). Dans 1 litre d'eau déminéralisée on dissout une certaine quantité de telle façon à obtenir 1 gramme :

- De cuivre à partir de sulfate de cuivre 5 fois hydraté ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).
- De zinc à partir de chlorure de zinc (ZnCl_2).

Une petite quantité d'acide nitrique 5 normale (HNO_3 5N) est ajoutée dans les solutions préparées pour la gamme d'étalonnage, afin d'être dans les mêmes conditions que les solutions inconnues à doser.

Les solutions intermédiaires nécessaires sont préparées extemporanément : elles sont préparées à partir des solutions mères en effectuant des dilutions successives au moyen d'eau déminéralisée.

Les concentrations choisies pour les deux éléments cuivre et zinc sont les suivantes :

- Pour le cuivre : 0.1, 0.5, 1, 2 mg/l.
- Pour le zinc : 0.5, 1, 5 mg/l.

Les courbes d'étalonnages du cuivre et du zinc dans la laine sont représentées dans la figure (03).

1.2.2.3. Analyse de l'aliment

Il est nécessaire de réaliser durant chaque série d'analyses au moins trois répétitions de chaque type d'aliments pour la précision des résultats.

1.2.2.3.1. Détermination de la teneur en matière sèche (%MS) (Shen, 2005)

La teneur en matière sèche d'un échantillon, consiste à le sécher dans une étuve dont la température est généralement comprise entre 60 et 80°C et jusqu'à un poids constant (AOAC, 1996; 1995 ; 1999). L'échantillon est ainsi placé dans des plateaux identifiés et préalablement tarés pour être pesé et séché à l'étuve jusqu'à poids constant. Les plateaux contenant l'échantillon sec seront pesés après quelques minutes de refroidissement (dessiccateur). La teneur en matière sèche de l'échantillon est calculée comme suit :

$$\%MS = (P_2 - P_0) / (P_1 - P_2) \times 100$$

P₀ : poids du plateau vide (g)

P₁ : poids du plateau avec la matière fraîche (g)

P₂ : poids du plateau avec la matière sèche (g).

1.2.2.3.2. Mouture des échantillons

L'échantillon est finement broyé au moyen d'un micro broyeur (Culatti®) muni d'un tamis 1mm (AOAC, 1990), puis l'échantillon doit être conserver dans des flacons en plastiques étiquetés, clos et mis dans un endroit loin de l'humidité et de la lumière permettant une bonne conservation de l'échantillon en attente des analyses ultérieures.

1.2.2.3.3. Détermination de la teneur en matière sèche analytique (%MS_a)

Un échantillon séché dans une étuve à température inférieure à 105°C ou par lyophilisation ne peut être jamais dépourvu totalement d'eau. Cette teneur en eau, qui est généralement de quelques pourcentages (enivrent 5%), peut être affectée dans le temps par l'humidité de l'air ambiante (particulièrement au moment du stockage) (Kamoun, 2008).

Le principe consiste à éliminer cette fine quantité d'eau par séchage à l'étuve à 105°C durant 12 à 24 heures (AOAC, 1990). Le mode opératoire consiste à utiliser des creusets en porcelaines identifiées préalablement tarés après séchages à 105°C et refroidissement dans un dessiccateur dans lesquels une prise d'essai de l'échantillon est pesée avec précision.

La teneur en matière sèche analytique de l'échantillon est ainsi calculée comme suit :

$$\%MS_a = (P_2 - C_v) / (P_1 - C_v) \times 100$$

P₁ : poids du creuset avant séchage (g)

P₂ : poids du creuset après séchage (g)

C_v : poids du creuset vide (g)

1.2.2.3.4. Détermination des teneurs en cendres totales et en matière organique (AOAC, 1999)

La matière sèche d'un échantillon quelconque est constituée d'une première fraction renfermant tous les constituants organiques (hydrates de carbones, lipides, matières azotés et vitamines) et d'une seconde fraction inorganique renfermant les minéraux. Cette dernière fraction représente la quantité de cendres totales (CT) que peut contenir l'échantillon analysé. Sa teneur est obtenue après calcination à 550°C dans un four à moufle d'une prise d'essai de l'échantillon jusqu'à l'obtention de cendres blanches ou grises. L'incinération dure pratiquement 16 heures (tout une nuit). Après calcination, les creusets seront refroidis dans un dessiccateur pour être enfin pesés avec précision avec leurs résidus.

La teneur en cendres totales de l'échantillon est ainsi calculée comme suit :

$$\%CT = ((P_2 - C_v) / (P_1 - C_v)) \times MS_a \times 100$$

P₁ : poids du creuset avant calcination (g)

P₂ : poids du creuset après calcination (g)

C_v : poids du creuset vide (g)

MS_a : %MS_a / 100.

La teneur en matière organique (MO) sera : **%MO = 100 - %CT**

1.2.2.3.5. Détermination des teneurs en cendres insolubles

Elle permet tout simplement d'évaluer le degré de contamination de l'échantillon à analyser par de la terre (particulièrement les fourrages) ou même de détecter quelques cas de falsification des aliments par d'autres produits (notamment les aliments concentrés) (**Kamoun, 2008**). Cette fraction de cendres s'obtient par dosage dans l'acide chlorhydrique une fois normale 1N. Le principe consiste à mettre en solution le résidu de calcination obtenu pour déterminer la teneur en cendres totales et isoler la fraction insoluble dans l'HCL.

Le mode opératoire

- Ajouter dans le creuset en porcelaine contenant les cendres totales (après calcination et pesée) quelques ml d'HCL 1N pour les transvaser dans un bécher tout en rinçant à plusieurs reprises le creuset par cette solution (à utiliser de l'ordre de 75 ml en tout)
- Mettre en ébullition le contenu du bécher durant 2 minutes dans un bain de sable
- Filtrer sur un creuset filtrant préalablement taré
- Rincer à trois reprises avec de l'eau distillée préchauffée de préférence
- Calciner le creuset contenant le filtrat dans le four à moufle durant 3 heures et à 550°C
- Peser le creuset calciné après refroidissement dans un dessiccateur.

La teneur en cendres insolubles de l'échantillon est ainsi calculée comme suit :

$$\%CI = (P - T) / (P_1 - C_v) \times MS_a \times 100$$

P : poids du creuset filtrant après calcination (g)

P₁ : poids du creuset en porcelaine avant calcination (g)

C_v : poids du creuset en porcelaine vide (g)

T : poids du creuset filtrant vide (g)

MS_a : %MS_a / 100.

1.2.2.3.6. Dosage des matières azotées totales par méthode de Kjeldahl

La méthode de Kjeldahl comporte trois étapes principales successives (AOAC, 1999 ; 1995; 1999) :

- L'azote organique que contient l'échantillon est transformé en un azote minéral en présence d'un acide concentré: c'est *la minéralisation*
- L'azote minéral formé est déplacé en présence de la soude et par entraînement à la vapeur puis recueilli quantitativement dans une solution standard de réception : c'est *la distillation*
- L'azote ainsi recueilli est titré par un acide ayant une normalité connue: c'est *la titration*.

Réactifs

- H_2SO_4 concentré (95%)
- NaOH à 40%
- HCl 0,1N
- Catalyseur (80g de sulfate de potassium +20g sulfate de cuivre + 2g de sélénium)
- Solution de réception (par litre de solution) : dissoudre 40 g d'acide borique dans un peu d'eau distillée puis ajouter 10ml d'une solution de colorant RB (200mg de bleu de méthylène et 100mg de rouge de méthyle dans 100 ml d'alcool à 95°), le tout est porté à 1000ml.

Mode opératoire

Minéralisation

- Peser avec précision de l'ordre de 500mg d'échantillon (après homogénéisation) sur papier joseph (papier fabriqué sans azote) plié en papillote et introduit dans les matras et ajouter le catalyseur.
- Ajouter très lentement et en agitant 20ml de H_2SO_4 concentré. Cette opération doit être absolument effectuée avec précaution : travailler sous hotte, à ne pas orienter le tube ou la fiole au moment de l'ajout de l'acide vers la direction du visage et porter des gants, des lunettes et un tablier de protection.
- Mettre sur rampe de minéralisation chauffée à 420 - 450°C. Démarrer le système d'aspiration des vapeurs. Généralement, le démarrage de la minéralisation s'accompagne d'une formation de mousses qui peuvent parfois déborder le matras. Pour éviter des pertes, il est conseillé de retirer le support des tubes pour les laisser se refroidir 5 à 10 minutes puis les remettre de nouveau.
- Arrêter la rampe minéralisation lorsque la solution devienne limpide (vert pâle) et laisser refroidir environ 15 à 20 minutes (ne pas arrêter immédiatement l'aspirateur des vapeurs).

- Ajouter lentement et en agitant 150 ml d'eau distillée (en cas de formation d'un précipité, il faut agiter vivement le matras pour le dissoudre) (Le Coq, 1965).

Distillation et titration

- Mettre dans un erlen 50 ml de solution de réception. Placer l'erlen au-dessous de l'unité de distillation. Placer la fiole sur l'unité de distillation tout en fixant convenablement le bouchon puis transvaser 70 ml de soude (il est conseillé parfois de mettre quelques pièces de pierres penses pour éviter l'éclatement des fioles au moment de l'ébullition). Mettre en marche la distillation jusqu'à l'obtention de 200 ml de solution verdâtre dans l'erlen (ne pas oublier de mettre en marche le system de réfrigération)
- Titrer le contenu de l'erlen avec une solution de HCl à 0,1N jusqu'au virage de la couleur du vert au gris sale.

D'autre part, il est absolument nécessaire de réaliser durant chaque série d'analyses des blancs afin d'éviter l'effet éventuel de toute sorte d'impuretés pouvant exister notamment dans les réactifs sur les résultats ultérieurs. Ces analyses blanches consistent à suivre les différentes étapes de la méthode, mais en l'absence de l'échantillon à analyser.

La teneur en azote ou en MAT de l'échantillon est ainsi calculée comme suit :

$$\%N = (((V - V_0) \times N \times 14,01) / PE \times MS_a) \times 100$$

$$\%MAT = \%N \times 6,25$$

V : nombre de ml d'HCl utilisé pour la titration de l'échantillon

V₀ : nombre moyen de ml d'HCl utilisé pour la titration des blancs

N : normalité de l'HCl utilisé

14,01 : facteur d'équivalence, 1 ml d'HCl 1N titre 14,01 mg d'azote

PE : prise d'essai (mg)

MS_a: % MS_a / 100.

1.2.2.3.7. Dosage de la cellulose brute par la méthode de Weende

L'échantillon conditionné est hydrolyse successivement par une solution acide diluée (H_2SO_4 : 0,26 N) et ensuite par une solution alcaline diluée (KOH: 0.23N). Ceux-ci supposent alors que la cellulose brute représente une fraction indéterminée de cellulose, d'hémicellulose et de lignine (AOAC, 1990 ; 1995).

Réactifs

- Solution H_2SO_4 : 0,26 N (13,28 g de H_2SO_4 concentré dans un litre de solution)
- Solution KOH : 0.23 N (13 g de KOH dans un litre de solution)
- Acétone

Appareillage :

- Analyseur semi-automatique (type Fibertec)
- Creusets filtrants

Mode opératoire :

- Peser avec précision de l'ordre de 1 g d'échantillon (séché et broyé à 1 mm) dans un creuset filtrant
- Préchauffer les réactifs sur une plaque chauffante
- Placer les creusets sur la plaque de l'appareil
- Verser 150 ml de la solution H_2SO_4 à 0,26 N
- Allumer la résistance électrique et laisser bouillir durant 30 minutes
- Arrêter le chauffage et rincer à trois reprises chaque creuset avec l'eau distillée chaude (il faut absolument récupérer toutes les particules de l'échantillon dans le creuset
- Remettre de nouveau et verser 150 ml de la solution KOH à 0.23 N
- Laisser bouillir durant 30 minutes
- Arrêter le chauffage, rincer à trois reprises chaque creuset avec l'eau distillée chaude
- Rincer abondamment avec l'acétone et récupérer toutes les particules résiduelles dans les creusets

- Arrêter l'eau des réfrigérants et faire sortir les creusets
- Sécher les creusets dans une étuve à 105°C durant une nuit puis les peser après refroidissement au dessiccateur
- Calciner les creusets dans un four à moufle (à 450°C et durant 3 heures afin d'en déterminer les cendres) puis les peser après refroidissement au dessiccateur

La teneur en cellulose brute est ainsi calculée comme suit :

$$\% \text{ CB} = ((P_1 - P_2) / PE \times MS_a) \times 100$$

P_1 : poids du creuset après séchage à 105°C (g)

P_2 : poids du creuset après calcination (g)

PE : prise d'essai (g).

MS_a : $\%MS_a / 100$.

1.2.2.3.8. Dosage des parois cellulaires par la méthode de Van Soest (Van Soest *et al.*, 1991)

Etant donné les limites de cellulose brute, de nombreux chercheurs ont tenté de mettre aux points des méthodes de dosages par fractionnements des différents constituants de la paroi végétale. Signalons, en particulier, les travaux des chercheurs français (Jarrige *et al.*, 1982) et américains (Van Soest *et al.* 1991), l'émergence de cette méthode est attribuée à son utilisation judicieuse de solution détergents qui évite certaines extractions préalables et à ses possibilités de semi-automatisation.

Cette technique gravimétrique repose sur l'extraction des constituants solubles de parois cellulaires dans des solutions détergents soit neutre (pour NDF) soit acide (pour ADF) et la pesée du résidu après séchage.

- Les fibres neutres correspondent au résidu insoluble contenant la cellulose, hémicellulose et la lignine ou résidu des parois cellulaires (PC).
- Les fibres acides correspondent au résidu insoluble contenant la cellulose et la lignine ou lignocellulose (LC).
- La lignine est obtenue par attaque à l'acide sulfurique à 72% du résidu ADF et la pesée du résidu sec (ADL).

- Les résidus secs sont incinérés à 550 °C et les résultats exprimés par rapport à la matière sèche.

1.2.2.3.8.1. Préparation des détergents

*** Neutral Détergent Fiber (NDF)**

Pour 1L de solution NDF, il nous faut:

- 18,61g de EDTA (di-sodium éthylène diamine tétra-acétate) ($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 10H_2O$)
- 6,81 g de di-sodium tétra-borate ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)
- 30 g de sodium lauryl sulfate ($C_{12}H_{25}OSO_3Na$)
- 10 ml d'éther monoéthylique ($C_4H_{10}O_2$)
- 4,56 g de di-sodium hydrogène-phosphate anhydre (Na_2HPO_4)

Mettre l'EDTA et le di-sodium tétra-borate dans un bécher, ajouter une certaine quantité d'eau distillée et chauffez jusqu'à dissolution, après ajouter le sodium lauryl sulfate, d'éther monoéthylique et le di-sodium hydrogène-phosphate anhydre. Porter jusqu'au trait (1000 ml) avec l'eau distillée chaude puis agiter vivement.

*** Acid Détergent Fiber (ADF)**

Pour 1L de solution ADF, il nous faut:

- 20 g de CTAB (Bromure de Cétyle Tri-méthyl Ammonium : $C_{19}H_{42}BrN$)
- 30ml de H_2SO_4 concentré

Dans un bécher d'1 litre, mettre le CTAB sur un agitateur magnétique pour assurer l'homogénéiser du mélange, puis ajouter l'acide sulfurique pur (l'ajout doit être fait délicatement dans le bécher préalablement mis dans un évier d'eau froide).

*** Acid Détergent Lignin (ADL)**

On traite le résidu ADF avec l' H_2SO_4 à 72%.

Appareillage :

- Analyseur semi-automatique (type Fibertec)

- Creusets filtrants

Mode opératoire

- Peser avec précision de l'ordre de 1 g d'échantillon (séché et broyé à 1 mm) dans un creuset filtrant
- Procéder de la même façon décrite au cours de la méthode de Weende sauf que la quantité de la solution NDF est de 200 ml et que la durée d'attaque est d'une heure.
- Récupérer les creusets de NDF après leur séchage dans l'étuve à 105°C, leur pesée et les remettre dans le bécher du Fibertec contenant 200 ml de la solution ADF
- Après une heure d'extraction, laver les filtres contenant le résidu ADF avec de l'eau distillée en suite l'acétone.
- Séchage et pesée puis récupération du résidu ADF pour l'attaque à l'acide sulfurique pour l'extraction du résidu ADL
- Une fois filtré et rincé à l'eau chaude puis à l'acétone, le résidu récupéré subit alors une attaque par l'acide sulfurique à 72 % et ce durant 3 heures à température ambiante. L'acide est mis directement dans les creusets tout en agitant fréquemment avec des baguettes en verre (les creusets mis dans un récipient en verre doivent être à 3/4 remplis d'acide).
- Après cette opération, le résidu doit être de nouveau filtré puis rincé à l'eau chaude. Le creuset est séché à l'étuve à 105°C pendant 12 heures, pesé et enfin calciné à 450°C pendant 3 heures. (Goering et Van Soest, 1970 ; AOAC, 1990).

Expression des résultats

La teneur en NDF est ainsi calculée comme suit :

$$\% \text{ NDF} = ((P1-P2) / PE \times MS_a) \times 100$$

P₁ : poids du creuset après séchage à 105°C (g)

P₂ : poids du creuset après calcination (g)

PE : prise d'essai (g)

MS_a : %MS a /100.

La teneur en ADF est ainsi calculée comme suit :

$$\% \text{ ADF} = ((P1-P2)/ PE \times MS_a) \times 100$$

P₁: poids du creuset après séchage à 105°C (g)

P₂ : poids du creuset après calcination (g)

PE : prise d'essai (g).

MS_a: %MS_a/100.

$$\% \text{ Hémicelluloses} = \% \text{ NDF} - \% \text{ ADF}$$

La teneur en ADL est ainsi calculée comme suit :

$$\% \text{ ADL} = \% \text{ Lignine} = ((P1-P2)/ PE \times MS_a) \times 100$$

P₁ : poids du creuset après séchage à 105°C (g)

P₂ : poids du creuset après calcination (g)

PE : prise d'essai (g).

MS_a : %MS_a/100.

$$\% \text{ Cellulose} = \% \text{ ADF} - \% \text{ ADL}$$

1.2.2.3.9. Extraction continue de Soxhlet à l'éther ou extrait étheré (EE)

Ce dosage consiste à réaliser une extraction continue à l'aide d'un appareil appelé Soxhlet en utilisant l'éther di-éthylique comme solvant (AOAC, 1990).

Réactifs : éther di-éthylique ou éther de pétrole.

Appareillage

- Appareil de Soxhlet composé d'un ballon récepteur à col rodé et d'un réfrigérant à reflux permettant de condenser le solvant évaporé avant de tomber dans un extracteur qui est muni d'un système de siphonage permettant de transvaser l'éther dans le ballon. Cet extracteur doit héberger une cartouche en carton poreux dans laquelle est déposée la matière à extraire

- Plaques chauffantes adaptées aux ballons récepteurs

Mode opératoire

- Peser avec précision de 2 g d'échantillon séché et broyé à 1 mm dans une cartouche propre
- Mettre la cartouche avec son contenu dans l'extracteur (le bord supérieur doit être au-dessus du niveau du siphon)
- Introduire 160 ml d'éther di-éthylique dans le ballon à col rodé préalablement taré
- Installer l'extracteur sur le ballon et mettre le tout au dessous du réfrigérant
- Faire circuler l'eau dans les réfrigérants et allumer les plaques. Il faut noter qu'il est absolument nécessaire que l'appareil de Soxhlet soit bien protégé sous une hotte qui doit être loin de toute source de feu. L'éther est un solvant très volatil est rapidement inflammable.
- Arrêter l'ébullition quant le niveau de l'éther condensé dans l'extracteur est un peu au-dessous du niveau de siphon, retirer la cartouche soigneusement sans perdre les particules de l'échantillon et vider l'éther que contient l'extracteur. La durée d'extraction est de 8 h
- Remettre le tout en ébullition mais sans la cartouche pour recueillir le maximum d'éther dans l'extracteur. Il faut rapidement retirer le ballon muni de l'extracteur avant qu'il soit sec (avec un peu d'éther à l'intérieur) et ceci pour éviter non seulement les risques d'explosion, mais aussi les projections de l'éther dans le ballon et par conséquent la carbonisation de la matière grasse
- Sécher le ballon contenant l'extrait et le peu d'éther dans l'étuve 105°C durant une nuit (laisser la porte de l'étuve légèrement ouverte durant les 15 premières minutes)
- Peser le ballon après refroidissement (le refroidissement peut être fait à l'aire ambiante sauf que le ballon doit être muni de son bouchon).

Le pourcentage d'extrait étheré est ainsi obtenu comme suit :

$$\%MG = ((P_2 - P_1) / PE \times MS_a) \times 100$$

P₁ : poids du ballon vide (g)

P₂ : poids du ballon après séchage à l'étuve 105°C (g)

PE : prise d'essai (g).

MS_a : %MS_a/100.

1.2.2.3.10. Extraction des minéraux dans l'aliment (Elmer, 1994)

L'extraction se réalise grâce à une "digestion humide". C'est une procédure qui permet l'extraction de la majorité des éléments minéraux sauf le phosphore.

Matériels :

- Béchers
- Creusets en porcelaine
- Balance de précision
- Four à moufle à 450°C
- Etuve à 110°C
- plaque chauffante
- Papier filtre
- Fioles de 50 ml, 100 ml, 1000 ml
- spectrophotomètre

Mode opératoire

L'extraction est basée sur les propriétés oxydantes des acides : nitrique (HNO_3) et perchlorique (HClO_4) :

- Environ 1 g de matière sèche du matériel végétal est placé dans un bécher.
- 10ml d'acide nitrique pur sont additionnés.
- Couvrir le bécher par un verre de montre et laisser toute une nuit à une température ambiante, dans un deuxième temps le bécher est placé sur un bain de sable et chauffé jusqu'à cessation de la production des fumées rouge orange de NO_2 .
- Laisser refroidir un petit moment.
- Ajouter 3 ml d'acide perchlorique à 70% puis chauffer sur un bain de sable jusqu'à la réduction des 2/3 du volume initial.
- Laisser refroidir puis l'échantillon minéralisé est filtré dans une fiole de 50 ml laquelle est ajustée à son volume final. Ainsi l'échantillon est prêt pour le dosage (cuivre et zinc).

Le dosage a été réalisé par spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'un brûleur à flamme (SHIMADZU® AA 6800).

1.2.2.3.10.1 Dosage du phosphore

Il se fait après incinération, attaque par l'acide nitrique de l'échantillon et son traitement avec le réactif nitro-vanado-molybdate qui forme avec lui un complexe coloré dont l'absorbance est mesurée par spectrophotométrie à 430 nm.

Réactifs

- Acide nitrique concentré HNO_3 à 1N
- Solution de vanadate d'ammonium (NH_4VO_3) : 2.5 g de vanadate d'ammonium dans 500 ml d'eau distillée bouillie, laisser refroidir et ajouter 20 ml d'acide nitrique concentré puis compléter avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge 1000 ml.
- Solution de molybdate d'ammonium $[(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$: Nous dissolvons 50 g de molybdate d'ammonium dans 500 ml d'eau distillée chauffée, transférer le contenu dans une fiole de 1000 ml et compléter avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- Solution nitro-vanado-molybdate obtenue après mélange des deux solutions précédentes.
- Solution mère de phosphore 1 g/l : dissoudre 4.3942 g de phosphate monobasique de potassium (KH_2PO_4 ; PM = 136,09) dans un litre d'eau distillée. A partir de cette solution mère nous préparons une série de dilutions standards : 0, 5, 15, 25 et 35 ppm.

Mode opératoire

On pèse avec précision 1 g de chaque échantillon avec une répétition pour chacun dans des creusets en porcelaine et on met dans l'étuve à 110°C pendant 24 heures puis les calciner dans un four à moufle à 550°C durant 6 à 7 heures pendant 2 heures. Après refroidissement, ajouter dans chacun d'eux 10 ml d'acide nitrique (1N), les transférer dans des béchers et faire bouillir sur la plaque chauffante pendant 30 minutes. Laisser refroidir, on filtre dans des fioles de 50 ml puis on porte jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée et nous conserverons les extraits au réfrigérateur jusqu'au moment des analyses.

De l'autre côté, on prend 5 ml de chaque solution standard de phosphore et mettre dans des fioles de 50 ml, nous ajoutons dans chaque fiole 10 ml du réactif nitro-vanado-molybdate sauf le blanc (0) et on complète le volume avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Pour les échantillons à analyser, on met 5 ml de chaque extrait dans des fioles de 50 ml, en ajoutant aussi 10 ml du réactif nitro-vanado-molybdate et le reste du volume avec de l'eau distillée, laisser reposer jusqu'à une heure et mesurer les absorbances.

La concentration en phosphore est ainsi calculée comme suit :

$$[\text{CP}] = (\text{C} \times \text{FD} \times \text{VD}) / \text{PE}$$

C : concentration en phosphore lue au spectrophotomètre = absorbance/pente

FD : facteur de dilution

VD: volume de dilution

PE : prise d'essai (g)

[CP] : la concentration en phosphore calculée (g/Kg de MS).

*** Préparation des solutions étalons**

Pour le dosage des éléments minéraux dans l'aliment, les mêmes étapes suivies pour la préparation des solutions mères et filles pour la laine seulement avec les étalons de :

Calcium: 1, 2, 5, 10 mg /l.

Phosphore: 5, 15, 25, 35 mg /l.

Magnesium: 0.5, 1, 2, 5 mg /l.

Sodium: 1, 2, 5, 10 mg /l.

Potassium: 2, 4, 8 mg /l.

Cuivre : 0.1, 0.2, 0.5 mg /l.

Zinc : 0.1, 0.5, 1 mg /l.

Fer : 1, 2, 5, 10 mg /l.

Manganèse : 0,5, 1, 2 mg /l.

Les courbes d'étalonnages du cuivre et du zinc dans le plasma et la laine sont représentées dans les figures (02) et (03). Pour l'aliment, les droites d'étalonnages des éléments minéraux majeurs et mineurs sont illustrées dans les figures(04) et (05).

La spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme a montré une sensibilité satisfaisante pour tous les éléments minéraux dosés. La réponse est linéaire dans la gamme de concentrations choisies. Cette linéarité est une condition essentielle pour obtenir des résultats corrects.

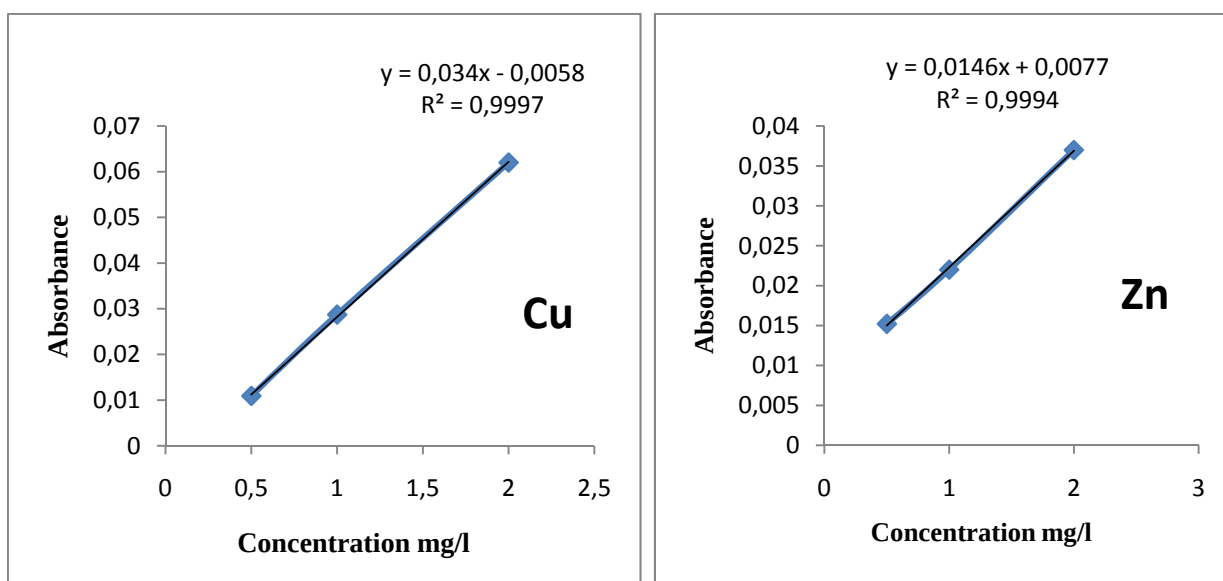


Figure 2. Droites d'étalonnage du Cuivre (Cu), Zinc (Zn) du plasma. Les droites d'étalonnage montrent une relation linéaire et proportionnelle entre les concentrations choisies et leurs absorbances respectives.

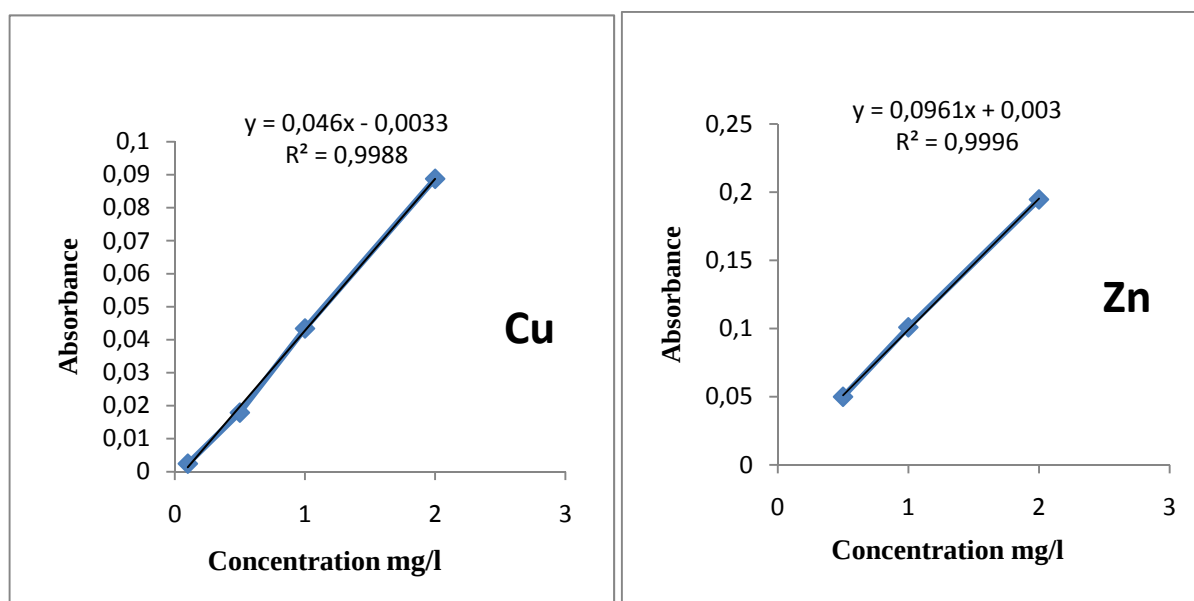


Figure 3. Droites d'étalonnage du Cuivre (Cu), Zinc (Zn) de laine. Les droites d'étalonnage montrent une relation linéaire et proportionnelle entre les concentrations choisies et leurs absorbances respectives.

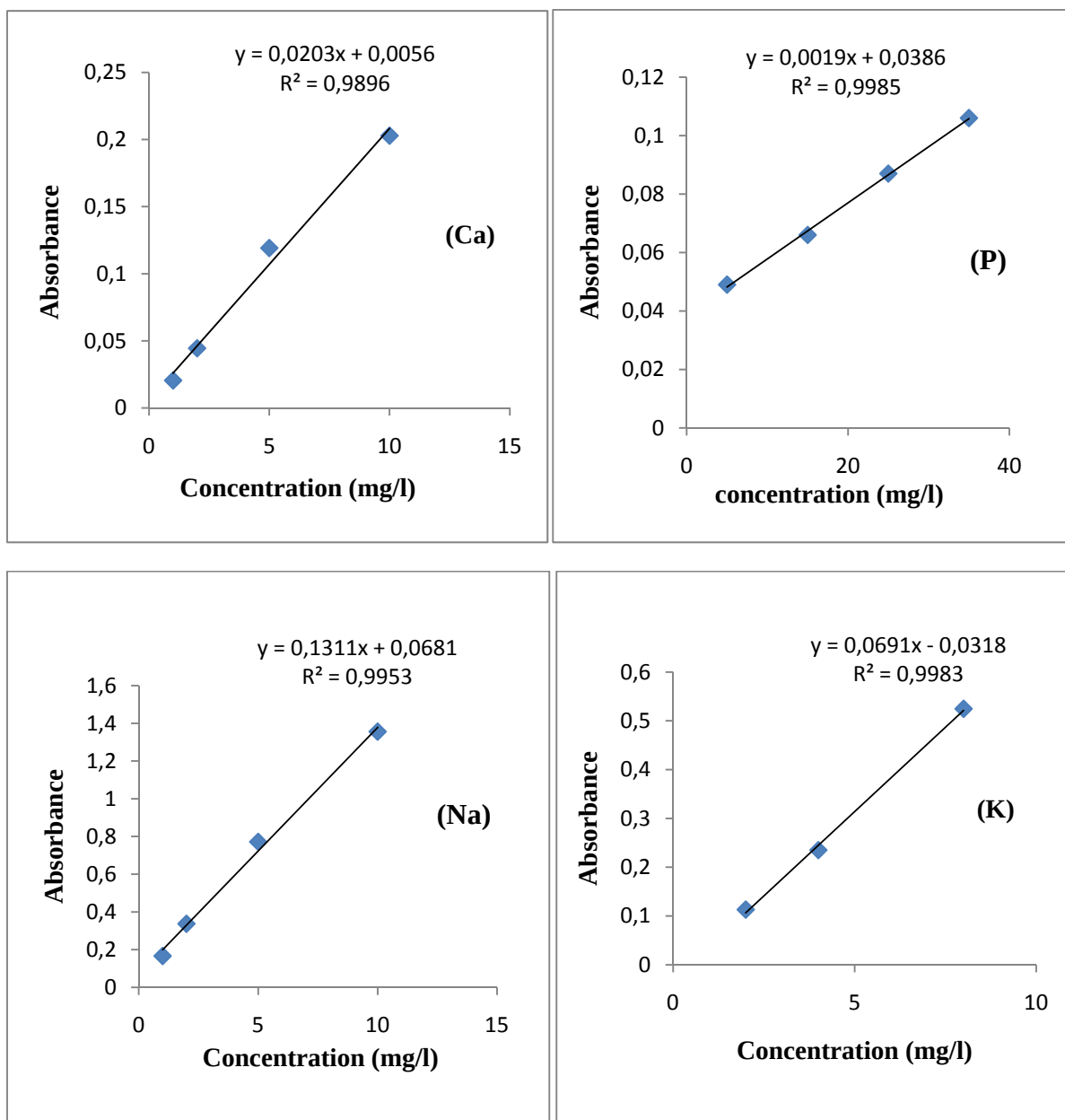


Figure 4. Droites d'étalonnage du Calcium (Ca), Phosphore (P), Sodium (Na), Potassium (K) de l'aliment. Les droites d'étalonnage montrent une relation linéaire et proportionnelle entre les concentrations choisies et leurs absorbances respectives.

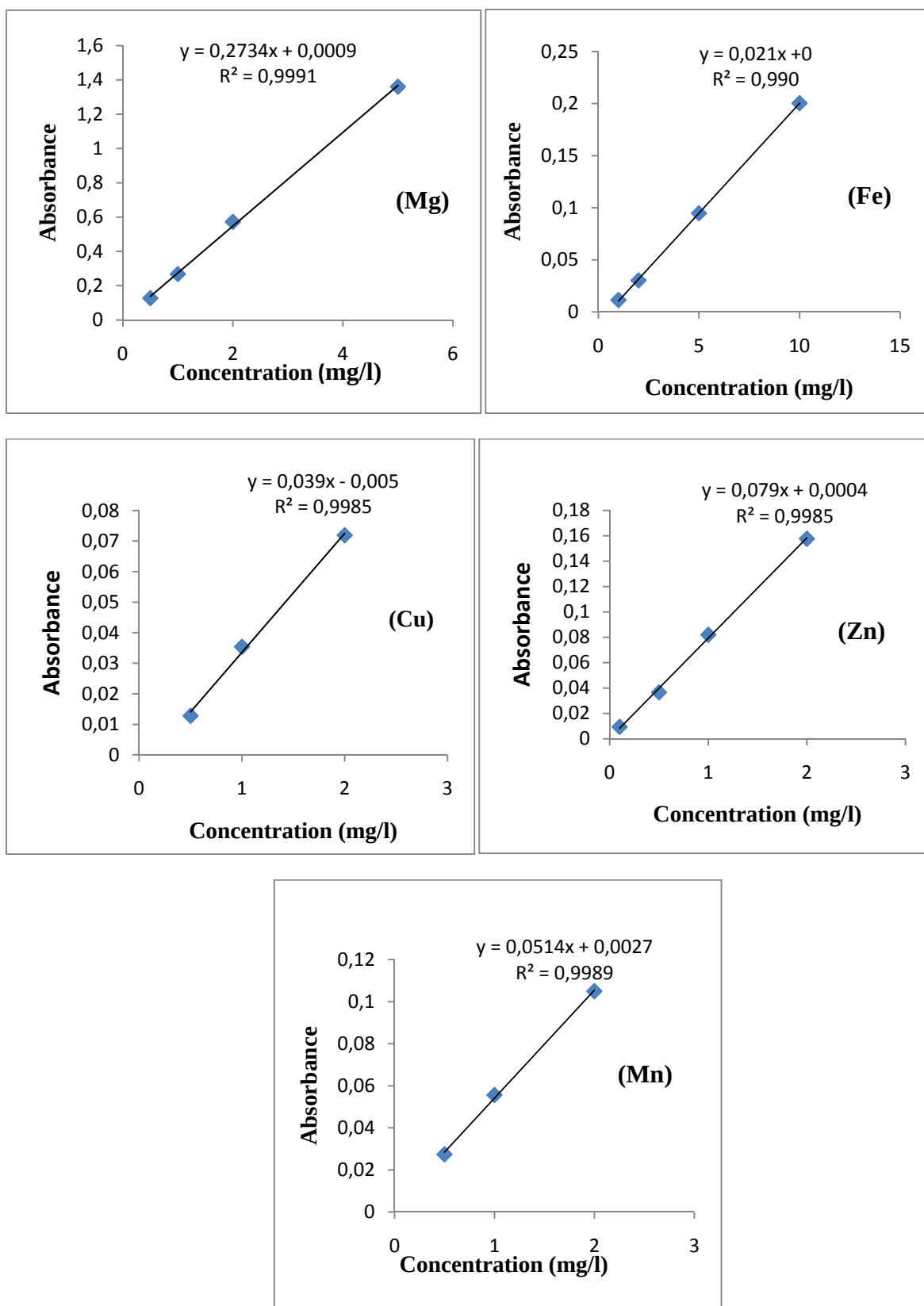


Figure 5. Droites d'étalonnage du Magnésium (Mg), Fer (Fe), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Manganèse (Mn) de l'aliment. Les droites d'étalonnage montrent une relation linéaire et proportionnelle entre les concentrations choisies et leurs absorbances respectives.

1.2.4. Analyses statistiques

Les résultats sont exprimés par la moyenne $\pm$ l'erreur standard de la moyenne ($m \pm S.E.M$). L'homogénéité de la variance entre traitement est vérifiée par le test de Bartlett. Dans le cas où ce test est significatif ($p < 0.05$), les résultats sont soumis à des transformations appropriées (logarithme ou racines des carrés).

Lorsque le test de Bartlett s'avère non significatif ($p > 0,05$), les résultats sont soumis à une analyse de variance à un facteur (ANOVA1) afin de déterminer l'effet du stade physiologique sur les paramètres considérés, puis une comparaison multiples par le test de Tukey. Le seuil de signification statistique choisi est d'au moins 5%. Toutes ces analyses sont effectuées à l'aide du logiciel GraphPad Prism version 5.03.

Chapitre 2. Résultats et discussion

L'amélioration des performances zootechniques des ruminants passe nécessairement par un état sanitaire satisfaisant et un apport par le biais de l'alimentation des besoins nutritifs de l'animal. Les variations possibles des éléments majeurs et mineurs plasmatiques au cours du cycle sexuel, sont en relation étroite avec la composition chimique et minérale de la ration des brebis reproductrices.

L'un des facteurs influençant la reproduction des animaux est l'alimentation. Pour cela, la détermination de la composition chimique et minérale de la ration est une étape primordiale pour l'estimation de la valeur nutritive afin d'apprécier les apports et les déficits.

Dans ce chapitre, nous allons présenter et commenter nos résultats relatifs à l'alimentation des brebis, la pesée de leurs produits, aux teneurs en minéraux plasmatiques ainsi que celles de la laine de ces dernières.

2.1. Etude des constituants chimiques de la ration

2.1.1. Les constituants organiques

La valeur nutritive d'un fourrage est dépendante du contenu et de la forme des éléments nutritifs présents dans la plante et de la quantité qui sera ingérée par l'animal (**Tremblay et al., 2002**). L'analyse de la composition chimique constitue la base des méthodes d'évaluation de la valeur nutritive de l'alimentation de nos brebis, car elle permet de quantifier les teneurs en nutriments (protéines, fibres, matières grasses, minéraux...) et donc de nous renseigner sur la richesse ou la faiblesse de l'élément nutritif. Elle permet donc au nutritionniste de sélectionner la combinaison d'aliments qui répond au mieux aux besoins de l'animal (**Arab et al., 2009**).

Le tableau 18 indique la variation de la composition chimique (matière sèche, matières minérale ou cendres, matière organique, protéines ou matières azotée totales et cellulose brute [exprimé en % de MS]) de l'alimentation des brebis distribuée en bergerie et sur pâturage.

Tableau 18. Composition chimique (moyenne $\pm$ S.D) de l'alimentation des brebis

% de MS \ Aliment	Fourrages verts	Concentré	Foin
Matière Sèche (MS)	15,39 $\pm$ 1,18	92,10 $\pm$ 1,70	91,72 $\pm$ 1,27
Matière sèche Analytique (MS_a)	14,13 $\pm$ 2,33	92,40 $\pm$ 0,85	87,60 $\pm$ 3,25
Matière Organique (MO)	89,74 $\pm$ 1,51	97,63 $\pm$ 0,18	96,28 $\pm$ 2,12
Cendres Totales (CT)	10,27 $\pm$ 1,51	2,37 $\pm$ 0,17	3,72 $\pm$ 2,12
Cendres Insolubles (CI)	0,73 $\pm$ 0,20	0,70 $\pm$ 0,06	1,14 $\pm$ 1,26
Matières Azotées Totales (MAT)	22,90 $\pm$ 2,12	12,66 $\pm$ 0,67	11,90 $\pm$ 1,27
Matière Grasse (MG)	1,37 $\pm$ 0,23	2,44 $\pm$ 0,14	2,00 $\pm$ 0,01
Cellulose Brute (CB)	21,00 $\pm$ 1,14	2,7 $\pm$ 0,98	33,75 $\pm$ 1,34

Au regard du tableau ci-dessus, nous notons que le taux en MS est faible pour les fourrages verts (15,39%) comparativement aux aliments distribués en bergerie. Ces derniers ont un taux d'humidité en moins (7,9% pour le concentré et 8,28% pour le foin) par rapport aux fourrages verts, donc un besoin élevé en eau chez les animaux qui les consomment. Les taux élevés en matière sèche sont connus comme des facteurs limitant de la digestibilité des fourrages comme l'affirme Collas (2008).

Le taux le plus élevé en MO est enregistré pour le concentré (97,63%). En revanche, la matière minérale est la plus faible pour cet aliment (2,37%). Les fourrages verts sont les plus riches en matière minérale (CT) avec une valeur de 10,27%. Parallèlement, le foin est le plus

riche en cendres insolubles sachant que ces derniers représentent un indicateur négatif pour la valeur nutritive de l'aliment.

La matière organique renferme la teneur la plus élevée en protéines brutes (MAT) pour les fourrages verts (22,90%) par contre, le taux de MG est le plus faible pour ce même aliment. Le pourcentage en cellulose brute est plus important pour le foin avec une teneur de 33,75% par rapport au concentré (2,7%).

La dessiccation des fourrages verts a révélé des teneurs en matière sèche qui sont en accord avec les résultats de **Dufasne et al. (1999)** qui ont travaillé sur des pâturages à bases de Graminées et de Légumineuses et qui ont trouvé une valeur de 16,5%. D'autres travaux effectués sur des fourrages verts issus de la même région d'étude (**Lemnouar-Haddadi, 2001 ; Arab, 2006**) ont donné des teneurs plus élevées et sont respectivement de 22,5% et 12-48%.

Dans les prairies permanentes, le taux en MS varie de 15 à 22% (**Jarrige, 1988**), ces résultats sont similaires aux nôtres.

Par contre, le concentré consommé par les animaux présente une teneur en MS supérieur à celle retrouvée par **Yakhlef (2003) ; Laabassi (2006) Rekik et al. (2010) et Dias et al. (2010)** où les teneurs respectives ont été de 86 ; 85 ; 90,5 et 90,4%. Ces deux derniers auteurs ont noté un taux en MS dans le foin de 89,6 et 88,5%.

L'ensemble des aliments des brebis présente un pourcentage faible en matière grasse. Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par divers auteurs (**Jarrige, 1988 ; Lemnouar-Haddadi, 2001 ; Chachoua, 2005 ; Arab, 2006 ; Juan, 2006 ; Abbeddou et al., 2010**) avec des valeurs respectives de (0,7-2,2% de MS), (1,87% de MS), (2,5% de MS) et (1,46- 1,88% de MS).

Les teneurs moyennes en matières azotées totales dans l'ensemble des fourrages varient de 11,9 à 22,9 % de MS. La valeur la plus élevée est enregistrée pour les aliments de pâturage, comprise dans la fourchette des normes établies par **Jarrige (1988)** (20,3-24,9% de MS) ; **Yildiz et Kaygusuzoğlu (2005)** (15,18 % de MS) ainsi que par **Abbeddou et al. (2010)** (13,7% de MS). Elles sont nettement supérieures à celles relatives au fourrage vert noté par **Chapoutot et al. (1990)** (9% de MS) et par **Ruppel et al. (2000)** soit 11,20% de MS, ainsi que celles trouvées par **Laabassi (2006)** (9,97% de MS) pour le foin.

Le fourrage vert renferme une valeur de MAT supérieure aux résultats obtenus par Arab (2006) (12,75 -15% de MS) mais se rapproche des valeurs de Lemnouar-Haddadi, (2001) (17% de MS) et de celles de Dufrasne *et al.* (1999) (19,9% de MS). Yakhlef (2003) et Chachoua (2005) ont enregistré respectivement des taux plus élevés (75% de MS) et (14,18% de MS) dans le concentré. En effet, les sources d'azote sont particulièrement importantes dans la mesure où en plus du pâturage, le concentré doit couvrir des besoins en azote très variables au cours de la lactation (Ponter *et al.*, 2005).

En observant le tableau (18), nous remarquons que la teneur en CB des aliments analysés est très importante dans le foin (33,7% de MS) comparativement au concentré (2,7% de MS). Sauvante (1988) a constaté que la cellulose brute est un bon critère prédictif de la teneur en lignine, donc de la digestibilité de la matière organique et de la valeur énergétique.

Les résultats trouvés par Jarrige (1988) après la double hydrolyse (CB) des fourrages verts varient de 16-28% de MS, alors que pour le concentré cette teneur est inférieure (2-14% de MS) mais elle est plus importante pour le foin (28,1-37,6%). Nos valeurs sont comparables à ce dernier auteur. Par contre, Laabassi (2006) a trouvé un pourcentage plus important pour le foin d'avoine (39,33% de MS).

Le lessivage des plantes par les pluies ainsi que le temps de conservation des aliments (foin et concentré) sont autant de facteurs qui influencent leurs faibles teneurs en MAT, MG et en cendres totales (Meziane, 2001).

2.1.1.1. Les constituants pariétaux

Les fibres alimentaires constituent un facteur primordial de l'efficacité digestive. La teneur en lignine est le facteur principal limitant de la digestibilité des aliments (Drogoul *et al.*, 2004). Le tableau (19) montre les teneurs en fibres alimentaires (Neutral Detergent Fiber (NDF) ou parois cellulaires, Acid Detergent Fiber (ADF) ou lignocellulose, Acid Detergent Lignin (ADL) ou lignine, hémicellulose, cellulose [exprimé en % de MS]) composant les trois types d'aliments consommés par les brebis reproductrices.

A l'observation du tableau ci-dessous, il semble que le concentré composé de son gros et d'orge concassé soit l'aliment le plus fibreux car il renferme la teneur la plus importante en parois cellulaires (57,17%) et en fibres brutes (29,64%).

En effet, d'après les recommandations du **NRC (National Research Council) (2001)** cité par **Collas (2008)**, si les fibres apportées par les fourrages diminuent de 1% par rapport à la totalité de la ration, elles doivent être compensées par un apport de fibres par les concentrés représentant 2% du total de la ration (son gros).

Tableau 19. Teneurs moyennes (moyenne $\pm$ S.D) en fibres pour les différents types d'aliments

Aliment % de MS	Fourrages verts	Concentrés	Foin
Neutral Detergent fiber (NDF)	44,62 $\pm$ 0,48	57,17 $\pm$ 2,75	54,17 $\pm$ 1,75
Acid Detergent Fiber (ADF)	24,35 $\pm$ 0,72	29,64 $\pm$ 1,19	26,14 $\pm$ 3,31
Acid Detergent Lignin (ADL)	11,20 $\pm$ 0,60	6,25 $\pm$ 1,25	12,80 $\pm$ 0,60
Hémicellulose	20,27 $\pm$ 1,20	27,53 $\pm$ 1,55	28,03 $\pm$ 5,05
Cellulose	13,15 $\pm$ 0,12	23,39 $\pm$ 0,06	13,34 $\pm$ 2,71

Les fourrages verts présentent des teneurs élevées en lignine comparativement au concentré mais pas assez pour atteindre le taux enregistré pour le foin. En moyenne, 1% de lignine supplémentaire dans la matière sèche accroît de 3,8 % la quantité de paroi non digestible dans la MS ; la lignine entrave la digestion des glucides des parois cellulaires (**Sauvant, 1988**).

Le foin semble être l'aliment le plus lignieux (12,80%), cela n'empêche pas que les foin de céréales sont utilisés pour l'importance de leur rendement (jusqu'à 11 tonnes de matière sèche

par hectare (Juan, 2006) et surtout pour leur appétence liée à la présence des feuilles et des épis et ce malgré une fibrosité importante (Foucher, 2006).

Par déduction à la notion de Sauvant (1988) selon la quelle le taux élevé en cellulose brute prédit celui en lignine ; sachant que le foin renferme le pourcentage le plus important en CB (33,7%) ce dernier comporte systématiquement la valeur la plus élevée en lignine.

Selon Arab *et al.* (2009), les proportions de fibres ADF et NDF des plantes fourragères étudiées sont des indices de leur valeur alimentaire ; les fibres NDF donnent un estimé assez précis des fibres totales des aliments et une prédiction de la quantité de la MS ingérée. Lorsque les fibres NDF augmentent, la consommation volontaire de la MS diminue. Pour les fibres ADF, elles sont généralement reliées à la digestibilité et à la valeur énergétique du fourrage ; plus il y a de fibres ADF dans le fourrage, plus la digestibilité et le contenu énergétique sont faibles.

Dans une étude sur les différentes plantes constituant les fourrages d'une jachère pâturée dans le Constantinois, Lemnouar-Haddadi (2001), rapporte pour l'ADF des taux de 30.92% pour les Graminées, 39.51 % pour les Légumineuses et 29.87 % pour le reste des plantes constituant la jachère. Dans un deuxième essai, durant l'année successive, le même auteur rapporte des valeurs plus basses pour les Graminées (5.03%) et les Légumineuses (4.42 %) mais 31.1% pour l'ensemble des plantes constituant la jachère. Les teneurs du deuxième essai semblent basses par rapport à nos résultats établis après analyse du fourrage vert.

La teneur moyenne en NDF des plantes fourragères enregistré par Arab *et al.* (2009) (49,52%) est comparable à nos résultats. Par contre, le taux du résidu ADF (32.53%) est supérieur à celui retrouvé dans les plantes pâturées.

Les concentrations en parois cellulaires du concentré sont nettement plus élevées par rapport à celles notées par Dønnem *et al.* (2010) (18,1%) ; Dias *et al.* (2010) (31.6%) et par Rekik *et al.* (2010) (33%) mais restent plus faibles donc plus intéressantes que la teneur de l' NDF établies par Abbeddou *et al.* (2010) (67,2%). Selon ce dernier auteur, le pourcentage en ligniocellulose ou en fibres brutes contenu dans le concentré (35,3% d'ADF) est supérieur à celui constaté dans la présente étude, mais la lignine est plus faible (4,1%).

Baumont *et al.* (2007) en évaluant les caractéristiques des glucides pariétaux du son de blé tendre comme sources de fibres dans les concentrés, ont noté un taux de 45,5% d’NDF, 13,6% en lignocellulose et 3,9% de lignine.

Nos résultats sont en accord avec **Mertens (1997)** qui après analyse du foin, a enregistré un taux variant de 55 à 64% pour le résidu neutre. Parallèlement, **Dias *et al.* (2010)** et **Rekik *et al.* (2010)** ont retrouvé des valeurs respectives plus importantes (73.3%) et (60,3%) pour le même aliment.

2.1.2. La composition minérale

La détermination des teneurs minérales des plantes est importante car elle peut révéler des insuffisances en éléments minéraux chez l'animal (**Grace et Clark, 1991**). Ils sont quasi totalement absorbables quelle que soit la source alimentaire (**Meschy et Guéguen, 1998**). En effet la fraction assimilable d'un minéral varie avec les saisons et dans l'espace (**Lamand, 1979 cité par Faye et Grillet, 1984**). Ainsi cette fraction reste difficile à quantifier et la meilleure solution pour vérifier la biodisponibilité réelle d'un élément minéral est de déterminer la composition du végétal qui pousse effectivement sur le sol étudié (**Baize, 2000**).

Les variations des teneurs éléments majeurs (calcium, phosphates, magnésium, sodium, potassium [exprimés en g/kg Ms]) et en oligo-éléments (cuivre, zinc, manganèse, fer [exprimées en mg/kg Ms ou ppm Ms]) des principaux aliments (l’herbe en vert en plus des aliments servis à l’auge) consommés par les brebis ainsi que celles enregistrées pour l’eau d’abreuvement (exprimées en mg/l) sont rassemblées dans le tableau (20).

Nous avons constaté précédemment (tableau 18) que la teneur en matière minérale ou cendres totales (CT) des différents types d'aliments variait de 2,37 %MS pour le concentré, 3,72%MS pour le foin et de 10,27%MS pour le fourrage vert. Ce dernier aliment contenait la plus importante valeur en CT du fait de la présence des taux les plus élevés en Mg (3,92 g/kg MS), en Na (5,09 g/kg MS), en K (34,14 g/kg MS), en Cu (12,25 mg/kg MS) et en Mn (35,10 mg/kg MS).

Parallèlement, le foin présente des teneurs élevées en Ca (4,57 g/kg MS), en P (7,36g/kg MS) et en Fe (157,68 mg/kg MS), tandis que les taux en minéraux majeurs et mineurs pour le concentré sont les plus faibles.

Tableau 20. Teneurs moyennes en minéraux (Moyenne $\pm$ S.D) des aliments et de l'eau

Ration Mineral	Fourrages verts	Concentrés	Foin	Eau (mg/l)
Calcium (g/kg MS)	1,02 $\pm$ 0,02	0,95 $\pm$ 0,24	4,57 $\pm$ 0,80	87,30
Phosphates (g/kg MS)	0,71 $\pm$ 0,04	3,881 $\pm$ 0,65	7,36 $\pm$ 1,11	2,63
Magnésium (g/kgMS)	3,92 $\pm$ 0,42	2,33 $\pm$ 0,28	1,28 $\pm$ 0,24	33,46
Sodium (g/kgMS)	5,09 $\pm$ 0,37	2,02 $\pm$ 0,50	2,19 $\pm$ 0,47	111,88
Potassium (g/kgMS)	34,14 $\pm$ 0,15	7,74 $\pm$ 0,77	6,59 $\pm$ 1,47	7,23
Zinc (mg/kgMS)	63,31 $\pm$ 1,14	63,31 $\pm$ 12,94	40,42 $\pm$ 4,88	ND
Cuivre (mg/kgMS)	12,06 $\pm$ 0,22	10,51 $\pm$ 1,62	3,72 $\pm$ 0,35	ND
Fer (mg/kgMS)	20,25 $\pm$ 2,91	86,93 $\pm$ 15,98	157,68 $\pm$ 29,72	ND
Manganèse (mg/kgMS)	35,10 $\pm$ 0,92	36,86 $\pm$ 6,03	23,98 $\pm$ 2,86	ND

ND : non détectable

Les teneurs en Ca dans les fourrages verts sont assez faibles comparativement avec ceux rapportés par Jarrige (1988) (6,5-16 g/kg MS), Lemnouar-Haddadi (2001) (9-18 g/kg MS) et de Arab *et al.* (2009) (17,37 g/kg MS). De plus en nouvelle Zélande, Wilson(2003) a noté des teneurs en Ca de 4-5 g/kg MS dans le pâturage. La teneur en Ca pour le concentré est dans les normes établis par Jarrige (1988) et Rekik *et al.* (2010) soit 0,7g /kg de MS pour les deux auteurs. Elle est faible comparativement avec celle rapportée par Abbeddou *et al.* (2010) (4,86 g/kg MS). Parallèlement, le taux calcique du foin est supérieur à celui rapporté par Jarrige (1988) et Laabassi (2006) soit

respectivement une teneur de 1g/kg de MS et 0,52g /kg de MS mais inférieurs aux valeurs retrouvées par **Rekik et al. (2010)** 5,4 g /kg de MS.

Les teneurs en P dans les fourrages verts sont faibles par rapport à ceux indiqués par **Jarrige (1988)** ; **Lemnouar-Haddadi (2001)** et **Arab (2006)** avec des valeurs respectives variant de 2-4 g/kg MS ; 2,9g/kg MS et 2,55g/kg MS. Contrairement au foin où nous avons enregistré une valeur importante de 7,36 g/kg MS environ deux fois plus élevée que celle révélée par **Jarrige (1988)** (4 g/kg MS), **Laabassi (2006)** (2,62 - 3,5g/kg MS) et par celle retrouvée par **Rekik et al. (2010)** (1,1g/kg MS). La teneur en P contenu dans le concentré est dans les normes des valeurs rapportées par **Rekik et al. (2010)** ($3,2 \pm 0,3$ g/kg MS) mais elle supérieure à celle notée par **Abbeddou et al. (2010)** (2,34 g/kg MS).

Il apparait que les fourrages verts étudiés sont les plantes qui renferment les taux les plus élevés en Mg (3,92 g/kg MS) par rapport aux teneurs rapportées par **Lemnouar-Haddadi (2001)** et **Arab (2006)** soit 3,49 et 2,26g/kg MS. C'est le même cas pour le concentré où **Abbeddou et al. (2010)** ont noté une valeur plus faible (1,06 g/kg MS)

La comparaison entre le concentré et le foin pour la teneur en Na et en K suggère des teneurs proches, les deux aliments sont comparables respectivement : (2,02 g/kg MS) et (2,19 g/kg MS) pour le Na et (7,74 g/kg MS) et (6,59 g/kg MS) pour le K.

Abbeddou et al. (2010) et **Arab (2006)** ont rapporté respectivement une teneur en Na dans le concentré plus élevé (19,02 g/kg MS) et (17,3g/kg MS) contrairement à nos résultats. Par contre, le foin consommé en bergerie présente une teneur en K plus faible (6,59g/kg MS) que celle rapporté respectivement par **Meschy et Peyraud (2004)** ; **Laabassi (2006)** et **Arab et al. (2009)** soit 20,55 ; 13,25 et 38 g/kg MS. De plus, la concentration en K pour le concentré est faible par rapport à celle enregistrée par **Abbeddou et al. (2010)** (20,55 g/kg MS).

Le taux en Na enregistré par **Lemnouar-Haddadi (2001)** pour le fourrage vert est faible (2,49 g/kg MS), par contre **Arab et al. (2009)** ont noté des teneurs plus importantes (41.66 g/kg MS) environ six fois plus élevées que celles révélées dans notre étude (5,09 g/kg MS). Les fourrages verts présentent un taux en K plus élevé (34,14 g/kg MS) que ceux rapporté par **Lemnouar-Haddadi (2001)** (20,75g/kg MS) ainsi que par **Meschy et Peyraud (2004)** (28.2 g/kg MS).

Comparativement à nos résultats, **Meschy et Peyraud (2004)** en étudiant les fourrages tempérés européens, ont rapporté des teneurs faibles en Na (1.10 g/kg MS) pour l'herbe en vert ainsi que pour le foin (0.92 g/kg MS). Ces mêmes auteurs ont constaté que les aliments cultivés dans les zones côtières comprennent des teneurs élevées en Na car ils doivent subir les apports de sel liés aux embruns transportés jusqu'à l'intérieur des terres.

Les oligo-éléments déterminés dans nos plantes sont plus importants dans les fourrages verts surtout pour le Zn (63,31 mg/kg MS) et le Cu (12,06 mg/kg MS) que les deux autres types distribués en bergerie. Par contre, le foin présente la plus importante teneur en Fe (157,68 mg/kg MS) ainsi que le concentré pour le Mn (36,86 mg/kg MS). La teneur en Zn est analogue dans le concentré et les fourrages verts de l'ordre de (63,31 mg/kg MS) mais elle est moins importante dans le foin (40,42mg/kg MS).

Les teneurs respectives en Zn et Cu des plantes fourragères issus des pâturages sont supérieures à celles rapportées par **Lamand (1978a)** (15-40 mg/kg MS) et (3- 6 mg/kg MS) ; **Jarrige (1988)** (34 mg/kg MS) et (5 mg/kg MS) ; **Maach et al. (2000)** (22,4 - 47,5 mg/kg MS) et (5,1-12 mg/kg MS) ainsi que celles enregistrées par **Arab et al. (2009)** (29 mg/kg MS) et (10.60 mg/kg MS).

Par contre, ces deux oligo-éléments présents dans le foin d'avoine analysé par **Mallam (2006)** comportent une valeur élevée pour le Cu (6-8ppm) mais faible pour le Zn (24-25ppm). **Osman et al. (2003)** ont déterminé pour le même aliment, une teneur élevée pour le Cu (4,5 ppm) mais très basse pour le Zn (9,5 ppm) par rapport à nos résultats.

L'analyse du concentré a révélé des teneurs en Cu plus élevées que celles trouvées par **Mallam (2006)** (4,3-5,5 ppm). En revanche, elles sont plus faibles que celles du Zn pour le même auteur (26 - 31,75 ppm).

Osman et al. (2003) ont déterminé des taux en Fe supérieurs (58 ppm) dans le foin et plus important dans le concentré (422ppm) contrairement à **Lamand (1978a)** qui a trouvé une teneur faible (18-33ppm) comparativement à nos résultats. Les concentrations en Mn dans les fourrages verts et le foin sont respectivement plus faibles que ceux rapportés par **Jarrige (1988)** 141 et 158,2 ppm MS alors que le concentré renferme un taux plus élevé que celui établi par l'**INRA (1988)** (17,6 mg/kg MS). Nos résultats sont dans les normes des valeurs habituelles rapportées par **Lamand et al. (1978a)**(20-500 ppm).

Nous notons que les valeurs cupriques restent au dessus de la limite de carence qui est égale à 7ppm chez tous les ruminants (**Lamand et al., 1973**). Parallèlement, la valeur moyenne du zinc est au dessus alors que celle du manganèse est au dessous de la limite de carence pour les animaux estimées à 45 mg/Kg Ms (**Lamand, 1978a**).

Pour l'analyse minérale de l'eau du site expérimental, nous n'avons pu déterminer que les éléments majeurs tandis que la charge micro-minérale été très faibles (non détectable). Le taux de Ca relevé est de (87mg/l), P est de (2,63mg/l), Mg (33mg/l), Na (111,88mg/l) et le K est de (7,23mg/l). D'une manière générale, il n'existe pas de normes Algériennes de potabilité pour les eaux d'adduction publique. Pour cela, nous avons adopté les valeurs guide publiées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Nos résultats sont dans la marge des normes qui définissent la qualité de l'eau potable d'après l'OMS - CEE (1980) cité par **Meziane (2001)** et qui sont de (50mg/l) pour le Mg, (75mg/l) pour le Ca et (10 mg/l) pour le K sauf pour le Na qui a un taux cinq fois plus élevé que les normes (20 mg/l).

Il faut noter que cette eau d'abreuvement des animaux, été aussi utilisée pour la consommation humaine. D'après **Zobeidi et Messiatfa (2010)**, les effets des sels minéraux contenus dans les eaux d'abreuvement sont bénéfiques ou néfastes en fonction de leur concentration.

Nos valeurs sont proches des résultats de la composition minérale de l'eau douce établis par **Laabassi (2006)** avec des teneurs de 4mg/l pour le P et 44mg/l pour le Mg mais le taux en Ca de son eau est plus élevé (190mg/l). De plus, les teneurs respectives en Na et en K sont plus faibles (4mg/l) et (0,01mg/l) par rapport à nos résultats.

Des études réalisées par **Djellouli et al. (2005)** et plus tard par **Zobeidi et Messiatfa (2010)** sur la qualité physico-chimique des eaux du sud Algériens, ont enregistré des teneurs très élevées en Mg (60,76- 211,45 mg/l) et en Ca (204 à 545 mg/l). Ils estiment que 77% des échantillons d'eau sont magnésiens et 65 % sont calciques. Concernant les ions potassium, **Zobeidi et Messiatfa (2010)** ont rapporté des teneurs allant de 40 à 86 mg/l. Les valeurs rapportées de ces deux travaux sont supérieures aux teneurs minérales de l'eau de la ferme.

En effet, la composition minérale de l'eau analysée présente des charges minérales moins importantes comparativement aux résultats de **Meziane (2001)** qui a signalé qu'à partir des critères de potabilité de l'eau établis par le ministère de la santé publique français, il a pu classer son eau comme de mauvaise qualité en rapportant des teneurs très élevées en calcium (130-273 mg/l), en fer (0,4-1 mg/l), en Mn (4,35-6,44mg/l) et en cuivre (0,87-1,75mg/l).

La concentration en Na de l'eau de la ferme El-Baaraouia est supérieure à celle définie par **Wolter (1992)** pour une eau potable de (20mg/l) mais inférieure à celle enregistrée par **Meziane (2001)** (207 mg/l) mais cette valeur est dans l'intervalle des concentrations établis par **Zobeidi et Messiatfa (2010)** (102 à 589 mg/l). D'autre part, la teneur en Na (111,88mg/l) rapporté dans la présente étude est inférieure à la concentration maximale admissible (200mg/l) définie pour l'eau non potable par **UE/OMS (1998)**. Les conditions climatiques sont à prendre en considération, puisque le climat sec et aride favorise l'accumulation des sels, dans les eaux souterraines les plus proches de la surface (**Zobeidi et Messiatfa, 2010**). Le sodium est le dernier minéral qui constitue un facteur limitant de l'abreuvement des animaux (**Meziane, 2001**).

2.2. Croît des agneaux

Après la mise bas, l'évaluation du niveau de production laitière des brebis est estimé à partir de la croissance de la portée au cours du premier mois, période pendant laquelle le lait constitue pratiquement le seul aliment des agneaux (**Rivière, 1978 ; Boudechiche et al., 2010**). L'estimation de la quantité de lait produite par la brebis a pour objectif d'évaluer son impact sur les teneurs plasmatiques en éléments minéraux des brebis en période d'allaitement.

Les agneaux issus des brebis de notre expérimentation, une fois nés, ont été identifiés et pesés. Ils ont été ensuite soumis au programme de pesées du contrôle de croissance officiel (une pesée chaque semaine jusqu'à 30 jours permettant de calculer le GMQ (gain moyen quotidien) entre 0 et 30 jours) (**Boudechiche et al., 2010**). Les moyennes des poids des agneaux de la naissance jusqu'à un mois d'âge et la détermination du gain moyen quotidien sont consignés dans le tableau (21).

Tableau 21. Moyenne ($m \pm S.E.M$) des poids des agneaux et GMQ (0 – 30j)

Poids (g)	à la naissance	à 7 jours	à 15 jours	à 21 jours	à 30 jours	GMQ (g/j) (0 à 30jours)
agneaux (n=10)	5290 $\pm$ 0,240	6550 $\pm$ 0,433	7220 $\pm$ 0,56	7950 $\pm$ 0,62	9730 $\pm$ 0,71	148 $\pm$ 0,47

Les agneaux des brebis Ouled Djellal viennent au monde avec un bon poids à la naissance (5290g), une valeur nettement supérieure à celle enregistrée par **Kitouni et Belmokh (2007)** (4412g) sur des agneaux de même race issus de femelles dans les conditions de la steppe ; soit une augmentation de plus de 870g /agneau. Ceci montrerait que les brebis ont été bien nourries au cours des deux derniers mois de gestation. De la naissance à 30 jours, **Prud'Hon (1976)** affirme que c'est la période caractéristique de la production laitière, cette dernière est tributaire de l'état nutritionnel de la mère et du poids de naissance des agneaux (**Bensaad, 2000**).

Au bout d'un mois d'âge, les agneaux multiplient, environ par deux, leur poids à la naissance et ils pèsent 9730 g, traduisant un GMQ (gain moyen quotidien) (0 – 30j) de 148g/j. Cette valeur est relativement plus importante que celle rapportée par **Kitouni et Belmokh (2007)** (138 g/j) mais se rapproche de celle établie par **Boudechiche et al. (2010)** qui ont noté un GMQ de 151 g/j. Ces derniers auteurs ont estimé la production laitière à partir des GMQ des agneaux à 0,86 l/J.

2.3. Etude des minéraux plasmatiques

Le métabolisme minéral joue un rôle significatif dans la régulation des fonctions physiologiques de la gestation et de la lactation. Ces deux dernières constituent un stress métabolique, associé à un changement du profil minéral dépendant du statut reproducteur des petits ruminants (**Antunovic et al., 2002 ; Kulcu et Yur, 2003 ; Ceylan et al., 2009**). Par conséquent, la concentration plasmatique des éléments minéraux majeurs et mineurs est dépendante des mécanismes homéostatiques eux mêmes en relation étroite avec la régulation hormonale et le statut alimentaire (**NRC, 1980 ; Krajnicakova et al., 2003**).

Le tableau (22) ci-contre présente les variations des teneurs plasmatiques des minéraux majeurs et mineurs des brebis reproductrices en fonction de leur stade physiologique.

Au regard des résultats obtenus, une diminution significative de la calcémie ($P < 0,01$) et de la magnésémie ($P < 0,001$) est constatée en fin de gestation. En revanche, la phosphatémie a augmenté significativement ($P < 0,01$) en phase d'allaitement. De plus, la cuprémie a diminué de manière significative ($P < 0,05$) en début de gestation. Des teneurs faibles en zinc ($P < 0,001$) sont enregistrés dans le plasma des brebis avant la gestation.

Tableau 22. Variations des teneurs en minéraux plasmatiques selon le stade physiologique (Moyenne $\pm$ S.E.M)

Période Paramètre	Non gravides (NG)	Début de gestation (DG)	Fin de gestation (FG)	Allaitantes (AL)	Degré de significativité
Calcium (mg/l)	97,80 ^a $\pm$ 2,99	84,40 ^{ab} $\pm$ 6,33	76,00 ^b $\pm$ 3,65	89,50 ^{ab} $\pm$ 4,62	$P < 0,01$
Phosphore (mg/l)	67,30 ^{ac} $\pm$ 5,56	65,10 ^{ab} $\pm$ 6,93	71,50 ^{abc} $\pm$ 5,28	93,20 ^{bc} $\pm$ 5,01	$P < 0,01$
Magnésium (mg/l)	26,50 ^{ab} $\pm$ 1,34	21,30 ^{abc} $\pm$ 0,63	19,90 ^{bcd} $\pm$ 0,74	24,40 ^{cd} $\pm$ 0,64	$P < 0,001$
Sodium (mEq/l)	144,80 $\pm$ 1,72	146,50 $\pm$ 2,21	149,10 $\pm$ 0,62	150,30 $\pm$ 0,82	$P > 0,05$
Potassium (mEq/l)	4,86 $\pm$ 0,26	4,65 $\pm$ 0,14	4,61 $\pm$ 0,21	4,90 $\pm$ 0,11	$P > 0,05$
Chlore (mEq/l)	109,90 $\pm$ 0,69	110 $\pm$ 1,92	110,3 $\pm$ 0,95	108,60 $\pm$ 0,68	$P > 0,05$
Cuivre (μg/100ml)	107,70 ^a $\pm$ 10,54	60,90 ^b $\pm$ 5,74	79,86 ^{ab} $\pm$ 15,09	78,70 ^{ab} $\pm$ 12,14	$P < 0,05$
Zinc (μg/100ml)	58,24 ^a $\pm$ 5,24	91,76 ^{bcd} $\pm$ 4,58	115,50 ^{bcd} $\pm$ 7,47	99,98 ^{bcd} $\pm$ 10,39	$P < 0,001$

a,b,c,d : Les moyennes dans la même ligne avec des lettres différentes indiquent une différence significatives ($P < 0,05$).

Il est à signaler que les teneurs plasmatiques en sodium, en potassium et en chlore ne présentent pas de variations significatives ($P > 0,05$) tout au long de la période expérimentale. Nous allons discuter nos résultats élément par élément en les comparant avec ceux relevés dans

la littérature. D'après l'étude statistique, le tableau (23) représente la comparaison multiple entre les stades physiologiques et leur influence sur les teneurs en minéraux plasmatiques.

Tableau 23. Effet du stade physiologique sur les teneurs en minéraux plasmatiques

Périodes Paramètres	NG - DG	NG - FG	NG - AL	DG - FG	DG - AL	FG - AL
Ca	NS	**	NS	NS	NS	NS
P	NS	NS	*	NS	**	NS
Mg	**	***	NS	NS	NS	**
Na	NS	NS	NS	NS	NS	NS
K	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cl	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cu	*	NS	NS	NS	NS	NS
Zn	*	***	**	NS	NS	NS

NS : Différence non significative ($p > 0,05$)

* : $p < 0,05$

** : $p < 0,01$

*** : $p < 0,001$

2.3.1. Les macro-éléments

2.3.1.1. Calcium

Les résultats relatifs aux teneurs plasmatiques du calcium sont indiqués dans le tableau (22) et la figure (6). Nous remarquons une diminution significative ($p < 0,01$) du calcium plasmatique pour les brebis en fin de gestation ($76 \pm 3,65$ mg/l) comparativement avec celles non gravides ($97,80 \pm 2,99$ mg/l). Par la suite, cette valeur va remonter ($89,50 \pm 4,62$ mg/l) le mois qui suit l'agnelage mais n'atteint pas la valeur enregistrée en période de non gestation.

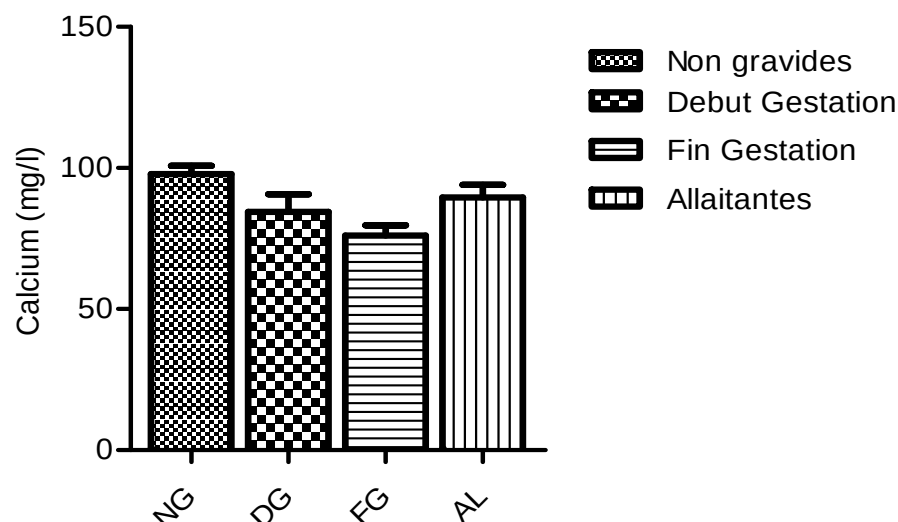


Figure 6. Variation de la calcémie (mg/l) en fonction du stade physiologique

Les valeurs de la calcémie que nous avons enregistré dans la présente étude sont dans l'intervalle des normes rapportées par *Meziane (2001)* ; *Antunovic et al. (2004)* ; *Mostaghni et al. (2005)* ; *Hafid (2006)* ; *Ouedraogo et al. (2008)* ; *Gross (2009)* ; *Didara et al. (2010)* ; *Rekik et al. (2010)* avec des valeurs respectives de (89-102mg/l) ; (80-96mg/l) ; $(94,18 \pm 0,16 \text{ mg/l})$; (77,67- 90,71mg/l) ; (78,40-115,6 mg/l) ; (92-104mg/l) ; (87,2-99,6mg/l) ; (88-111mg/l).

A contrario, nos résultats sont inférieurs aux valeurs rapportées par *Yokus et al. (2004)* ; *Aytekin et Aypak (2011)* et *Gazyagc et al. (2011)* avec des valeurs respectives de $(103,6 \pm 1,22 \text{ mg/l})$; $(122,7 \pm 0,35 \text{ mg/l})$ et $(107 \pm 0,35 \text{ mg/l})$ mais restent supérieures à celles rapportées par *Yildiz et al. (2005)* (83,36- 94,18 mg/l).

La faible teneur en calcium ($p < 0,01$) en fin de gestation est en accord avec les travaux de *Rekik et al. (2010)* effectués sur des brebis gestantes de race Barbarine qui ont enregistré la plus faible teneur plasmatique en Ca ($88 \pm 0,09 \text{ mg/l}$) une semaine avant l'agnelage. Nos résultats suivent une évolution similaire à celle rapportée par ce même auteur, où les valeurs les plus importantes ($92 \pm 0,10 \text{ mg/l}$ et $100 \pm 0,09 \text{ mg/l}$) sont enregistrées respectivement deux semaines avant et après la mise bas. Cette situation en fin de gestation serait due aux besoins intenses en calcium pour le passage vers le ou les fœtus pour la minéralisation osseuse du squelette (*El-Deen, 1985* cité par *Azab et al., 1999* ; *Yokus et al., 2004* ; *Elnageeb et Abdelatif, 2010*).

Lamand et al. (1986) en traitant les particularités de la biologie clinique des minéraux chez les ruminants, mentionnent que chez l'espèce ovine, la mise-bas n'entraîne pas de variations importantes de la calcémie, l'hypocalcémie n'est souvent observée qu'au cours du quatrième mois de gestation. En effet le dernier tiers de la gestation correspond à l'élaboration du squelette du ou des fœtus à partir des réserves calciques de la mère.

Meziane (2001), en étudiant l'effet de la salinité de l'eau de boisson chez la brebis reproductrice de la race Ouled Djellal, a noté que la richesse de l'eau en calcium (287mg/l), contrairement à l'eau d'El-Baraouia (87mg/l), reflète en partie sa teneur plasmatique. Il a aussi ajouté qu'une faible calcémie reflète l'apport alimentaire en calcium.

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par **Ouedraogo et al. (2008)**, qui en déterminant la variation des profils métaboliques des chèvres gravides au Burkina Faso, ont constaté la baisse de la calcémie un mois avant le part ($78,4 \pm 0,16$ mg/l) puis a augmenté en lactation ($115 \pm 0,11$ mg/l). Selon ce même auteur, cette faible teneur observée en fin de gestation est vraisemblablement d'origine alimentaire : En effet, la mobilisation du calcium peut être entravée par des apports alimentaires insuffisants en cas de défaillance des mécanismes homéostatiques de l'organisme (**Underwood et Suttle, 1999**).

La calcémie élevée pendant la période de lactation, selon **Gueguen et al. (1988)** serait liée à l'élévation du coefficient d'absorption réelle (CAR), ce dernier passe de 30 en gestation à 35 en lactation chez la brebis. L'augmentation de ce dernier pourrait s'expliquer par l'hypocalcémie transitoire qui accompagne la parturition et qui entraîne un pic de la 1,25-dihydroxy-cholécalférol (**Greene et al., 1983 ; Underwood et Suttle, 1999 ; Caple et al., 2007**). Par ailleurs, **Thionoane (1982) ; Yano et al. (1991)** remarquent que si la quantité de calcium ingérée est faible, l'absorption devient remarquablement efficace. Ce phénomène résultant de l'activation marquée de l'homéostasie du Ca (**Wilson, 2001**).

La teneur élevée ($p < 0,01$) en Ca avant la gestation serait, selon **Yokus et al. (2005)**, en relation avec le taux plasmatique élevé en œstradiol et faible en P chez les femelles non gravides.

Sachant que la période de lactation des brebis est survenue en période estivale, **Hidiroglou (1983)**, en évaluant le profil minéral des brebis logées en stabulation entravée et celles en plein air, a rapporté une calcémie de 44,1 mg/l pour le premier groupe contre 47,2 mg/l pour le second. Cet auteur déduit que l'exposition des animaux au soleil stimule la synthèse de la vitamine D par

l'irradiation des stérols de la peau par les rayons ultra-violet ; La vitamine D favorise l'absorption intestinale et la résorption osseuse accrue du Ca.

Meschy et Ramirez (2007) ont démontré une adaptation digestive de la chèvre à une forte exportation minérale dans le lait. Ainsi, la distribution de régime à faible teneur en calcium pendant la période de lactation se traduit par une réponse plus forte et plus durable de l'absorption que lorsque l'apport calcique est normal (Kayouecche, 1982 ; Meziane, 2001). De plus l'alimentation analysée étant carencée en calcium surtout pour les fourrages verts (1,02g/kg MS), cela pourrait expliquer en partie l'augmentation de la calcémie en lactation (89,5mg/l).

Des différences non significatives entre les femelles vides et celles en début de gestation : la diminution de la calcémie chez les gestantes est rapportée aussi par Khadjeh (1998) ; Azab *et al.* (1999) ; Kulcu et Yur (2003) ; Antunovic *et al.* (2004) ; Hafid (2006) ; Ouedraogo *et al.* (2008) ainsi que par Saeed *et al.* (2009).

2.3.1.2. Phosphore

Le tableau (22) et la figure (7) indiquent la variation de la phosphatémie en relation avec l'état physiologique. L'étude statistique a révélé une différence significative de la phosphatémie des femelles en début de gestation versus en lactation ($P < 0,01$) et celles non gravides versus en lactation ($P < 0,05$).

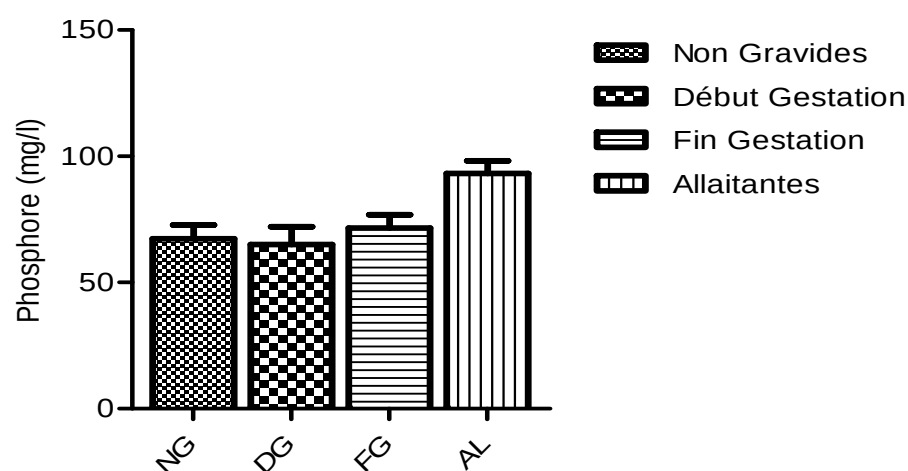


Figure 7. Variation de la phosphatémie (mg/l) en fonction du stade physiologique

Au regard de la figure, il en ressortir qu'au cours des trois premières périodes de prélèvements, la phosphatémie été stable avec une légère augmentation ($71,50 \pm 5,28$ mg/l) en fin de gestation. Cependant, en période d'allaitement, le taux plasmatique en P a augmenté significativement ($93,2 \pm 5,01$ mg/l). Les valeurs du phosphore plasmatique au cours des trois premiers prélèvements sont dans la fourchette des normes physiologiques rapportées de nombreux auteurs entre autre celles enregistrées par **Meziane (2001)** (53-73 mg/l). Par contre, au cours de la lactation, nous avons enregistré une valeur significativement élevée ($P < 0,01$).

La phosphatémie enregistrée dans la présente étude est supérieure à l'intervalle des valeurs physiologiques établies par **Baumgartner et Pernthner (1994)** (27,2-72,7 mg/l) ; **Yokus et al. (2004)** ($49,8 \pm 1,01$ mg/l) ; **Mostaghni et al. (2005)** ($76,08 \pm 0,37$ mg/l) ; **Yildiz et al. (2005)** (54,2-58,4 mg/l) ; **Hafid (2006)** (56-65 mg/l) ; **Meschy et Ramirez (2007)** (59,2-68,9 mg/l) ; **Ouedraogo et al. (2008)** ($62,66 \pm 0,36$ mg/l) ; **Rekik et al. (2010)** (33,3- 48,4 mg/l) ; **Didara et al. (2010)** ($44,7 \pm 1,29$ mg/l) et **Aytekin et Aypak (2011)** ($38 \pm 0,17$ mg/l).

Yokus et Cakir, (2006) en étudiant l'effet de la saison et du stade physiologique sur les teneurs plasmatiques des minéraux chez la vache, ont constaté que la teneur plasmatique en phosphore n'est pas influencée par le stade physiologique. Ce même constat a été observé par **Boudebza, (2004)**. Par ailleurs, **Marco et al., (1998)** ainsi que **Didara et al. (2010)** présumant que le facteur alimentaire influence probablement le niveau du phosphore plasmatique. En effet, selon **Coppenet (1970) cités par Meschy et al. (1995)**, il se produit une baisse très importante du taux de phosphate de l'ordre de 4.09g pour l'herbe jeune à 2.5g en fin d'épiaison et à moins de 2g à la floraison.

Cette allure se confirme dans notre ferme au cours du printemps, période de gestation où nous notons les valeurs les plus basses de l'année (65,1 mg/l). Par contre l'augmentation de la phosphatémie pourrait être liée à la distribution plus importante de l'orge aux animaux en période post partum car les grains sont très riches en P (3 à 5 g/kg de MS) (**Meziane, 2001**).

La baisse de la phosphatémie ($P < 0,01$) que nous avons observée en début de gestation est semblablement d'origine alimentaire selon les propos d'**Underwood et Suttle (1999)** du fait que les fourrages consommés par les brebis au pâturage, en plus d'être carencés en calcium, le sont aussi en phosphore (0,71 g/kg MS).

Il a été également établi que la phosphatémie diminue dans le dernier trimestre de gestation chez les génisses et les brebis mouflons (**Shibu et al., 2002** ; **Endres et al., 2008** ; **Didara et al., 2010**). Selon **Guéguen et al. (1987) cité par Myschy (2002)**, durant les six dernières semaines de la gestation et selon

la taille de la portée, le besoin quotidien en phosphore est de 0,4 à 0,9g pour la brebis.

Meschy et Ramirez (2007), en étudiant l'utilisation digestive et métabolique du phosphore alimentaire chez la chèvre en lactation, ont noté que l'absorption apparente de P est élevée en début de lactation puis diminue ensuite, ce qui dénote une adaptation digestive de la chèvre à une forte exportation minérale dans le lait. Cette situation est similaire aux résultats obtenus par Masek *et al.* (2007) et qui pourrait expliquer la teneur élevée ($P < 0,01$) en P des femelles allaitantes.

La lactation a peu d'effet sur le P où le coefficient d'utilisation digestif (CUD) passe de 55 à 60% selon Braithwaite (1983) cité par Meschy *et al.* (1995). L'absorption du phosphore d'après Meschy et Ramirez (2007) est classiquement influencée par le stade de lactation : la mobilisation osseuse semble intervenir de façon notable dès le début de lactation pour diminuer en pleine lactation et être probablement négligeable en fin de lactation. Ces mêmes auteurs concluent que la valeur supérieure en P plasmatique suggère un « turn-over » osseux plus rapide.

2.3.1.3. Magnésium

Le tableau (22) et la figure (8) indiquent la variation de la magnésémie en relation avec l'état physiologique. Le taux plasmatique en magnésium présente des variations aléatoires de grande amplitude tout au long de la gestation. Le taux de Mg le plus élevé ($p < 0,01$) est enregistré avant la gestation ($26,50 \pm 1,34 \text{ mg/l}$) puis il diminue jusqu'à arriver à la valeur la plus faible ($p < 0,001$) observée en fin de gestation ($19,90 \pm 0,74 \text{ mg/l}$). En phase d'allaitement, le magnésium augmente à une valeur proche de celle avant la gestation ($24,40 \pm 0,64 \text{ mg/l}$).

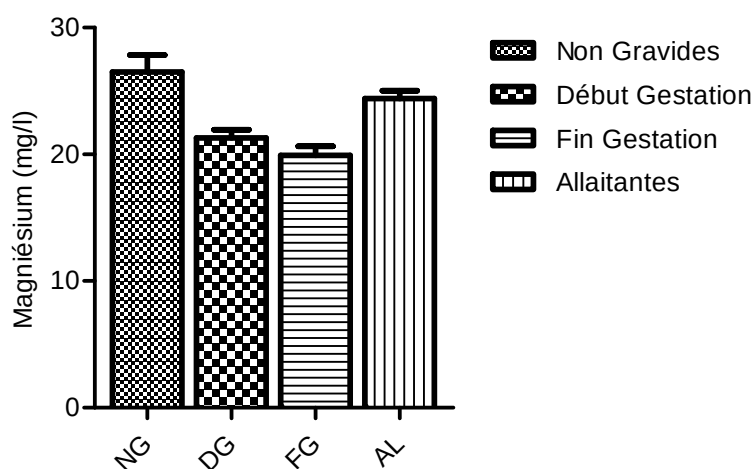


Figure 8. Variation du magnésium plasmatique (mg/l) en fonction du stade physiologique

Globalement, la magnésémie est dans la fourchette des normes établis par **Baumgartner et Pernthner (1994)** (16,6-28,5mg/l) ; **Yokus et Cakir (2006)** ($19,7 \pm 0,23$ mg/l) et ceux de **Aytekin et Aypak (2011)** ($24,6 \pm 0,13$ mg/l). A l'inverse, le Mg plasmatique enregistré dans cette étude est inférieur à l'intervalle des normes physiologiques établies par **Kulcu et Yur (2003)** (33,5-44 mg/l) ; **Yildiz et al. (2005)** (24,5-26,6 mg/l) et **Hafid (2006)** (20,44-28,01 mg/l) mais est supérieur à l'intervalle des valeurs physiologiques rapportées par **Meziane (2001)** (19-24 mg/l) et par **Gross (2009)** (18-24mg/l).

Les résultats émanant de cette étude suivent une évolution similaire à celle constatée par **Elnageeb et Abdelatif (2010)**, qui ont enregistré chez la brebis, la teneur la plus élevée avant la saillie ($16,3 \pm 0,13$ mg/l), puis cette valeur a diminué significativement ($p < 0,01$) en période de gestation ($11,6 \pm 0,13$ mg/l) pour qu'en lactation cette magnésémie augmente ($15,7 \pm 0,05$ mg/l) pour être proche de celle notée avant la gestation.

La teneur plasmatique en magnésium est élevée ($p < 0,001$) chez les brebis non gestantes par rapport à celles en fin de gestation. Cette situation est comparable à celle retrouvée par **Yokus et Cakir, (2006)** qui travaillant sur des vaches, ont rapporté une teneur plasmatique en Mg de $51,2 \pm 0,29$ mg/l pour les femelles non gravides contre $18,1 \pm 0,16$ mg/l pour celles en fin de gestation. Ces derniers, déduisent que la concentration plasmatique en magnésium n'est pas influencée par l'état physiologique mais au contraire par la saison. Cela a été constaté par **Hafid (2006)**.

La magnésémie est élevée ($p < 0,01$) chez les brebis non gravides mais reste toujours dans les normes physiologiques. Cette période coïncide avec la saison sèche, où la consommation est à base d'aliments secs riches en cellulose et en magnésium. De plus, la teneur élevée en Na dans la ration et/ou l'eau pourrait accroître celle du magnésium dans le plasma par l'augmentation de l'absorption du Mg à travers la muqueuse rumenale (**Dua et Care, 1995 ; Martens et Schweigel, 2000 ; Elnageeb et Abdelatif, 2010**).

La fin de gestation correspond au printemps, période pendant laquelle nous avons constaté une diminution ($p < 0,001$) du taux plasmatique en Mg. Cela serait lié à l'herbe jeune qui est très pauvre en cet élément et dont la digestibilité du Mg est très faible (**Amboulou et al., 1977 cité par Meziane, 2001**) et donc un apport très faible (**Thionoane, 1982**). Parallèlement, **Yildiz et al. (2005)** pensent que cette diminution serait due, en partie, au passage du magnésium de la mère au fœtus.

Les changements de la concentration plasmatique en Mg peuvent être expliqués par la relation réciproque avec la teneur plasmatique du Ca, du fait que le taux ces deux éléments minéraux a augmenté simultanément en période de lactation après avoir diminué en fin de gestation (Elnageeb et Abdelatif, 2010). En l'occurrence, il a été établi par Robertson *et al.* (1956) que l'hypomagnésiémie dans certains cas est associée à la fièvre de lait.

2.3.1.4. Sodium

Le tableau (22) et la figure (9) indiquent la variation du sodium plasmatique en relation avec l'état physiologique. La natrémie n'a présenté que de faibles variations au cours de la période considérée, avec une augmentation progressive ; cela est confirmé par l'étude statistique qui n'a révélé aucune différence significative ($p>0,05$) chez les femelles quelque soit leur stade physiologique.

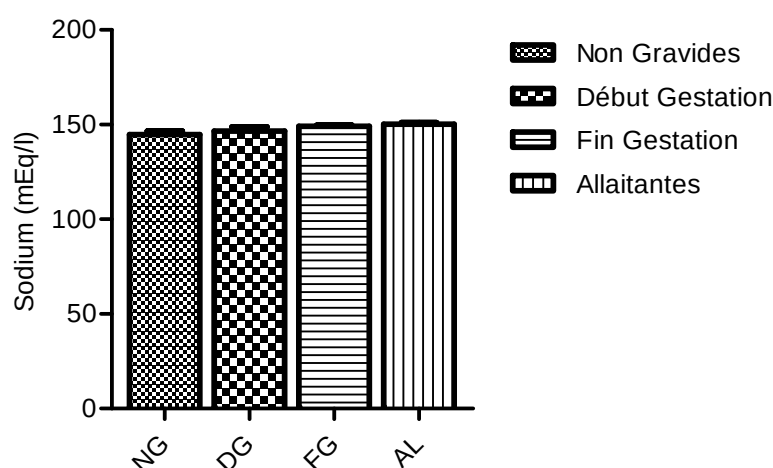


Figure 9. Variation de la natrémie (mEq/l) en fonction du stade physiologique

Les valeurs de la natrémie restent dans la fourchette des normes physiologiques établies par Yokus *et al.* (2004) ($146,19 \pm 6,25$ mEq/l) ; Yildiz *et al.* (2005) (142-151 mEq/l) ; Yokus et Cakir (2006) ($138,42 \pm 0,11$ mEq/l) ; Przemysław *et al.* (2008) ($144 \pm 3,79$ mEq/l) ; Gross (2009) (140-164 mEq/l). Elles restent supérieures à intervalle établis par Hafid (2006) (136 -144,46 mEq/l) ; Akhtar *et al.* (2010) (134 -136 mEq/l) et inférieures aux valeurs enregistrées par Meziane (2001) (140 -153 mEq/l).

La comparaison entre les moyennes de la natrémie reflète des différences non significatives comparables aux travaux observés par **Yokus *et al.* (2004)** ; **Yokus et Cakir (2006)** en Turquie, **Ouedraogo *et al.* (2008)** au Burkina-Faso et par **Akhtar *et al.* (2010)** au Pakistan qui ont également rapporté des résultats respectifs semblables chez des brebis, des vaches métis, des chèvres et des brebis mouflons, cela argumente nos résultats.

La variation du sodium plasmatique est similaire à celle établis par **Ouedraogo *et al.* (2008)** qui ont noté une stabilité de la natrémie des chèvres non gravides ainsi que celles des femelles gestantes (143 mEq/L). Par ailleurs, la natrémie la plus élevée ($p>0,05$) est enregistrée chez les brebis en phase d'allaitement (150mEq/l). Par contre, **Azab *et al.* (1999)** notent que chez les ruminants, cet électrolyte diminue immédiatement au postpartum, cela est lié à l'exportation des ions de sodium au colostrum. Selon **Przemyslaw *et al.* (2008)**, Il existe une corrélation négative entre quantité de lait produite et le taux plasmatique en sodium. La pesée des agneaux a révélé, dans notre étude, un GMQ (0-30j) peu satisfaisant (148 g/j), cela pourrait refléter la production laitière des brebis.

Les résultats rapportés par **Yokus *et al.* (2004)** ont montré des teneurs en Na et en Cl relativement constantes dans le plasma de moutons en conditions de pâturage et sans supplémentation. **Rowland (1980)** affirme que la natrémie des animaux s'alimentant sur pâturage verts luxuriants est plus élevée que celle des animaux ingérant des fourrages. Cela pourrait expliquer en partie l'augmentation ($p>0,05$) de la natrémie chez les brebis en fin de gestation et en lactation ; de plus l'analyse minérale de la ration alimentaire des brebis, nous avons déterminé un taux élevé en Na dans les fourrages verts et dans l'eau d'abreuvement.

L'augmentation de la natrémie d'après **Elnageeb et Abdelatif (2010)** pendant la période de gestation est attribuée à la supplémentation en sel (36 % de NaCl) dans l'alimentation (189 mEq/l pour les brebis supplémentées contre 173 mEq/l pour les brebis témoins), ceci ayant pour résultat l'augmentation marquée des apports en sodium.

Un excès d'ingestion d'eau chez certaines femelles gestantes lors de journées excessivement chaudes impliquerait une diminution transitoire de la natrémie (**Olsson *et al.*, 1995** ; **Ouedraogo *et al.*, 2008**). Par contre, **Hu et Murphy (2004)** remarquent que les niveaux plasmatiques du Na et K chez les ruminants sont indépendants de leur concentrations dans la ration alimentaire, mais sont déterminés principalement par leur excrétion rénale (**Dias *et al.*, 2010**).

Les travaux de **Didara *et al.* (2010)** sur des femelles mouflons gestantes sont en similitude avec la présente étude, qui ont déduit que la concentration élevée en Na est solidement liée à la concentration croissante d'aldostérone durant la gestation (**Goodman, 2003**). Ce taux d'aldostérone avait pour but de maintenir la réabsorption du chlorure et du sodium par le rein (**Tietz *et al.*, 1994**).

2.3.1.5. Potassium

Le tableau (22) et la figure (10) indiquent la variation de la teneur plasmatique en potassium relative à l'état physiologique. La kaliémie suit la même allure que la magnésiémie. Cependant, la comparaison entre les périodes de prélèvements fait ressortir une différence non significative ($p>0,05$). A l'observation de la figure ci-dessous, la teneur plasmatique la plus élevée est rencontrée chez les femelles non gravides et celles allaitantes, par contre la plus faible est située en période de gestation.

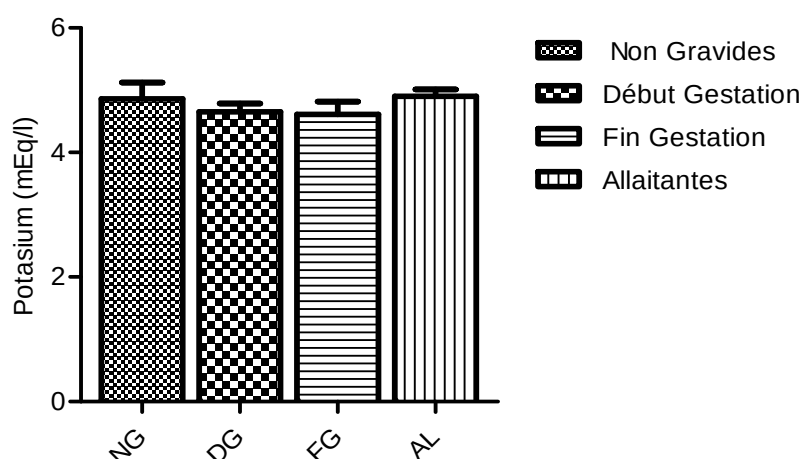


Figure 10. Variation du potassium plasmatique (mEq/l) en fonction du stade physiologique

Les valeurs de la kaliémie restent dans la fourchette de normes physiologiques citées par **Yokus et Cakir (2006)** ($4,43 \pm 0,52$ mEq/l) ; **Przemyslaw *et al.* (2008)** ($4,93 \pm 0,45$ mEq/l) ; **Ouedraogo *et al.* (2008)** (4,3-5,8 mEq/l) ainsi que par **Gross (2009)** (4,2-6,7 mEq/l). Par contre, **Meziane (2001)** a enregistré des valeurs supérieures (4,8-5,2 mEq/dl). Nos valeurs sont supérieures aux intervalles établis par **Yokus *et al.*, 2004** ($4,78 \pm 0,52$ mEq/l) ; **Hafid (2006)** (4,43-6,43 mEq/l) et par **Akhtar *et al.* (2010)** (4,28- 4,48 mEq/l).

Les concentrations moyennes en potassium ont changé d'une manière non significative pendant la gestation et la lactation, la teneur en kaliémie la plus élevée se situe en lactation. Nos résultats sont en accord avec ceux de **Yokus et Cakir (2006)** et **Ouedraogo et al. (2008)**, ces derniers auteurs ont rapporté un taux plus élevé en K pour les chèvres vides que celles en gestation. En revanche, **Meziane (2001)** ; **Antunovic et al. (2004)** et **Hafid (2006)** notent la kaliémie la plus élevée pendant la gestation.

Otto et al. (2000) ; **Antunovic et al. (2004)** et **Akhtar et al. (2010)** trouvent une kaliémie faible chez les femelles gestantes comparativement aux allaitantes. **Greene et al. (1983)** et **Abdelrahman et al. (2002)** constatent que la diminution plasmatique du potassium serait observée en cas de carence en magnésium ou de diarrhée avec acidose (**Kayoueche, 1982**). Les sujets examinés étaient exemptes de diarrhée, nous pouvons donc penser à une éventuelle carence en Mg (**Lippmann, 1995**). Cette hypothèse pourrait être confirmée par la diminution significative ($p < 0,001$) du magnésium (19,9 mg/l) en cette même période (fin de gestation).

Selon **Elnageeb et Abdelatif (2010)**, la variation de la kaliémie pendant la gestation serait liée aux effets antagonistes de l'aldostérone et de la progestérone. Sachant que l'aldostérone augmente l'excrétion rénale du K (**Swenson et Reece, 1993** ; **Lippmann, 1995**). Chez les brebis, en fin de gestation, alors que le taux plasmatique de progestérone diminue, celui de l'aldostérone augmente (**Boulfekhar et Brudieux, 1980**). Ce modèle de réponse endocrinienne pourrait expliquer en partie la diminution de la kaliémie en fin de gestation.

Il existe une corrélation positive entre le potassium et l'œstradiol prouvé par **Yokus et al. (2004)** qui pourrait expliquer en partie l'augmentation du potassium chez les femelles avant la gestation. Ce même auteur a déduit que la kaliémie n'est pas influencée par la saison mais au contraire avec l'état physiologique de la brebis.

2.3.1.6. Chlore

Le tableau (22) et la figure (11) indiquent la variation de la teneur plasmatique en chlore relative à l'état physiologique des brebis. La chlorémie suit la même tendance que celle de la natrémie pour diminuer en lactation. Statistiquement, la comparaison des moyennes ne reflète aucune différence significative ($p>0,05$) au cours des différents stades physiologiques des femelles.

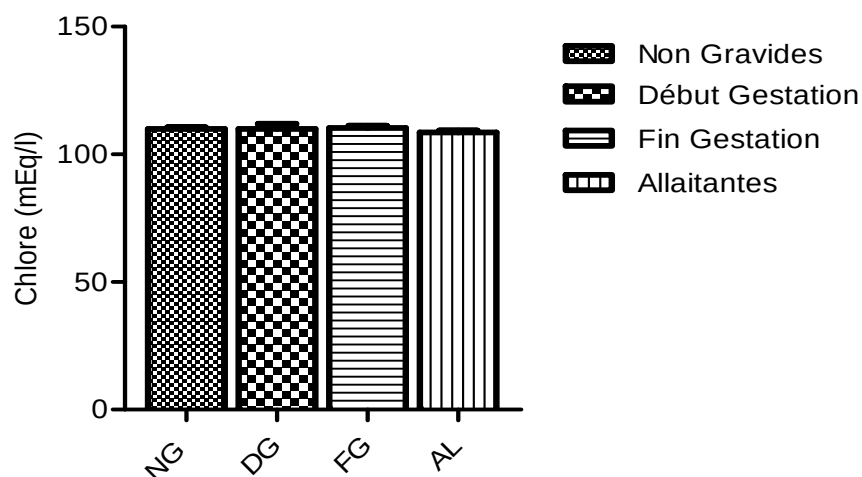


Figure 11. Variation du chlore plasmatique (mEq/l) en fonction du stade physiologique

Nos résultats sont dans l'intervalle des normes physiologiques établis par *Yokus et al. (2004)* ($109,71 \pm 3,73$ mEq/l) ; *Yokus et Cakir (2006)* ($105,8 \pm 1,10$ mEq/l) ; *Przemyslaw et al. (2008)* ($110,7 \pm 2,27$ mEq/l) ; *Ouedraogo et al. (2008)* (106 ± 2 mEq/l). Par contre, la teneur plasmatique du chlore est plus basse que celle retrouvée par *Gross, (2009)* (113-121 mEq/l) ; *Didara et al. (2010)* (154-165 mEq/l). Mais au contraire, nos valeurs sont au dessus de l'intervalle des valeurs enregistrées par *Akhtar et al. (2010)* (95,4-97,3 mEq/l).

Il existe une similitude entre nos résultats et ceux établis par *Yokus et al. (2004)* ; *Yildiz et al. (2005)* et *Yokus et Cakir, (2006)* qui n'ont pas trouvé de différences significatives entre les teneurs plasmatique en Cl chez les vaches et les brebis gestantes. Cependant, nous notons une baisse ($p>0,05$) de la chlorémie en stade d'allaitement ; Cela pourrait être dû à l'exportation de cet ion vers le lait (*Kulkarni et al., 1984* ; *Azab et al., 1999* ; *Akhtar et al., 2010*).

Les résultats de **Didara et al. (2010)** sont comparables à avec la présente étude. La concentration élevée en Cl et en Na est solidement liée à la concentration croissante d'aldostérone durant la gestation (**Goodman, 2003**). Ce taux d'aldostérone avait pour but de maintenir la réabsorption du chlorure et du sodium par le rein (**Tietz et al., 1994**).

Hu et Murphy (2004) suggèrent que les concentrations plasmatiques en Cl sont affectées, la plupart du temps, par l'approvisionnement en ces ions dans l'alimentation. Ces auteurs ajoutent que les teneurs en chlore dans le plasma sont étroitement corrélées avec les paramètres de l'équilibre acido-basique. La concentration plasmatique en Cl, observée dans la présente étude n'a pas subi de fluctuation, elle est restée stable durant la gestation et pendant la lactation.

Le sodium, le potassium et le chlore sont des électrolytes qui agissent ensemble pour assurer la neutralité électrique des compartiments hydriques de l'organisme et leur équilibre ionique (**Sanchez et Beede, 1994**) qui, lorsqu'il est perturbé, a des répercussions sur les performances de production des animaux (**Mongin, 1981**). Selon nos résultats, il n'y a pas eu de perturbations de l'équilibre ionique ($p > 0,05$) tout au long de notre étude que les femelles été vides ou en gestation. Cela est en accord avec les travaux réalisés par **Ouedraogo et al. (2008)**.

2.3.2. Les oligo-éléments

2.3.2.1. Le Cuivre

Les variations de la cuprémie des brebis, au cours cycle reproductif, sont regroupées dans le tableau (22) et la figure (12). L'étude statistique a révélée une diminution significative ($P < 0,05$) de la cuprémie des brebis en début de gestation ($60,90 \pm 5,74 \mu\text{g}/100\text{ml}$) comparativement à celles non gravides ($107,7 \pm 10,54 \mu\text{g}/100\text{ml}$). Cette teneur remonte en fin gestation ($79,86 \pm 15,09 \mu\text{g}/100\text{ml}$) et se stabilise jusqu'à la lactation ($78,70 \pm 12,14 \mu\text{g}/100\text{ml}$).

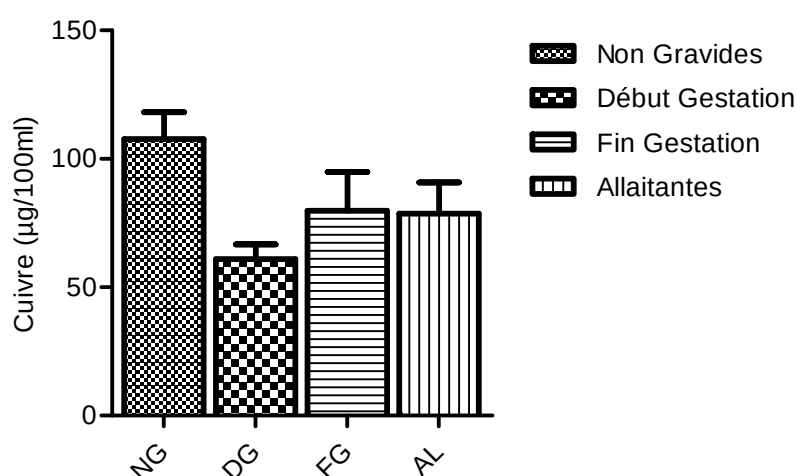


Figure 12. Variations de la cuprémie ($\mu\text{g}/100\text{ml}$) en fonction du stade physiologique

Ces teneurs plasmatiques sont en accords avec celles retrouvées par *Yokus et al. (2004)* ($97 \pm 0,33 \mu\text{g}/100\text{ml}$) ; *Aytekin et Aypak (2011)* ($109,33 \pm 8,10 \mu\text{g}/100\text{ml}$) sauf pour le deuxième prélèvement où la cuprémie est inférieure au limite de carence. Globalement, nos valeurs sont au-dessus de l'intervalle des normes établis par *Meziane (2001)* ; *Kulcu et Yur (2003)* ; *Zemoura et Athmani (2006)* ; *Yokus et Cakir (2006)* ; *Mallam (2006)* ainsi que *Akhtar et al. (2010)* qui ont enregistré respectivement des valeurs de ($62,42-91,71 \mu\text{g}/100\text{ml}$) ; ($30,36-42,23 \mu\text{g}/100\text{ml}$) ; ($61-84 \mu\text{g}/100\text{ml}$) ; ($65-96 \mu\text{g}/100\text{ml}$) ; ($67,65-96,13 \mu\text{g}/100\text{ml}$) et ($62,87-88,24 \mu\text{g}/100\text{ml}$).

Akhtar et al., (2010) ont rapporté une variation du Cu plasmatique similaire a notre étude, avec une faible teneur ($74.47 \mu\text{g}/100\text{ml}$) en début de gestation puis elle augmente ($88.24 \mu\text{g}/100\text{ml}$) en fin de gestation, pour en fin se stabiliser en lactation ($62.87 \mu\text{g}/100\text{ml}$).

Seulement peu d'études donnent les variations du cuivre plasmatique pendant la gestation et la lactation (Van Aken, 1991 ; Haldar, 1995 ; Cimtay et Olculu, 2000 ; Elnageeb et Abdelatif, 2010).

Les carences en oligo-éléments peuvent influencer les performances reproductrice des ruminants (McChowell, 1992 ; Sakhaee et Kazeminia, 2010). La teneur plasmatique en Cu est inférieure à la limite de carence proposées par Lamand (1978a) pour les femelles en début de gestation ($p < 0,05$). Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les ovins ingèrent des quantités importantes de terre en broutant très près du sol (Thornton, 2002). Cette source d'oligo-élément contenu dans le sol, loin d'enrichir le fourrage, diminue proportionnellement la digestibilité de celle apportée par la plante (Lamand, 1978a ; Meziane, 2001). Cela est dû aux grandes quantités de fer apportées par le sol qui interfère avec le cuivre alimentaire et réduit ainsi son utilisation par les ovins (Suttle *et al.*, 1984 cité par Thornton, 2002).

Avant la saillie, les brebis ont enregistré une teneur en Cu la plus élevée ($p < 0,05$). Yokus *et al.*, (2004) ont justifié l'augmentation de la cuprémie des femelles non gravides, par la synthèse accrue de céruloplasmine, elle même, dépendante du niveau d'œstrogène qui augmente avant gestation. Ainsi, d'après Akhtar *et al.* (2010), chez les ovins, la gestation ne semble pas avoir d'effet sur la cuprémie contrairement à ce qu'avancent Yokus et Cakir (2006) pour les bovins.

Le cuivre plasmatique est un bon reflet de l'état nutritionnel de l'animal (Paragon, 1984), en outre, l'évolution de la cuprémie pourrait être liée aux variations que la composition des fourrages subit au cours du temps (Périgaud et Coppenet, 1975 cité par Maach *et al.*, 2000). Par ailleurs, la cuprémie décroît lors de la gestation (Paragon, 1984), cela pourrait être dû à l'augmentation des besoins en cuivre durant cette période puisque le stade physiologique de l'animal impose les différentes demandes en éléments minéraux (Ahmed *et al.*, 2001; Vázquez-Armijo *et al.*, 2011).

Durant la gestation, la concentration du cuivre augmente progressivement dans le foie du fœtus chez les ovins et bovins et diminue dans le foie de la mère (Gooneratne *et al.*, 1989). Comme la concentration du cuivre sanguin dépend de la quantité du cuivre stockée dans le foie (Li et He, 1990 cité par Shen *et al.*, 2005), une diminution de la cuprémie signifie un épuisement des réserves hépatiques (Minatel et Carfagnini 2002; Shen *et al.*, 2005).

En fin de gestation, Elnageeb et Abdelatif (2010) justifient cette augmentation par la réponse des brebis aux besoins du fœtus (Mandal *et al.*, 1996) en augmentant la mobilisation du Cu stocké dans la circulation sanguine pour le développement du système nerveux fœtal (Hidiroglou et Kmpfel, 1981).

2.3.2.2. Zinc

Les variations de la zincémie des brebis tout au long des périodes de prélèvements sont regroupées dans le tableau (22) et illustrées dans la figure (13). La zincémie au cours du cycle reproductif a subi des variations de grandes amplitudes où nous avons noté de faibles teneurs plasmatiques chez les brebis non gravides ($58,24 \pm 5,24 \mu\text{g}/100\text{ml}$) comparativement avec celles des femelles en fin de gestation ($115,50 \pm 7,47 \mu\text{g}/100\text{ml}$). La teneur en zinc dans le plasma des brebis en fin de gestation est plus importante par rapport à celle des brebis en lactation ($99,98 \pm 10,39 \mu\text{g}/100\text{ml}$). La comparaison des moyennes plasmatiques laisse apparaître des différences significatives entre les femelles non gestantes et celles en début de gestation ($p < 0,05$), celles en fin de gestation ($p < 0,001$) et celles en lactation ($p < 0,01$).

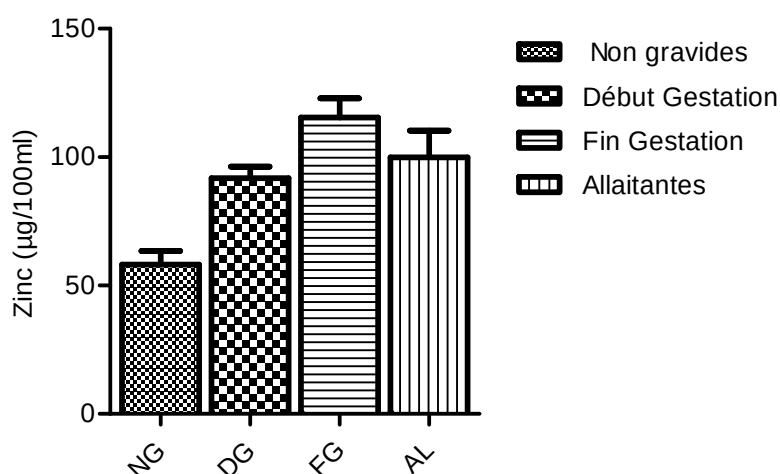


Figure 13. Variations de la zincémie ($\mu\text{g}/100\text{ml}$) en fonction du stade physiologique

Nos résultats sont en accord avec les normes des valeurs établies par Lamand (1986) (80 à $120 \mu\text{g}/100\text{ml}$) ; Aytekin et Aypak (2011) ($115 \pm 6,05 \mu\text{g}/100\text{ml}$) sauf pour le premier prélèvement où la zincémie est inférieure au limite de carence. Elles sont supérieures à ceux enregistrés par Meziane (2001) ($50,98-75,81 \mu\text{g}/100\text{ml}$) ; Zemoura et Athmani (2006) ($44-80 \mu\text{g}/100\text{ml}$) et par Akhtar *et al.* (2010) ($62,22-76,30 \mu\text{g}/100\text{ml}$) mais inférieurs à ceux de Yokus *et al.* (2004) ($80 \pm 0,21 \mu\text{g}/100\text{ml}$).

Les fourrages consommés par les brebis, avant la mise à la reproduction (période hivernale), sont des aliments lignifiés et de faible valeur alimentaire. Il est reconnu que la qualité

du fourrage a un rôle important sur la digestibilité du zinc surtout si nous sommes en présence d'un foin récolté tardivement ou encore un foin « lavé » (**Lamand et al., 1977**).

De plus, les parcours sur lesquels viennent paître les brebis, avant la gestation, sont très médiocres ce qui explique leur faible taux plasmatique en zinc. **Meziane (2001)** affirme qu'en hiver, le surpâturage sur ces parcours, poussent les animaux à déraciner les touffes d'herbes et à ingérer une grande quantité de terre. Cela a été constaté par **Jurjanz et Delagarde (2010)** rapportant que si la quantité d'herbe offerte est faible, l'ingestion de sol est significativement plus élevée. Cette contamination par la terre diminue la digestibilité du zinc et peut entraîner des carences secondaires ou induites (**Meziane, 2001**). Cela argumente en partie la faible teneur plasmatique en Zn chez les brebis non gravides ($p < 0,05$).

La chute de laine observée en hiver et en automne surtout pourrait être un signe précurseur de cette carence en zinc comme signalé par **Yakup et al. (1999)** cité par **Meziane (2001)** dans leur étude sur la carence expérimentale en zinc chez les moutons. Nos résultats sont en accord avec l'étude précédente, où pendant cette même saison, nous avons noté une diminution de la zincémie ($p < 0,05$) des brebis non gravides ($58,24\mu\text{g}/100\text{ml}$). **Yokus et al. (2004)** justifient les faibles teneurs en Zn plasmatique, par le faible apport alimentaire en Zn, mais aussi par l'inhibition par Cu de l'absorption intestinale du Zn (**Alonso, 2000**). Le taux en cuivre plasmatique en cette même période (avant la gestation) été élevé ($107,7\mu\text{g}/100\text{ml}$), cela argumente notre résultat.

Avec une ration dont la concentration en calcium est passée de 1 à 2%, **Suttle et Field (1970)** cité par **Courivaud (2005)** ont observé une augmentation de l'excrétion fécale de zinc, cette situation est due à l'existence d'un effet antagoniste entre le calcium et le zinc. Parallèlement, **Thilsing-Hansen et Jørgensen (2001)** ont démontré chez des vaches laitières, après l'administration orale d'oxyde de zinc, une baisse de la calcémie est observée accompagnée de signes cliniques. Cette corrélation négative pourrait expliquerait, en partie, l'augmentation de la zincémie ($p < 0,001$) et la diminution de la calcémie ($p < 0,01$) simultanément en fin de gestation.

2.4. Teneurs en cuivre et en zinc dans la laine des brebis

Les phanères présentent l'avantage d'une conservation exceptionnelle en ces deux oligo-éléments, ce qui permet de disposer d'information sur le statut minéral et/ou toxicologique et diagnostiquer donc une éventuelle intoxication ou carence (Goullé et Kintz, 1996). L'évaluation des teneurs minérales de la laine est largement utilisée pour déterminer le degré d'exposition de l'homme et de l'animal aux différents contaminants de l'environnement (Wilhelm, 1994 cite par Pereira *et al.*, 2004).

De notre part, nous avons utilisé la laine pour évaluer le statut minéral en déterminant les teneurs en cuivre et en zinc dans la laine des brebis en complément des analyses de sang et d'aliments des mêmes animaux. Les échantillons de laine avant d'être analysés sont lavés afin d'éliminer la partie contaminante d'origine externe (exogènes) et de garder uniquement la fraction d'origine interne ou encore dite réserves endogènes (Katarzyna *et al.*, 2009).

Les variations des teneurs en cuivre et en zinc dans la laine des brebis, au cours du cycle reproductif, sont rassemblées dans le tableau (24). Au regard du tableau, une diminution significative ($P < 0,001$) des teneurs en Zn dans la laine en début de gestation est enregistrée. Avant la saillie, nous avons noté la teneur, significativement, la plus importante ($P < 0,001$). La comparaison entre les teneurs moyennes en Cu de la laine n'a révélé aucune différence significative. Cependant, nous remarquons les teneurs cupriques les plus élevés dans la laine des brebis gestantes ($P > 0,05$).

Tableau24. Variations de la teneur en cuivre et en zinc dans la laine (ppm) en fonction du stade physiologique (Moyenne $\pm$ S.E.M)

Période Paramètre	Non gravides (NG)	Début de gestation (DG)	Fin de gestation (FG)	Allaitantes (AL)	Degré de significativité
Cuivre (ppm)	6,95 $\pm$ 0,74	7,64 $\pm$ 1,35	7,214 $\pm$ 1,31	6,67 $\pm$ 0,78	P > 0,05
Zinc (ppm)	184,64 ^{ac} $\pm$ 5,41	103,86 ^{bd} $\pm$ 11,28	157,93 ^{acd} $\pm$ 10,44	128,0 ^{bcd} $\pm$ 9,23	P < 0,001

a,b,c,d : Les moyennes dans la même ligne avec des lettres différentes indiquent une différence significatives ($P < 0,05$).

Tableau 25. Effet du stade physiologique sur les teneurs en cuivre et en zinc dans la laine

Périodes Paramètres	NG - DG	NG - FG	NG - AL	DG - FG	DG - AL	FG - AL
Cu	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Zn	***	NS	***	**	NS	NS

NS : Différence non significative ($p > 0,05$)

* : $p < 0,05$

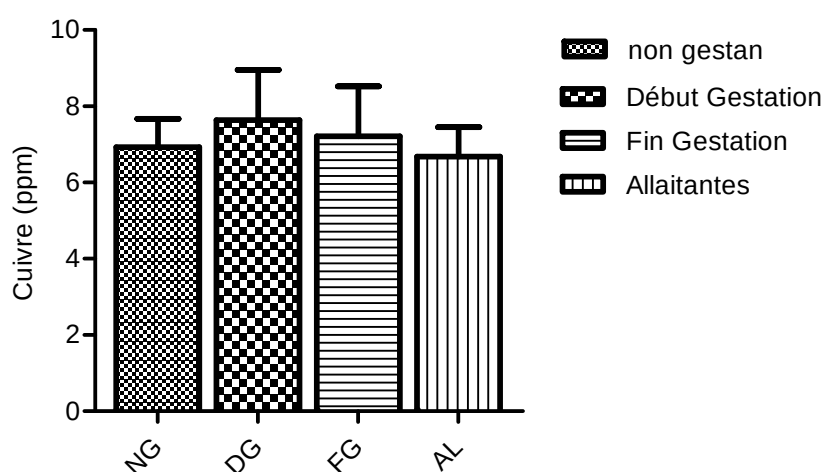
** : $p < 0,01$

*** : $p < 0,001$

2.4.1. Cuivre

Les processus de la pigmentation et de la kératinisation de la laine semblent être les premiers affectés par une faible teneur cuprique, de sorte qu'à certain niveau d'ingestion de cuivre, aucune autre fonction impliquant le cuivre n'est altérée (Kulcu et Yur, 2003).

La variation des teneurs en cuivre dans la laine des brebis reproductrices sont présentées dans le tableau (24) et la figure (14). Les valeurs respectives obtenues pour les brebis gestantes sont entre 7,64 et 7,21 ppm alors que celles des brebis vides ou en lactation sont entre 6,95 et 6,67 ppm.

**Figure14.** Variations de la teneur en cuivre dans la laine (ppm) en fonction du stade physiologique

Nos résultats sont inférieurs à la limite de carence proposée par **Lamand (1978a)** pour le cuivre dans les phanères située entre 8 et 15 ppm. Alors que pour **Martin et Aitken (1991)**, les teneurs adéquates en cuivre dans la laine sont entre 2.8 et 10 ppm.

De plus, les teneurs cupriques de la laine lavée au Triton X 100 sont dans la marge de valeurs proposées par **Afri-Mehennaoui et al. (2001)** (3,5-7,9ppm) ; **Bey et Laloui (2005)** (7,17±5,15ppm) et par **Katarzyna et al. (2009)** (6,04 -10,30 ppm). Elles sont inférieures à celles retrouvées par **Kadi (2002)** (8,08-9,55ppm) ; **Mallam (2006)** (7,76-9,62 ppm) mais restent supérieures à ceux rapportées par **Zemoura et Athmani (2006)** (4,96-5,89ppm).

L'étude statistique n'a révélée aucune différence significative ($p>0,05$) des teneurs en cuivre dans la laine des brebis au cours du cycle reproductif. Les teneurs en cuivre dans la laine les brebis gestantes sont généralement plus élevées en premier stade de gestation par rapport à celles du deuxième stade. Cela pourrait être dû à l'augmentation des besoins en minéraux pour satisfaire les exigences du ou des fœtus (**Mallam et al., 2010**). En effet pendant les 8 dernières semaines de gestation, la croissance du fœtus est rapide ; sur le plan nutritionnel, c'est une période critique, en particulier pour les brebis portant plus d'un fœtus (**Susan et Aiello, 2002**).

En effet le cuivre du poil ou de la laine est utilisé comme indicateur du statut cuprique de l'animal (**Underwood, 1977**). Et par la capacité du poil à accumuler les métaux durant de longues périodes (**ASTDR, 2001 cité par Mallam, 2006**), il permet de retracer l'histoire de l'exposition à la carence ou l'intoxication de l'animal (**Goullé et kintz, 1996 ; Katarzyna et al., 2009**). La plus faible teneur cuprique de la laine enregistrée en lactation pourrait être le témoin d'une hypocuprémie ancienne qui s'est manifestée en période de gestation (60,90 µg/100ml). Par contre, les mêmes résultats reflèteraient probablement, selon **Afri-Mehennaoui et al. (2001)**, le profil de consommation de l'animal tout au long de la période de pousse de la laine, surtout que l'analyse des fourrages verts a révélé une faible teneur en cuivre.

2.3.3.2. Zinc

La variation des teneurs en zinc dans la laine des brebis reproductrices sont présentées dans le tableau (24) et la figure (15). Les valeurs du Zn dans la laine des brebis non gestantes sont les plus élevées (184,6 ppm) alors que celles des brebis en gestation sont les plus faibles (103,8 ppm). L'étude statistique a montré une différence hautement significative ($p < 0,001$) entre les teneurs en zinc dans la laine des brebis avant la gestation et en début de gestation.

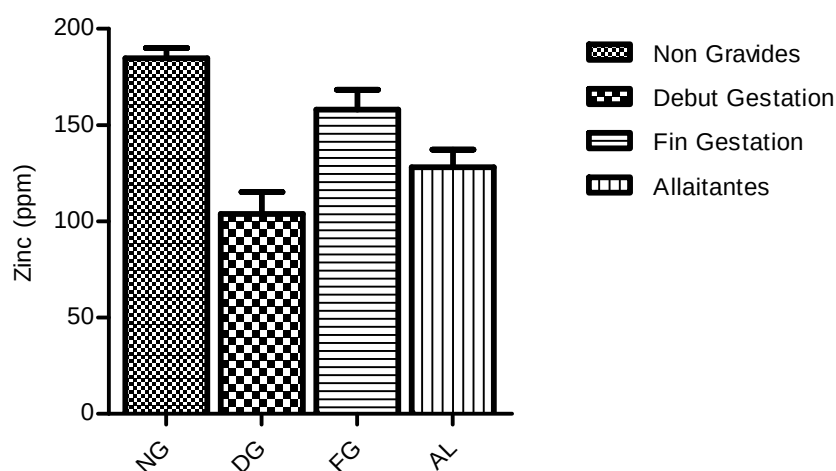


Figure15. Variations de la teneur en zinc dans la laine (ppm) en fonction du stade physiologique

L'intervalle physiologique proposé par Lamand (1978a) et Katarzyna *et al.* (2009) pour le zinc dans les phanères se situe entre (120-200 ppm) et (98,5-189 ppm). Nos résultats sont compris dans cet intervalle sauf pour le deuxième prélèvement où la teneur est inférieure à la limite de carence. En revanche, les valeurs rapportées par Afri-Mehennaoui *et al.* (2001) (109-115 ppm) ; Kadi (2002) (71,88-80,8 ppm) ; Zemoura et Athmani (2006) (77,53-94,2ppm) et ceux de Mallam (2006) (89,32-105,28 ppm) sont inférieures aux nôtres.

Les teneurs en zinc dans la laine sont généralement plus élevées en fin de gestation par rapport à celles de début de gestation. Cela pourrait être dû à l'augmentation des besoins en zinc et en autres minéraux pour satisfaire les besoins de ou des fœtus durant cette période critique (Mallam, 2006). En effet le stade physiologique de l'animal impose les différentes demandes en éléments minéraux (Ahmed *et al.*, 2001).

La baisse du zinc de la laine des brebis en début de gestation ($P < 0,001$) serait due à une carence en zinc dans l'alimentation (**Lamand, 1978a**), ou bien due à d'autres facteurs comme les différents types d'interactions entre les éléments minéraux, ceci par l'inhibition de l'absorption intestinale du zinc par le fer ou par le cuivre (**Solomonos et al., 1983 cité par Mallam, 2006**), ou encore par l'excès calcique car le calcium diminue l'absorption du zinc. Ainsi un apport élevé en calcium augmente les besoins en zinc (**Susan et Aiello, 2002**). Cette situation est observée en lactation, pendant la quelle, la calcémie a augmenté (89,5 mg/l) contre (76mg/l) en fin de gestation. Cependant, la richesse relative en zinc des fourrages et du concentré (63,31 mg/kg MS) pourrait expliquer la teneur élevée du zinc dans la laine des brebis vides.

Conclusion & Perspectives

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au terme de notre étude réalisée sur des brebis reproductrices de la race Ouled Djellal, nous avons pu déterminer les éléments minéraux majeurs et mineurs dans l'alimentation et les prélèvements biologiques (plasma et laine) par des techniques analytiques appropriées, dont le but d'évaluer la variation des teneurs plasmatiques en minéraux au cours du cycle reproductif. De cette première investigation, il ressort que :

- Les teneurs des aliments consommés par les brebis s'inscrivent dans les normes des apports recommandés par la littérature. Les fourrages verts sont les plus riches en matières azotées totales et en cendres surtout en Mg, Na, K, Cu et le Zn. Le concentré est l'aliment le plus énergétique et cela par sa teneur élevée en matière organique et en fibres alimentaires. Par contre, le foin malgré son caractère ligneux, renferme le taux le plus élevé en Ca et P.
 - L'eau de source de la ferme El-Baaraouia présente une charge minérale assez élevée en sodium mais cette teneur ne dépasse pas les normes de potabilité recommandées par l'OMS.
 - Avant la gestation, la zincémie est faible et traduit une carence. Nous avons noté des teneurs significativement faibles en phosphore et en cuivre et cela en début de gestation, ainsi qu'une diminution significative du calcium et du magnésium en fin de gestation. Cependant, au cours de la lactation, la phosphatémie est significativement élevée.
- Nos résultats ont montré que l'état physiologique n'a pas d'influence sur les teneurs plasmatiques en sodium, en potassium et en chlore.
- Pour la laine, les teneurs en cuivre restent stables tout au long de l'étude. En revanche, le taux en zinc dans la laine des brebis a diminué significativement en début de gestation.

Il importe, dès lors, que la gestation crée des perturbations du statut minéral, augmentant les besoins nutritifs des animaux. Ainsi, dans les conditions présentes, des carences nutritionnelles sont apparues en particulier calcique et magnésique chez les brebis gestantes ; il est nécessaire d'amener une correction de l'alimentation et cela par des apports en minéraux qui s'accordent avec les périodes critiques de la brebis palliant aux exigences métaboliques imposées. Et de ce fait, cela améliorerait sensiblement la situation sans avoir recours à des analyses lourdes et coûteuses, parfois même difficiles.

A la lumière des résultats obtenus dans cette étude, il est possible d'avancer que les déficiences en éléments nutritifs chez les végétaux et/ou les animaux sembleraient obéir à une dynamique, laquelle serait imputée directement aux teneurs très faibles en ces éléments dans les matériaux originels de ces sols. Il serait intéressant de connaître les bases du transfert des éléments minéraux du sol vers la plante puis vers l'animal dans un but permettant de reconnaître certaines situations à risques tant au niveau de l'exploitation qu'au niveau régional.

*Références
Bibliographiques*

- 1- Abbeddou S.; Riwhi S.; Iniguez L.; Zaklouta M.; Hess H.D.; Kreuzer M. (2010).**
Ruminal degradability, digestibility, energy content, and influence on nitrogen turnover of various Mediterranean by-products in fat-tailed Awassi sheep.
Anim. Feed Sci. Technol. 1-12
- 2- Abdelrahman M.M.; Abo-Shehada M.N.; Mesanat A.; Mukbel R. (2002).**
The requirements of calcium by Awasi ewes at early lactation.
Small Ruminant Research 45(2), 101-107.
- 3- Afri-Mehennaoui F.Z.; Kadi F.M., Amri S.; Mehennaoui S. (2001).**
Significations biologiques des teneurs en plomb, cadmium, zinc et cuivre dans la laine de mouton de la race Ouled Djelal.
Revue Sciences & Technologie 15, 109-112.
- 4- Ahmed M.M.M.; Hamed T.F.M.; Barri M.E.S. (2001).**
Variation of zinc and copper concentrations in the plasma of Nubian goats according to physiological state.
Small Ruminant Research 39, 189-193.
- 5- Akhtar M.S.; Farooq A.A.; Muhammad S.A.; Lodhi L.A.; Hayat C.S.; Aziz M.M. (2010).**
Serum electrolyte and mineral variations during pregnancy and lactation in Nili-Ravi Buffalo.
Biol. Trace Elem. Res. 137, 340-343.
- 6- Alonso M. L. (2000).**
Arsenic, cadmium, lead, copper and zinc in cattle from Galicia NW.
Spain, Sci. Total Environ. 246, 237-248
- 7- Ammerman D.; Goodrichard C.B. (1983).**
Advances in mineral nutrition in ruminants.
J. Ail. Sci, 57, 2,519-533.
- 8- Antunovic Z.; Peranda M.; Steiner Z. (2004).**
The influence of age and the reproductive status to the blood indicators of the ewes.
Arch. Tierz., Dummerstorf. 47 (3), 265-273.
- 9- Antunovic Z.; Sencic D.; Speranda M.; Liker B. (2002).**
Influence of the season and reproductive status of ewes on blood parameters.
Small Rumin. Res., 45, 39- 44.
- 10- AOAC (1990).**
The Association of Official Analytical Chemists official methods of analysis.
15 ed, VA : AOAC International, Arlington (USA).

11- AOAC (1995).

The Association of Official Analytical Chemists official methods of analysis.
16 ed, VA : AOAC International, Arlington (USA).

12- AOAC (1999).

The Association of Official Analytical Chemists official methods of analysis.
16 Ed, 5e révision VA : AOAC International, Gaithersburg MD (USA).

13- Apper-bossard E.; Peyraud J.L.; Dourmad J.Y. (2009).

Effet du bilan électrolytique de la ration sur l'équilibre acido-basique et les performances zootechniques des animaux domestiques à fort niveau de production.
INRA Prod. Anim, 22 (2), 117-130.

14- Arab H. (2006).

Evaluation de la valeur nutritive des principaux fourrages des zones arides et semi-arides.
Thèse de Magister. Batna. p 103.

15- Arab H.; Haddi M.L.; Mehennaoui S. (2009).

Evaluation de la valeur nutritive par la composition chimique des principaux fourrages des zones aride et semi-aride en Algérie.
Revue Sciences & Technologie C – N°30, pp50-58.

16- ASSONAPA (1996).

L'allevamento ovino.
2nd edition, ASSONAPA, Rome.

17- Aytakin I.; Aypak S.U. (2011).

Levels of selected minerals, nitric oxide, and vitamins in aborted Sakis sheep raised under semitropical conditions.
Trop Anim Health Prod 43:511–514.

18- Azab M.E.; Hussein A.; Abdel-Maksoud H.A. (1999).

Changes in some hematological and biochemical parameters during prepartum and postpartum periods in female Baladi goats.
Small Rumin. Res., 34, 77-85.

19- Badaoui S. (1999).

Evaluation des performances zootechniques de la brebis Ouled Djellal. Cas de reproduction-production laitière.
Mémoire de fin d'étude en Agronomie. Université de Badji Mokhtar- Annaba. 50 pp.

20- Baize D. (2000).

Guide des analyses en pédologie: choix, expression, présentation, interprétation.
Edition, INRA. Paris. p257.

21- Baumgartner W.; Pernthner A. (1994).

Influence of age, season and pregnancy, upon blood parameters in Australia Karakul sheep.
Small ruminant Research. 13 (2), 147-151.

22- Baumont R.; Dulphy J.P.; Sauvant D.; Tran G.; Meschy F.; Aufrère J.; Peyraud J.L.; Champciaux P. (2007).

Les tables de la valeur des aliments. In : INRA, Alimentation des bovins, ovins et caprins.
Ed. Quae, Paris : 181-275.

23- Bell B. (1997).

Mineral nutrition in sheep.
OMAFRA. p 87

24- Beniston NT. WS. (1984).

Fleurs d'Algérie.
Entreprise nationale du livre. Edition n°1822/84.p 293.

25- Bensaad E.K. (2000).

Influence de la substitution partielle de l'orge par la farine de gland du Chêne Vert sur certaines performances de la brebis Ouled Djellal.
Thèse de Magister. Université de Constantine. p 108.

26- Bey D.; Laloui S. (2005).

Teneurs en cuivre dans les poils et l'alimentation des chèvres dans la région d'El-Kantara.
Mémoire de docteur vétérinaire. Université de Batna. p59.

27- Bienfet V.; Hennaux A.; Vanden hende A.; Cottenie A.; Lomba F.; Chauvaux G.; Binot H. (1965).

Nutrition et infécondité chez les bovins.
An. Med. Vet. p 488-542.

28- Birthe P.; Inger W. (1976).

Importance of zinc for foetal and postnatal development. In: Nuclear Techniques in Animal Production and Health.
Atomic Energy Agency, Vienna, 607 pp.

29- Bocquier F.; Caja G. (2001).

Production et composition du lait de brebis : effet de l'alimentation.
INRA. Productions Animales. 14 (2): 129-140.

30- Bocquier F.; Therie Z.M.; Brelurut A. (1987).

L'utilisation du foin par la brebis.

In édition INRA Paris. P65-44.

31- Bocquier F.; Therie Z.M.; Brelurut A. (1987a).

Recommandations alimentaires pour les brebis en lactation.

Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70, 199-211.

32- Bocquier F.; Therie Z.M.; Brelurut A. (1987b).

Recommandations alimentaires pour les brebis en lactation.

Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70, 185-197.

33- Borella P.; Szilagyi A.; Than G.; Csaba A.; Giardino A.; Facchinetti F. (1990).

Maternal plasma concentrations of magnesium, calcium, zinc and copper in normal and pathological pregnancies.

Sci. Total Environ. **99**, 67-76.

34- Boudbia K. (2008).

Etude pratique de l'efficience d'un réseau d'irrigation goutte à goutte sur une exploitation agricole nouvellement créée.

Mémoire de fin d'étude en hydraulique. INSFP Khenchala. p 98.

35- Boudebza A. (2004).

Contribution à l'étude des profils biochimiques chez les vaches laitières dans la région de Constantine (relation entre profils biochimiques - stade physiologique et intervalle vêlage - vêlage).

Thèse de Magister. Université de Constantine. p 93.

36- Boudechiche L. ; Araba A. ; Ouzrout R. (2010).

Influence d'une complémentation de brebis en fin de gestation par des rebuts de dattes sur les performances d'allaitement.

Livestock Research for Rural Development 22 (3).

37- Boulfekhar L.; Brudieux R. (1980).

Peripheral concentrations of progesterone, Cortisol, aldosterone, sodium and potassium in the plasma of the Tadmit ewes during pregnancy and parturition.

J. Endocrinol., 84: 25-33.

38- Braithwaite G.D.; Glascock R.F.; Riazuddin S.H. (1970).

Calcium metabolism in pregnant ewes.

Br. J. Nutr., 24, 661-670.

39- Bravo D.; Meschy F. (2003).

Vers une révision des recommandations d'apports en phosphore chez le ruminant.
INRA Prod. Anim., 16 (1), 19-26.

40- Bravo D.; Sauvant D.; Bogaert C.; Meschy F. (2003 a).

Quantitative aspects of phosphorus absorption in ruminants.
Reprod. Nutr. Dev., May-Jun, 43 (3), 271-84.

41- Bravo D.;Sauvant D.; Bogaert C.; Meschy F. (2003 b).

Quantitative aspects of phosphorus excretion in ruminants.
Reprod. Nutr. Dev., May-Jun; 43 (3), 285-300.

42- Bremner I. (1987).

Involvement of metallothionein in the hepatic metabolism of copper.
J. Nutr.117: 19 – 29.

43- Brugere-Picoux J.; Brugere H. (1987).

Particularités de la biochimie clinique des Ruminants. Rec.
Med. Vet. 1987, 163(11): 1043-1053.

44- Brugere-Picoux J.;Brugere H. (1995).

Les maladies métaboliques.
La dépêche Technique. № 46, 30 pp.

45- Brulle L. (2008).

Diagnostic des carences en oligo-éléments chez les bovins.
Mémoire de docteur vétérinaire. ENV Lyon. p140.

46- Brunet F. (2002).

Rationnement et maladies métaboliques de la vache laitière.
Thèse docteur vétérinaire. ENV Lyon. p112.

47- Buckley W.T. (2000).

Trace elements dynamics. In: «Farm animal metabolism and nutrition» D'mello, J.P.F
CABI publishing, Edinburgh, UK, 161 – 182.

**48- Caple I.W.; Lee J.; Charmley E.; McLennan S.J.; Costa N.D.; McMeniman N.P.;
Grace N.D.; Masters D.G.; Hegarty R.S.; Robinson J. J.; Hess B.W.; Ternouth J.H.;
Judson G.J. (2007).**

Minerals in nutrient requirements of domesticated ruminants.
Csiro publishing. P115-186-1345.

49- Castillo J. D. (2004).

Physiologie rénale.

Département de biomédecine vétérinaire, Université de Montréal, faculté de médecine vétérinaire, 62p.

50- Ceylan, E.; Tanritamr P.; Dede D. (2009).

Changes in some macro-minerals and biochemical parameters in female healthy Siirt Hair goats before and after parturition.

J. Animal and Veterinary Advances, 8(3): 530-533.

51- Chachoua I. (2005).

Effets du traitement des pailles de céréales à l'urée plus mélasse sur certains paramètres zootechniques et sanguins chez les ovins.

Thèse de Magister. I.N.A.El-Harrach. pp 110.

52- Chapoutot P.;Ternois F.; Sauvant D. (1990).

Influence de l'azote des constituants pariétaux sur la dégradabilité in sacco de l'azote des aliments.

Reprod Nutr Dev suppl2.pp 149-150.

53- Chapuis Ph. (1991).

Les oligo-éléments en médecine et biologie.

Ed. Lavoisier tec et doc.-Paris. p78.

54- Cimtay I.; Olculu A. (2000).

Investigation on blood plasma and hair copper levels in clinically healthy cattle in Elazig and its vicinity.

J Vet Anim Sci 24:267–273.

55- Coleman S.W.; Henry D.A. (2002).

Nutritive value of Herbege.

Edition sheep nutrition. p243

56- Collas L. (2008).

La ration sèche chez la vache laitière: Etude de son impact sur la production laitière et la reproduction.

Thèse Docteur Vétérinaire. ENV Lyon p 146.

57- Courivaud A.X. (2005).

Zinc et production de semence de béliers de centre d'insémination artificielle.

Thèse Docteur Vétérinaire. Université de Toulouse n° 3 – 4087.p 55

58- Cousins R.J.; McMahon R.J. (2000).

Integrative aspects of zinc transporters.
J. Nut. 130 (suppl.): 1384 – 1387.

59- Craplet C.; Thibier M. (1980).

Le mouton.
Edition Vigot. Pages: 160, 161, 162, 163.

60- Cromwell G.L. (1997).

Copper as a nutrient for animals. In: «Handbook of copper compounds and applications»
Richardson, H.W.
Marcel Dekker Inc. Publisher, New York, USA, 177 – 202.

61- Cymbaluk, N.F.; Smart, M.E. (1993).

A review of possible metabolic relationships of copper to equine bone disease
Equine Vet. J. Suppl.16: 19 – 26.

62- Demarquilly C.; Jarrige R. (1981).

Panorama des méthodes de prévision de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages.
In Demarquilly C. (ed), Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants.
Edition INRA. p 41-59

63- Derradji-aouat R.; Naamoune S. (2003).

Rationalisation de l'élevage ovin dans le nord Algérien.
Mémoire de docteur vétérinaire. Université de Constantine. p 98.

67- Dias I.R.; Viegas C.A.; De Azevedo J.T; Costa E.M.; Lourenço P.; Rodrigues A.; Cabrita A.S.; (2008).

Assessment of markers of bone formation under controlled environmental factors and their correlation with serum minerals in adult sheep as a model for orthopedic research.
Lab Anim. Oct; 42(4):465-72.

65- Dias I.R.; Viegas C.A.; Silva A.M.; Pereira H.F.; Sousa C.P.; Carvalho P.P.; Cabrita A.S.; Fontes P.J.; Silva S.R.; Azevedo J.M.T. (2010).

Haematological and biochemical parameters in Churra-da-Terra-Quente ewes from the northeast of Portugal.
Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.62, n.2, p.265-272,

66- Didara M.; Florijančić T.; Šperanda T.; Bošković I.; Šperanda M. (2010).

Serum biochemical values of mouflon (*Ovis orientalis musimon*) according to age and sex.
Eur J Wildl Res. p10344-010-0439.

67- Djellouli H.M.; Taleb S.; Harrache-Chettouh D.; Djaroud S. (2005).

Qualité physico-chimique des eaux de boisson du Sud algérien : étude de l'excès en sels minéraux.

Cahiers d'études et de recherches francophones/Santé. Volume 15, Numéro 2, 109-12.

68- Dønnem I.; Randby Å.T.; Eknæs M. (2010).

Effects of grass silage harvesting time and level of concentrate supplementation on nutrient digestibility and dairy goat performance.

Anim. Feed Sci. Technol. pp3- 11.

69- Drogoul C.; Gadoud. R.; Joseph M.M.; Jussiau R.; Lisberney M.J.; Mangeol B.; Montméas L.; Tarrit. A. (2004).

Alimentation minérale. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage tome 1.

Educagri édition. p199- 216.

70- Drogoul C.; Gadoud. R.; Joseph M.M.; Jussiau R.; Lisberney M.J.; Mangeol B.; Montméas L.; Tarrit. A. (2004a).

Alimentation des ovins. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage Tome 2.

Educagri édition. p 241-277.

71- Dua K.; Care A-D. (1995).

Impaired absorption of magnesium in aetiology of grass tetany.

Br.Vet. J., Jul-Aug, 151 (4), 413-26.

72- Dudouet C. (2003).

La production du mouton.

2ème édition France Agricole. p245.

73- Dua K.; Care A-D. (1995).

Impaired absorption of magnesium in aetiology of grass tetany.

Br.Vet. J., Jul-Aug, 151 (4), 413-26.

74- Dufrasne I.; Gielen M.; Limbourg P.; Hornick J. I.; Istasse I. (1999)

Effets du changement et de la période de complémentation au pâturage sur les performances de taurillons finis en stabulation.

Ann. Méd. Vét. 138:561- 569p.

75- Elmer P. (1994).

Analytical methods for atomic absorption spectrometry.

The Perkin Elmer Corporation, USA.300pp.

76- Elnageeb M.E.; Abdelatif A.M. (2010).

The minerals profile in desert ewes (*Ovis aries*): effects of pregnancy, lactation and dietary supplementation.

American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sei., 7 (1): 18-30.

77- Endres D.B.; Rude R.K. (2008).

Disorders of bone. In: Burtis, ashwood, bruns (Eds) Tietz fundamentals of clinical chemistry, 6th Edn.

Saunders Elsevier Inc, St. Louis, pp 711–735.

78- Fantaine M. (1988).

Vade-mécum du vétérinaire.

16^{ème} édition Office des Publications Universitaires. Alger. pp 1642.

79- Fardeau R. (1979).

Les compléments minéraux chez la vache laitière.

Thèse Médecine vétérinaire, Toulouse, n°80. p89.

80- Faye B.; Grillet C. (1984).

La carence en cuivre chez les ruminants domestiques de la région d'Awash (Ethiopie).

Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop. **37** : 42-60.

81- Foucher F. (2000).

Dans le secret des centres de recherche.

La revue de l'alimentation animale, 539, 73-77.

82- Foucher F. (2006).

Toujours plus de concentré : La ration sèche se diversifie.

La revue de l'alimentation animale, 599 : 56-57.

83- Gadoud R.; Joseph M-M.; Jussiau R.; Lisberney M-J.; Mangeol B.; Montméas L.; Tarrit A. (1992).

Nutrition et alimentation des animaux d'élevage.

Tome 2, les éditions Foucher, Paris, p : 191-211.

84- Gazyagc S.; K. Azkur A.; Çağlayan O. (2011).

Comparison of hematological and biochemical parameters in sheep naturally and persistently infected with a border disease virus.

Trop Anim Health Prod 43:553–556.

85- Goering H.K.; Van Soest P.J. (1970).

Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications).

USDA Handbook (Washington, DC, USA). 379, 20 p.

86- Goodman H.M. (2003).

Maternal adaptation in pregnancy. In: Johnson RL (ed) Essential medical physiology, 3rd edn. Academic Press, New York, pp 453–466.

87- Gooneratne S.R.; Olkowski A.A.; Christensen D.A.(1989).

Sulfur-Induced Polioencephalomalacia in Sheep : Some biochemical Changes.
Can. J. Vet. Res., 53, 462-467.

88- Goullé, G.P. ; Kintz, P. (1996).

Un nouveau moyen d'investigation biologique : l'analyse des cheveux. Intérêt en pratique médicale.
Revue de Médecine Interne, 17 : 826-835.

89- Grace N.D.; Clark R.G. (1991).

Trace elements requirements, diagnosis and prevention of deficiencies in sheep and cattle. Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants. Proceedings of the Seventh International Symposium on Ruminant Physiology.
Academic, Press. Ed. 115 :321-346.

90- Graham T.W. (1991).

Trace elements deficiencies in cattle.
Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. Vol.7, N°1.

91- Greene L.W.; Webb K. E.; Fontenot J. P. (1983).

Effect of potassium level on site of absorption of magnesium and other macro minerals in sheep.
J. Anim. Sci. 56, 1214–1219.

92- Green LW.; fontenot J.P.; Webb K.E. (1983).

Effect of dietary potassium on absorption of magnesium and other macro-elements in sheep fed different levels of magnesium.
J. Anim.Sci. Vol 56,N° 5 ,1208-1221.

93- Gross D.R. (2009).

General Principles of Animal Selection and Normal Physiological Values.
Animal Models in Cardiovascular Research, 10. 7-1.

94- Gueguen L.; Barlet J.P. (1978).

Besoins nutritionnels en minéraux et vitamines de la brebis et de la chèvre. In l'alimentation de la brebis et de la chèvre.
4^{èmes} journées de la recherche ovine et caprine .France 1978.

95- Gueguen L.; Lamand M.; Meschy F. (1988).

Nutrition minérale. In : JARRIGE, R. Alimentation des bovins, ovins et caprins.
INRA, Paris, 95-111.

96- Gueguen L.; Pointillart A. (2000).

The bioavailability of dietary calcium.

J. Am. Coll. Nutr., 19(2 Suppl),119S-136S.

97- Günther T. (1990).

Magnesium deficiency generally enhanced cytotoxicity.

Mag. Bull.12, 61-64.

98- Haddad O. (1981).

Contribution à l'étude des profils biochimiques chez les ovins: Influence de l'alimentation.

Mémoire Maître ES Sciences Vétérinaire. ENV. Toulouse, 136p.

99- Haddi M. L.; Arab H.; Yacoub F.; Mehennaoui S. (2009).

Seasonal changes in chemical composition and in vitro gas production of six plants from Eastern Algerian arid regions.

Livestock Research for Rural Development 21 (4) 11pp.

100- Haenlein G.F.W. (1980).

Mineral nutrition of goats.

J. Dairy Sci.30, 1729-1742.

101- Hafid N. (2006).

L'influence de l'âge, de la saison et de l'état physiologique des caprins sur certains paramètres sanguins.

Thèse de Magister. Université de Batna, p 89.

102- Haldar A.; Bhattacharya B.; Duttagupta R. (1995).

Serum calcium and inorganic phosphorus status in crossbred female dairy cattle maintained under farm management system.

Indian J Anim Sci 34:29–32.

103- Hambidge K. M.; Casey C. E.; Krebs N. F. (1986).

Zinc in: Trace elements in human and animal nutrition.

Fifth edition, Academic Press Orlando, 2, 1-137.

104- Hamra-Kroua S.; Cancela da Fonseca J.P. (2009).

Dynamique saisonnière du peuplement de Collembolles d'un sol agricole de la ferme pilote d'El-Baaraouia (Wilaya de Constantine, Algérie)

Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, n° 31 (1), 33-43.

105- Hanzen C.H., Houtain J.Y., Laurent Y., Ectors F. (1996).

Influence des facteurs individuels et de troupeau sur les performances de reproduction bovine.

Ann.Méd.Vét.140,195-210.

106- Harold Copp M.D., (2004).

Calcium and phosphorus metabolism.

The American Journal of Medicine, Volume 22, Issue 2, 275-285.

107- Hidiroglou M. (1983).

Blood plasma minerals and vitamins and acid-base status of sheep raised under fluctuating or constant environment.

J Dairy Sci 66:67-72.

108- Hidiroglou, M.; Kempf J.E. (1981).

Maternal-foetal relationship of copper, manganese and sulphur in ruminants. A review.

J. Dairy Sci., 64: 1637-1649.

109- Haden A.; Coulon J.B.; Faverdin P.h. (1988).

Alimentation des vaches laitières. In : Jarrige, R. Alimentation des bovins, ovins et caprins.

INRA, Paris, p135-158.

110- Howell J.M.; Gawthorne J.M. (1987).

Copper in Animals and Man.

Vol. A. 125 pp. Vol B. 140 pp. CRC Press.

111- Hu W.; Murphy M.R. (2004).

Dietary cation-anion difference effects on performance and acid-base status of lactating dairy cows: a meta-analysis.

J Dairy Sci, 87, 2222-2229.

112- Huber K.; Walter C.; Schröder B.; Breves G. (2002).

Phosphate transport in the duodenum and jejunum of goats and its adaptation by dietary phosphate and calcium.

Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol., 283 (2), 296-302.

113- INRA (1978).

Alimentation des ruminants.

Edition INRA -France. p 621.

114- INRA (1981).

Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants –Tableau de la valeur alimentaire des fourrages – Ouvrage collectif dirigé par C. Demarquilly.

Edition INRA –France. p 580.

115- INRA (1988).

Alimentation des bovins, ovins et des caprins. Ouvrage collectif dirigé par Jarrige R.

Edition INRA –France, 476 p.

116- INRA (1995).

Nutrition des ruminants domestiques – Ingestion et digestion.
Collection mieux comprendre. INRA édition – France .p511.

117- ITEB-INRAP (1984).

Alimentation des bovins.
Ed. ITEB –Paris. p160.

118- ITGC (Institut technique des grandes cultures) (1995).

Les principales variétés de céréales cultivées en Algérie.
Catalogue. Algérie. p114.

119- Jarrige R. (1988).

Alimentation des bovins, ovins et des caprins.
Edition INRA –France, p 476.

120- Jarrige R. (1995).

Nutrition des ruminants domestiques, ingestion et digestion.
Édition INRA. p133.

121- Jarrige R.; Demarquilly C.;Dulphy J. P. (1982)

La conservation des fourrages.
Bull. Tchn. C.R.Z.V Theix, I.N.R.A., 50, 5-32.

122- Jean-Blain C. (2002).

Introduction à la nutrition des animaux domestiques.
E.M.Inter., Editions TEC et DOC.424p.

123- Jondroville C.; Revy P.S.; Jaff rezic A.; Dourmad J.Y. (2002).

Le cuivre dans l'alimentation du porc : oligoélément essentiel, facteur de croissance et risque potentiel pour l'homme et l'environnement.
INRA Prod. Anim.15: 247 – 265.

124- Juan M. (2006).

Les rations sèches sont-elles rentables ?
Production laitière moderne, (368) :6-22, (369) : 12-30.

125- Jurjanz S.; Delagarde R. (2010)

Ingestion de sol chez la vache laitière selon la quantité d'herbe offerte et le type de pâture.
Renc. Rech. Ruminants, 17. 109.

126- Kadi M.F. (2002).

L'étude des poils de bovins et de la laine de moutons en tant qu'indicateurs d'exposition à la pollution par le plomb, le cadmium, le cuivre et le zinc, dans la région de Batna.

Thèse de Magister. Université de Batna, p 90.

127- Kamoun M. (2008).

Recueil de méthode d'analyses et de mesures utilisées en alimentation animale.

Ecole Nationale de Médecine Vétérinaire de Sidi-Thabet. Centre de Publication Universitaire. P103.

128- Kallah Muh. S.; Bale J.O.; Abdullahi U.S.; Muhammad J.R.; Lawal R. (2000).

Nutrient composition of native forbs of semi-arid and dry sub-humid Savanas of Nigeria. Animal Feed Science and Technology 84 (2000) 137-145.

129- Katarzyna A. R.; Jerzy M.; Andrzej G. (2009).

Lead, cadmium, arsenic, copper, and zinc contents in the hair of cattle living in the area contaminated by a copper smelter in 2006 – 2008.

Bull Vet Inst Pulawy 53, 703-706.

130- Kayouecche F.Z. (1982).

Utilisation pratique des profils métaboliques chez les vaches laitières dans trois domaines autogérés de la wilaya de Constantine.

Mémoire Docteur Vétérinaire. Université Constantine. p 69.

131- Kebreab E.; Dijkstra J.; Bannink A.; Gerrits W.J.J.; France J. (2006).

Nutrient digestion and utilization in farm animals: Modelling approaches.

CABI Publishing. p 171- 225.

132- Khadjeh G.H. (1998).

Concentration of serum electrolytes in pregnant and non-pregnant camels (*Camelus dromedarius*).

J Camel Pract Res 5(2):289–290.

133- Kitouni A.; Belmokh N. (2007).

Etude morphobiométrique des reproducteurs de la race ovine Ouled Djellel.

Mémoire Docteur Vétérinaire. Université Constantine. p 81.

134- Kolb E. (1975).

Physiologie des animaux domestiques.

Vigot frères éditions-Paris. 974p.

135- Krajnicakova M.; Kovac G.; Kostecky M.; Valocky I.; Maracek I. (2003).

Selected clinico-biochemical parameters in the puerperal period of goats.

Bulletin of Veterinary. Inst. Pulawy, 47: 177-182.

136- Krebs N.F. (2000).

Overview of zinc absorption and excretion in the human gastro- intestinal tract.

J. Nutr. 130 (suppl.): 1374 – 1377.

137- Kulcu R.; Yur F. (2003).

A Study of Some Serum Mineral Levels before and During Pregnancy and During Lactation Period of Sheep and Cattle.

Biological Trace Element Research. Vol. 92, 275- 279.

138- Kurek L.; Lutnicki K.; Banach A. (2010).

Various types of hypophosphatemia in dairy cows and the clinical implications depending on the intensity of the deficiency.

Bull Vet Inst Pulawy 54, 35-41.

139- Kulkarni B.A.; Talvelkar B.A.; Kaushik R.V.; Gokani S.S.; Patankar D.D.; Kulkarni B.S. (1984).

Studies on serum biochemical constituents in lactating and dry Indian buffaloes.

Indian Vet J 61(7):564–568.

140- Laabassi F. (2006).

L'influence de l'âge, de la saison et de la race du cheval de course sur certains paramètres sanguins.

Thèse de Magister. Batna. p 81.

141- Lamand M. (1978).

Minéraux. Oligoéléments. In: Alimentation des ruminants.

Editions INRA publications, 143 – 159.

142- Lamand M. (1978 a).

Les oligo-éléments.

Dalfoz, Ed. Paris, p 78.

143- Lamand M. (1986).

La carence en zinc chez les ruminants dans « le zinc en médecine et biologie ».

Favier et al. Eds. Ed. Médicales internationales, 291-301.

144- Lamand M.; Barlet J.P.; Rayssiguier Y. (1986).

Particularités de la biologie clinique des minéraux chez les ruminants.

Rec. Méd. Vét., 162 (10), 1127-1132.

145- Lamand M.; Perigand S.; Bellanger J. (1973).

Enquête sur la fréquence et la répartition géographique des carences en oligo-éléments en France.

Cah. Méd. Vet. **42** : 155-175.

146- Le Coq R. (1965).

Manuel d'analyses alimentaire et d'expertises usuelles.

Edition Doin. Deren et Cie. Tome II. Paris, 241-251.

147- Le Houerou H. N. (1995).

Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique.

CIHEAM/ACCT, Options méditerranéennes, série B, n°10, 396 p.

148- Lemnouar- Haddadi N.F.Z. (2001).

Etude comparative de deux pâturages (Jachère et *Médicago*), effet sur le gain de poids et le métabolisme chez les ovins.

Thèse de magister. Université de Constantine, p156.

149- Lippmann B. J. (1995).

Fluid and electrolyte management, in Manual of Medical Therapeutics.

28th ed. G. A. Ewald and C. R. McKenzie, ed., Little Brown, New York.

150- Maach L.; Chadli M.; Alali S.; Zouagui Z.; Sysavane F.M. (2000).

Essai de prévention de l'ataxie enzootique de l'agneau au Maroc.

Revue, Méd. Vét. **151** :421-428.

151- Madelaine M. (1999).

Toxicologie du potassium: risque pour les animaux domestiques, et l'environnement. Etude bibliographique.

Thèse Doc. Vét., ENV de Nante, p 119.

152- MADR (Ministère de L'Agriculture et du Développement Rural), (2003).

Rapport National sur les Ressources Génétiques Animales: Algérie.

Commission nationale AnGR. p 45.

153- Mallam M. (2006).

Statut cuprique des ovins de deux zones distinctes (montagne et plaine) dans la région de Batna.

Thèse de Magister. Université de Batna, p131.

154- Mallam M.; Tlidjane M.; Mehennaoui S. (2010).

Variations des teneurs en cuivre et en zinc dans la laine des ovins en relation avec la région, l'âge, et le stade de gestation.

Renc. Rech. Ruminants, 17, 97.

155- Mandal A. B., Yadav P. S., Sunaria K. R., Kapoor V., Maan N. S., (1996).

Mineral status of buffaloes in Mohindergarh district of Haryana.

Indian J Anim Sci 66(8):849–851.

156- Marco I, Vinas L, Velarde R, Pastor J, Lavin S. (1998).

The stress response to repeated capture in Mouflon (*Ovis ammon*)-physiological, haematological and biochemical parameters.

Zentralbl Veterinarmed [A] 45:243–253

157- Masek T.; Mikulec Z.; Valpotic H.; Pahovic S (2007).

Blood biochemical parameters of crossbred Istrian x East Friesian dairy ewes: relation to milking period.

Ital.J.Anim.Sci. Vol. 6, 281-288.

158- Martens H.; Leonhard S.; Gäbel G. (1991).

Minerals and Digestion. In: Rumen microbial metabolism and ruminant digestion.

INRA Editions, p: 199-216.

159- Martens H.; Schweigel M. (2000).

Pathophysiology of grass tetany and other hypomagnesemias. Implications for clinical management.

Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract., 16 (2), 339-368.

160- Martin G. B.; White C. L. (1992).

Effects of dietary zinc deficiency on gonadotrophin secretion and testicular growth in young male sheep.

J. Reprod. Fert., 96, 497-507.

161- Matrat M. (1976).

N'oubliez pas le sel, ni les oligo-éléments.

Rev. élevage, 57 : 35-39.

162- Marx D. J. (2002).

Les maladies métaboliques chez les ovins.

Thèse Doctorat Vétérinaire, -ENV d'Alfort, 140p.

163- Mehennaoui S. (1985).

Dosage du plomb, du cadmium, du zinc et du cuivre dans le sang et les poils de bovins.

Mémoire de DEA de Toxicologie, Paris, VII 64 P.

164- Mertens D. R. (1997).

Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows.

J. Dairy Sci., 80 : 1463-1481.

165- Merikhi R.; Ghemara F. (2009).

Les troubles métaboliques chez la vache laitière en fin de gestation et en début de lactation.
Mémoire Docteur Vétérinaire. Constantine. N°09-059. p 99.

166- Meschy F.; Gueguen L. (1995).

Ingestion et absorption des éléments minéraux majeurs.
In Nutrition des ruminants domestiques Editions INRA 1995 pp 583 – 599.

167- Meschy F.; Guéguen L. (1998).

Les recommandations d'apport alimentaire en éléments minéraux: analyse et perspective.
Renc. Rech. Rum., 5, 235-240.

168- Meschy F. (2002).

Eléments minéraux majeurs : données récentes chez les caprins.
INRA Prod. Anim., 15 (4), 267-271.

169- Meschy F. ; Ramirez-Perez A.H. (2005).

Evolutions récentes des recommandations d'apport en phosphore pour les ruminants.
INRA Prod. Anim., 18 (3), 175-182.

168- Meschy F., Ramirez, A.H. (2007).

Effet de la solubilité du phosphore alimentaire sur son utilisation digestive et métabolique chez la chèvre en lactation.
Renc. Rech. Ruminants, 14, 259.

169- Meschy F., Peyraud J.L. (2004).

Teneurs en ions forts des fourrages et calcul de la valeur de leur bilan alimentaire cations anions et de leur bilan électrolytique.
Renc. Rech. Rum., 11, 255.

170- Meziane T. (2001).

Contribution à l'étude de la salinité de l'eau de boisson et d'un régime à base de paille chez la brebis de la race Ouled Djellal dans les hauts plateaux Sétifiens.
Thèse de Doctorat, Constantine, p 143.

171- McDowell L.R. (1992).

Minerals in animal and human nutrition.
San Diego Academic Press. p 524.

172- Milhaud G.; Mehennaoui S. (1988).

Indicators of lead and cadmium exposure. In cattle: I- Results in polluted area.
Vet. Hum. Toxicol. **30**: 513-517.

173- Miller W. J.; Blackmon M.; Gentry R. P.; Pate F. M. (1991).

Zinc absorption, metabolism and endogenous excretion in zinc-deficient and normal calves over an extended time.

Journal of Dairy Science, 74, 3535-3543.

174- Minatel L.; Carfagnini J.C. (2002).

Evaluation of the diagnostic value of plasma copper level in cattle.

Preven Vet Med 53:1-5.

175- Molle G.; Sitzia M.; Decandia M.; Fois N.; Scanu G.; Ligios S. (2000).

Intake and performance of dairy ewes grazing management 209 grazing Mediterranean forages either as pure or mixed pastures.

Options Méditerranéennes, 52:187–192.

176- Mongin P. (1981).

Recent advances in dietary cation-anion balance: applications in poultry.

Proc. Nutr.Soc., 40, 285.

177- Mostaghni K.; Badieli A.K.; Emadi A.K. (2005).

Haematology and serum biochemistry of captive wild sheep (*Ovis orientalis esphahanica*) in Iran.

Comp Clin Path 13: 158–161.

178- Niar A. (2001).

Maîtrise de la reproduction chez les ovins en Algérie.

Thèse en vue d'obtention de diplôme de doctorat en reproduction animale. p124-165.

179- NRC (National Research Council) (1980).

Mineral Tolerances of Domestic Animals.

National Research Council, National Academy of Science, Washington, DC.

180- Olsson K.; Josater-Hermelin J.; Hydbring E.; Dahlborn k. (1995).

Heat stress causes excessive drinking in fed and food deprived pregnant goats.

Comp. Biochem. Physiol. APhysiol.110, 309-317.

181- Osman N.I.E.D.; Johnson E.H.; Al-Busaidi R.M.; Suttle N.F. (2003).

Effects of breed, neonatal age and pregnancy on the plasma copper status of goats in Oman.

Veterinary Research communications, 27. 219-229

182- Otto F.; Vilela F.; Harun M.; Taylor G.; Baggasse P.; Bogin E. (2000).

Biochemical blood profile of Angoni cattle in Mozambique.

Israel Veterinary Medical Association, V.55 (3)

183- Ouedraogo G.A.; Barry M.; Kanwé B.A.; Sawadogo G.J. (2008).

Variations des profils métaboliques lors de gestation à terme et d'avortement chez des chèvres Mossi au Burkina Faso.

Revue Méd. Vét., 159, 2, 112-118.

184- Pandiyan G.D.; Ghosh P.R.; Das B.C.; Das B.K.; Sanval S. (2005).

Studies on sodium and potassium metabolism and subsequent influence on electrocardiogram in unilaterally adrenalectomized black Bengal goat (*Capra hircus*).

J. Vet. Sci., 6 (4), 273-278.

185- Paragon B.M. (1984).

L'alimentation minérale de la vache laitière.

ENV d'Alfort, 67p.

186- Payne J.M. (1983).

Maladies métaboliques des ruminants domestiques.

Editions du Point Vétérinaire, p 190.

187- Payne J.; Hallemann G.; Savey M. (1983).

Maladies métaboliques des Ruminants Domestiques.

Edition du Point Vétérinaire, Paris, 1983,190 pp.

188- Payne J.M.; Rowlands G.J.; Manston R.; Dew S.M.; Parker W.H. (1974).

A statistical appraisal of the results of the metabolic profile tests on 191 herds in the BVA/ADAS joint exercise in animal health and productivity .

Br.Vet.J.,130; 34-44.

189- Percival S.S. (1998).

Copper and immunity.

Am. J. Clin. Nutr.,67: 1064 – 1068.

190- Pereira R.; Ribeiro R.; Gonçalves F. (2004).

Scalp hair analysis as a tool in assessing human exposure to heavy metals (S.Domingos mine, Portugal).

Science of the Total Environment, **327** : 81-92.

191- Périé A. (2009).

Alimentation bovine. Science et pratique.

Dépêche Vétérinaire n°1029. 1-3p.

192- Perry T.W.; Cecava M. (1995).

Beef cattle feeding and nutrition.

Academic Press 2nd ed. P36.

193- Ponter A.A.; Guélou K.; Duvaux-Ponter C. (2005).

Influence de l'alimentation sur la mortalité embryonnaire.

Le Point Vet., Numéro spécial «Reproduction des ruminants: maîtrise des cycles et pathologie»: 100-105.

194- Powell J.J.; Jugdaohsingh R.J.; Thompson R.P.H. (1999).

The regulation of mineral absorption in the gastrointestinal tract.

Proc. Nutr. Soc.58: 147 – 153.

195- Prud'Hon M. (1976).

La croissance de l'ageau: ces caracteristiques et ces lois.

2ème journée de la recherche ovine et caprine. INRA. p 7-20.

196- Przemysław S.; Stanisław M.; Sławomir Z. (2008).

Yield and composition of milk and blood biochemical components of ewes nursing a single lamb or twins.

Bull Vet Inst Pulawy 52, 591-596.

197- Pulina G.;Bencini R. (2004).

Nutrition and Reproduction in Dairy Sheep Nutrition.

Ed. CABI Publishing. p109.

198- Rached-Mosbah O. (1977).

Contribution à l'élaboration de la carte pédologique de la station expérimentale des grandes cultures d'El-Baaraouia, Constantine.

Mém. DES Ecopédologie, Univ. Constantine, 66 p.

199- Ramdane M. S.A. (2003).

Recueil des Communications Atelier N°3 «Biodiversité Importante pour l'Agriculture». MATE-GEF/PNUD Projet ALG/97/G31.

200- Reinhardt T.A.; Horst R.L.; Goff J.P. (1988).

Calcium, phosphorus and magnesium homeostasis in ruminants.

Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pracl.4 (2), 331-350.

201- Rekik M.; Ben Salem H.; Lassoued N.; Chalouati H.; Ben Salem I. (2010).

Supplementation of Barbarine ewes with spineless cactus (*Opuntia ficus-indica f. inermis*)

cladodes during late gestation-early suckling: Effects on mammary secretions, blood metabolites, lamb growth and postpartum ovarian activity.

Small Ruminant Research 90- 53–57.

202- Rekik M.; Mahouachi M. (1997).

Élevage des ovins et des caprins dans les régions semi-aride de la Tunisie.

Ecole supérieure d'Agriculture du Kef (E.S.A.K). p 23, 25, 26 40.

203- Revy P.S.; Jondroville C.; Dourmad J.Y.; Nys Y. (2003).

Le zinc dans l'alimentation du porc : oligoélément essentiel et risque potentiel pour l'environnement.

INRA Prod. Anim.16: 3 – 18.

204- Riffard J. (1988).

Le cuivre et les ruminants 1er partie: Métabolisme, rôle, épidémiologie, des carences.

Editions du Point vétérinaire. 20: 905 – 911.

205- Rivière R . (1978).

Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical.

2eme édition, institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux. p 13- 45.

206- Robertson H.A.; Marr A.; Moodie E.W. (1956).

Milk fever.

Veterinary Record, 68(13): 173-184.

207- Rouissi H.; Ben Souissi N.; Dridi S.; Chaieb K.; Tlili S.; Ridene J. (2001).

Performances zootechniques de la race ovine Sicilo-Sarde.

Options méditerranéennes série A, Ressources. 46 : 231-236.

208- Rosol T.J.; Capen C.C. (1997).

Calcium-regulating hormones and diseases of abnormal mineral (calcium, phosphorus, magnesium) metabolism.

In KANEKO, JJ. HARVEY, J.W. BRUSS. p 53–57.

209- Rowland G.J. (1980).

A review of variations in the concentrations of metabolites in the blood of beef and dairy cattle associated with physiology , nutrition and disease ,with particular reference to the interpretation of metabolic profiles .

World .Rev.Nutr.Diet.35:172.

210- Rowlands G.W.; Little W.; Manston R.; Dew Sally M. (1974).

The effects of season on the composition of the blood of lactating and non lactating cows as revealed from repeated metabolic profile tests on 24 dairy herds.

J.Agric.Sci., lamb, 83, 27-35.

211- Ruppel P.; Fouche J. G.; Istasse L.; Hornick J. L. (2000).

Effets de la complémentation au moyen des blocs multinationnels sur les performances zootechniques des brebis Djalloké et des chèvres de races West African Dwarf.

Ann. Méd. Vét. 144-161p.

212- Saeed A., Khan I. A.; Hussein M.M. (2009).

Change in biochemical profile of pregnant camels (*Camelus dromedarius*) at term.
Comp Clin Pathol 18:139–143.

213- Sakhaee E.; Kazeminia S. (2010).

Relationship between liver and blood plasma copper level and abortion in cattle.
Comp Clin Pathol 580-010-1020-7.

214- Sanchez W.K.; beede D.K. (1994).

Interactions of sodium, potassium, and chloride on lactation, acid-base status, and mineral concentrations.
J Dairy Sci., 77, 1661-1675.

215- Sauvant D. (1988).

La composition et l'analyse des aliments.
In : Jarrige R.(ed), Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. INRA, Paris. 305-314.

216- Schroder B.; Kappner H.; Failing K.; Pfeffer E.; Breves G. (1995).

Mechanisms of intestinal phosphate transport in small ruminants.
Br. J. Nutr., 74 (5), 635-48.

217- Schryver, H.F.; Hintz, H.F.; Lowe, J.E. (1980).

Absorption, excretion and tissue distribution of stable zinc and ⁶⁵zinc in ponies.
J. Anim. Sci. 51: 896 – 902.

218- Selmi H.; N'cir M.; Rekik B.; Ben Gara A.; Rouissi H. (2009).

Performances de reproduction et de production en relation avec l'état sanitaire des brebis laitières Sicilo-Sarde.
Livestock Research for Rural Development .p 8- 21.

219- Shen X.Y.; Du G.Z.; Li H. (2005).

Studies of naturally occurring molybdenum-induced copper deficiency in the yak.
The Veterinary Journal, 171: 352-357.

220- Shibu J.K.; Philomina P.T.; Ramnath V. (2002).

Serum profile of calcium, phosphorus and magnesium in crossbred heifers as influenced by gestation and early lactation.
Indian J Physiol Pharmacol 46 (2):245–248

221- Siggurdson H. (1988).

The effects of flock, number of fetuses and age on some biochemical blood constituents in ewes in late pregnancy under field conditions.
J Vet Med A 35:417–423

222- Slen S.B.; Whiting F. (1952).

Wool production as affected by the level of protein in the ration of the mature ewe.
J Anim Sci. 11:156-165.

223- Smith R.P.; Braun R.K.; Rounsaville T.R.; Oltenacu P.A. (1982).

The incidence of reproductive disorders and their effects on reproductive performance in commercial dairy herds.
J. Dairy Sci. 65, Suppl.1, 205.

224- Soltner D. (1999).

Alimentation des animaux domestiques. Tome 1: Les principes de l'alimentation pour toutes les espèces.
Ed. Sciences et techniques agricoles, Saint –Germes-sur-Loire. pp129.

225- Sowande O.S.; Aina A.B.J. (2001).

Magnesium nitrate as dietary additive in the nutrition of West African Dwarf goat.
Arch. Zootec., 50, 335-341.

226- Stolkowski J.; Lefevre M. (1980).

Augmentation du nombre de femelles dans la descendance de vaches traitées par la vitamine D₃.
Bull.soc. veto pratique. France, 64 (7) 523-544.

227- Susan E.; Aiello B.S. (2002).

Le manuel vétérinaire Merck.
8^{ème} édition. Edition Merck & CO. INC. Whitehouse Station, N.J. U.S.A. p 2297.

228- Swenson M.J.; Reece W.O. (1993).

Physiological properties and cellular and chemical constituents of blood. In: Duke's Physiology of Domestic Animals. 11th Edition. (Editors: M.J. Swenson, and O.R. Williams,).
Cornell University Press, Ithaca and London, pp: 15-41 and 518-527.

229- Swinkels, J.W.G.M.; Kornegay, E.T.; Verstegen, M.W.A. (1994).

Biology of zinc and biological value of dietary organic zinc complexes and chelates.
Nutr. Res. Rev. 7 : 129 – 149.

230- Sylvie M.; Sayn M.J.; Benoit E.; Garnier F.; Delatour P. (1982).

Valeurs usuelles en biochimie clinique vétérinaire.
Laboratoire de biochimie, ENV de Lyon, p 64.

231- Theriez M.; Bocquier F.; Brelurut A. (1987).

Recommandations alimentaires pour les brebis à l'entretien et en gestation.
Bull. Tech. CRZV Theix, INRA, 70, 185-197.

232- Thibault C.; Levasseur M.C. (1991).

La reproduction chez les mammifères et l'homme.
INRA et Ellipses. Paris, p 1-768.

233- Thilsing-Hansen T.; Jørgensen R.J. (2001).

Serum calcium response following oral zinc oxide administrations in dairy cows.
Acta Vet. Scand. vol. 42, n°2, 271-278.

234- Thionoane Y. (1982).

Contribution à l'étude de l'alimentation minérale des bovins au Sénégal. Les macro-éléments.
Thèse docteur d'état. N°23. p44-60

235- Thomas F.M.; Potter B. J. (1976).

The site of magnesium absorption from the ruminant stomach.
Br. J. Nut., **36**, 37-45.

236- Thomas W.; Graham M.C.; Thurmond F.; Charles M.; Charles A.; Holmberg M.L.; Anderson C.L. (1994).

Relationships between maternal and fetal liver copper, iron, manganese, and zinc concentrations and fetal development in California Holstein dairy cows.
J. Vet. Diagn Invest 6:77-87.

237- Thornton I. (2002).

Geochemistry and the mineral nutrition of agricultural livestock and wildlife.
Applied geochemistry, **17** : 1017-1028.

238- Tietz N.W.; Prude E.L.; Sirgard-Anderson O. (1994).

Tietz Textbook of Clinical Chemistry.
2nd Edn. W. B. Saunders Company, London, pp: 1354-1374.

239- Timet D.; Emanovic D.; Herak M.; Kraljevic P.; Mitin V. (1981).

Rôle des ions sodium dans l'absorption gastrique du calcium chez les ruminants.
Ann.Rech.Vét, 12(1) ,47-56.

240- Todd J.R. (1969).

Magnesium metabolism in ruminants: Review of current knowledge. In: Trace mineral studies with isotopes in domestic animals.
Vienna; International Atomic Energy Agency, 131 – 140.

241- Toussan G. (2001).

L'élevage des moutons.
Edition Vecchi, p192.

242- Tremblay G.F. ;Petit H.V.; Lafrenière C. (2002).

Notions de qualité des fourrages.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. p65.

243- UE/OMS (1998).

Comparaison de normes sur l'eau potable UE/OMS.

<http://www.lenntech.fr/francais/norme-eau-potable-oms-ue.htm>.

244- Underwood E.J. (1977).

Copper In : Trace elements in human and animal nutrition.

4th Edition. Academic Press, London, 56-82.

245- Underwood E.J. (1981).

The mineral nutrition of livestock.

CAB (ed) Commonwealth Agricultural Bureaux, London, 91-111.

246- Underwood E.J.; Suttle. N.F. (1999).

The mineral nutrition of livestock.

CAB International. London. 3rd ed. p 601.

247- Vallee B.L. (1983).

Zinc in biology and biochemistry. In: «zinc enzymes».

Spiro, T.G. p 80-89.

248- Van Aken D.; DE Bont J.; Van Holm L.; Ranawana S. S. E. (1991).

A study on mineral status of cattle in a dairy farm in Sri Lanka.

Indian Vet. J. **68**, 371–374.

249- Van Soest P.J.; Robertson J. B.; Lewis B. A. (1991).

Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition.

J. Dairy Sci. **74**, 3583-3597.

250- Vázquez-Armijo J. F.; Rojo R.; Salem A.Z.M.; López D.; Tinoco J. L.; González A.; Pescador N.; Domínguez-Vara I.A. (2011).

Trace elements in sheep and goats reproduction: A review.

Tropical and Subtropical Agroecosystems, **14**: 1–13.

251- Vicat M. (1983).

Aspects actuels de la tétanie d'herbage : étiologie, pathogénie, traitement et prophylaxie.

Thèse de doctorat vétérinaire. Université Claude Bernard. Lyon. p 97.

252- Wilson G.F. (2001).

Calcigard concept.

NewZealand Veterinary Journal 49:115-8.

253- Wilson G.F. (2003).

A new practical method to prevent hypocalcaemia in dairy cows at pasture.

Acta vet. scand. Suppl. 98 – 100.

254- Wolter R. (1976).

Rapport entre la solubilité citrique des composés du phosphore et de l'assimilabilité du phosphore.

Rev. Méd. Vet, 127: 163-165.

255- Wolter R. (1990).

Alimentation de la vache laitière,

3ème édition, édition France agricole. p 344.

256- Wolter R (1992).

Alimentation de la vache laitière.

Editions France agricole, p 223.

257- Wolter R. (1999).

Alimentation du cheval.

2ème Edition. Ed France Agricole, p 478.

258- Wolter R.; Gou Y. (1979).

Le rationnement pratique de la vache laitière, 2eme session de perfectionnement sur l'alimentation des vaches laitières et allaitantes.

Edition France agricole. p132.

259- Yakhlef H. (2003).

Approche systématique pour l'analyse du rôle de la paille traitée à l'urée ou à l'ammoniac dans l'amélioration des systèmes alimentaire des ovins.

Thèse de doctorat. I.N.A. El Harrach. p156.

260- Yano F.; Yano H.; Breves G. (1991).

Calcium and phosphorus metabolism in ruminants. In: Proceedings of the Seventh International Symposium on Ruminant Physiology.

Academic Press, New York, pp. 277–295.

261- Yildiz A.; Balikci E.; Gurdogan F. (2004).

Serum mineral levels at pregnancy and postpartum in single and twin pregnant sheep.

Biological Trace Element Research Vol. 107, 254–247.

262- Yildiz H.; Kaygusuzoğlu E. (2005).

Investigation of Ca, Zn, Mg, Fe and Cu concentrations in blood and milk of cows with negative and positive CMT results.

Bull Vet Inst Pulawy 49, 209-213.

263- Yokus B.; Cakir U.D. (2006).

Seasonal and physiological variations in serum chemistry and mineral concentrations in cattle.

Biol Trace Element Res 109:255–266.

264- Yoku B.; Cakir D.U.; Kurt D. (2004).

Effects of Seasonal and Physiological Variations on the Serum Major and Trace Element Levels in Sheep.

Biological Trace Element Research Vol. 101.p 241- 2.

265- Zemoura H.; Athmani M. (2006).

Détermination des teneurs en cuivre et en zinc dans l'alimentation, le plasma et les poils des chèvres de la région d'Arris (W. Batna).

Mémoire de docteur vétérinaire. Batna. p 83.

266- Zobeidi A.; Messiatfa A. (2010).

Situation du taux de fluorures dans les eaux et les principaux aliments consommés dans la willaya d'El-Oued.

Rev. Sci. fond. App., vol 2 N° 2 (2010), 97-106.

STATUT MINERAL DES BREBIS REPRODUCTRICES EN RELATION AVEC LEURS RATIONS ALIMENTAIRES

Résumé :

L'étude a pour objectif d'estimer le statut minéral des brebis de la race Ouled Djellal en relation avec leur état physiologique et alimentaire par la détermination des teneurs en Ca, P, Mg, Na, K, Cl, Zn, Cu, Fe et Mn dans le plasma et/ou la laine et l'aliment. L'analyse chimique de la ration est une démarche complémentaire qui permettra de mettre en évidence le niveau nutritionnel.

Une teneur significativement faible ($P < 0,001$) en zinc dans le plasma des brebis non gravides et celles de la laine en début de gestation a été révélée. Durant la même période la cuprémie a diminué significativement ($P < 0,05$). Parallèlement, une diminution significative de la calcémie ($P < 0,01$) et la magnésémie ($P < 0,001$) est constatée en fin de gestation. En revanche, la phosphatémie augmente significativement ($P < 0,01$) en phase d'allaitement. Il est à signaler que les teneurs plasmatiques de sodium, de potassium et de chlore ne présentent pas de variations significatives ($P > 0,05$) en fonction du stade physiologique.

Le plasma et la laine sont de bons indicateurs biologiques; le premier est considéré comme un examen confirmatif et immédiat, alors que le second, comme une démarche préventive et un examen complémentaire.

Mots clés : Statut minéral - Plasma - Laine - Brebis reproductrices - Alimentation.

Abstract:

The study aims to estimate the mineral status of Ouled Djellal ewes in relation to their physiological and food state by the determination of Ca, P, Mg, Na, K, Cl, Zn, Cu, Fe and Mn levels in plasma and/or wool and food. The chemical analysis of the ration is a complementary step which highlights the nutritional level. A significant reduction ($P < 0,001$) of plasma zinc levels of the empty ewes and a similar pattern was observed in wool of early pregnancy. During the same period the concentration of copper decreased significantly ($P < 0,05$). In parallel, lower calcium ($P < 0,01$) and magnesium ($P < 0,001$) levels are noted at late pregnancy. On the other hand, the phosphatemia increases significantly ($P < 0,01$) in phase of breast feeding. It is to be announced that the concentrations of sodium, potassium and chlorine do not present significant variations ($P > 0,05$) according to the physiological stage. Plasma and the wool are good biological indicators; the first is considered as a confirmative and immediate examination, whereas the second like a preventive step and a complementary examination.

Key words: Mineral statute - Plasma - Wool - Reproductive ewes - Food.

ملخص:

إن الدراسة تهدف إلى تقييم المستوى المعدني للنعجة سلالة أولاد جلال باستطلاع تأثير الحالة الفيزيولوجية و الغذائية و ذلك بتحديد نسب كل من الكالسيوم، الفسفور، المغنيزيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، الكلور، النحاس، الزنك، الحديد و المنغنيز في المصل و/ أو الصوف و الغذاء.

انخفاض محسوس ($P < 0,001$) في نسبة الزنك في مصل الإناث الفارغة كذلك في الصوف عند بداية الحمل. في نفس هذه المرحلة لاحظنا انخفاض ($P < 0,05$) في نسبة النحاس في المصل. بالموازاة انخفاض ملحوظ ($P < 0,01$) في نسبة الكالسيوم و المغنيزيوم في نهاية الحمل. على العكس نسبة الفسفور ارتفعت ($P < 0,01$) في مرحلة الرضاعة.

نسبه كل من الصوديوم، البوتاسيوم و الكلور لم تتأثر كثيرا ($P > 0,05$) بالمرحلة الفيزيولوجية. يعتبر المصل و الصوف من أحسن الدلائل البيولوجية حيث يعتبر الأول اختبار يقيني و فوري أما الثاني فهو مكمل.

الكلمات المفتاحية : المستوى المعدني- المصل- الصوف - النعاج الولود - الغذاء.