

**République Algérienne Démocratique et populaire**



**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITÉ EL-HADJ LAKHDAR**

**BATNA**

**FACULTÉ DES SCIENCES**

**DEPARTEMENT VÉTÉRINAIRE**

**MEMOIRE**

*Pour l'obtention du diplôme de*

**MAGISTER**

*Option : Nutrition*

*Présenté par :*

**MALLEM MOUNA**

**THÈME**

**STATUT CUPRIQUE DES OVINS DE DEUX ZONES DISTINCTES  
(MONTAGNE ET PLAINE) DANS LA RÉGION DE BATNA**

*Devant le jury :*

<b>S. MEHENNAOUI :</b>	<b>Prof. - Université de Batna</b>	<b>Président</b>
<b>M. TLIDJANE :</b>	<b>Prof. - Université de Batna</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>T. MEZIANE :</b>	<b>Prof. - Université de Batna</b>	<b>Examineur</b>
<b>E. BERERHI :</b>	<b>M.C. - Université de Constantine</b>	<b>Examineur</b>

**Année universitaire : 2006 / 2007**

## **Remerciement**

*Diverses charges ont retardé la réalisation de ce travail. Il aboutit, grâce à la haute bien veillance du DIEU notre créateur tout puissant qui ma donné la volonté, la patience et fourni l'énergie et la force pour l'achever. Gracieux remerciement.*

*A mon promoteur Mr **TLIDJANE MADJID** professeur à l'université **EL HADJ LAKHDER – BATNA**, j'adresse l'expression de ma gratitude et respect pour m'avoir encadré et dirigé ce travail, pour ses louables contributions inlassables et pour ses précieux conseils et son perpétuel dévouement.*

*J'exprime mes plus vifs remerciement, et ma reconnaissance toute particulière et gratitude, qui ne sera jamais concrètement exprimée à l'égard de :*

*Mr **MEHENNAOUI- SMAIL**, professeur à l'université **EL HADJ LAKHDER – BATNA**, pour l'aide précieuse, et chaleureuse, qu'il ma apporté au sein du laboratoire dont il est responsable, et qui a bien voulu me consacré une précieuse partie de son temps pour discuter de mes résultats, et ma prodigué de fructueux conseils et encouragements. Et de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse. Hommage respectueux,*

*Par ailleurs, je voudrais témoigner ma gratitude à :*

*Mr **MEZIANE - TOUFIK** pour son aide irremplaçable et ses encouragements durant le travail, ainsi que pour m'avoir honoré de faire partie du jury.*

*Qu'il me soit permis aussi de remercier sincèrement Mr **BERERHI EL HASSEN** pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.*

*Mr **Boukaaboub** qui a pris beaucoup de temps pour m'aider à la réalisation de l'étude statistique mes sincères remerciements.*

*Je ne peux oublier d'adresser mes remerciements les plus vifs et sincères à :*

*Mr **LAAMIDI – FARID** bibliothécaire à l'université **EL HADJ LAKHDER – BATNA** pour son accueil et disponibilité.*

*Je ne remercierai jamais assez **YACINE** et **NEZAR**, pour les nombreux services qu'ils m'ont rendus durant la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici le témoignage de mes remerciements les plus amicaux,*

*En fin, je ne serais achever sans remercier tous les amis et collègues de Magister des options Nutrition et Anatomie qui m'ont aidé et encouragé, qui m'honorent de leur amitié et qui par de fructueux échanges de vue, me permettent de rester confronté à la réalité.*

*Et aux personnes qui m'ont aidé directement ou indirectement sincères remerciements.*

**DÉDICACE**  
*Je dédie ce travail*

*À la perle rare et précieuse, à ma source d'amour et d'affection, qui pense et prie tous les jours pour moi, à toi **maman**.*

*À la lumière et symbole de ma vie, et qui est toujours fière de moi, à toi **papa**.*

*Aux plus chères personnes du monde, à mes **parents** à qui je dois mon éducation et ma réussite. De tout temps, leur affection a été ma plus grande joie qui me rappelle que je dois travailler et faire profit même des jours de tristesse. Je leur devrai de les aimer encore plus, quoi que rien ne puisse égaler leur amour, leur tendresse et leur encouragement. Que dieu les gardent pour moi en bonne santé.*

*À mon très chère frère **MOHAMMED** dont l'incalculable collaboration à mes recherches m'a apporté l'aide essentielle à la réalisation de ce travail, et à son épouse **AIDA** et leur petit ange **MALAK**,*

*À mon aimable sœur **LAILA** qui m'a procuré le réconfort et l'immense soutien par sa tendresse et amour, à son mari **SLIMANE** et ses deux enfants **SOUHIL** et **DIA EDDINE***

*À ma sœur **NADIA** qui m'a poussé matériellement et surtout moralement*

*À ma sœur **OUIDAD**, pour sa disponibilité aux moments les plus critiques et ses sacrifices faits de bon cœur afin que ce travail soit achevé.*

*À ma deuxième mère **SAMIA** et son époux **BELKACEM** à ma sœur **MERJEM** et mon frère **MAHDI** "papi".*

*À mes frères **MOKHTAR** et **AMIN** en témoignage de mon affection.*

*À **MOURAD** qui m'a accompagné pendant mes sorties.*

*À **SABRA** pour sa collaboration.*

*À toute ma grande famille oncles, tantes, cousins, cousines, à leurs époux et épouses, et leurs enfants.*

*À mes amies: **AICHA**, **LATIFA**, **HAYET**, **KARIMA**, **AMINA**, **RADJA***

## ***LISTE DES ABREVIATIONS***

<b>C° :</b>	degré Celsius
<b>CGMH :</b>	concentration globulaire moyenne en hémoglobine
<b>Cu :</b>	Cuivre
<b>EDTA :</b>	acide éthylène diamine tétra acétique
<b>fl :</b>	Femtolitres
<b>FAO :</b>	Food and Agriculture Organisation
<b>GR :</b>	globules rouges
<b>Hb :</b>	l'hémoglobine
<b>Ht :</b>	l'hématocrite
<b>INRA :</b>	Institut National de la Recherche Agronomique
<b>ml :</b>	millilitre
<b>mm :</b>	millimètre
<b>MO :</b>	matière organique
<b>MS :</b>	matière sèche
<b>PG :</b>	prostaglandine
<b>PGE :</b>	prostaglandine E
<b>PGF :</b>	prostaglandine F
<b>ppm :</b>	partie par million
<b>PV :</b>	poids vif
<b>SAT :</b>	superficie agricole totale
<b>SAU :</b>	superficie agricole utile
<b>SOD :</b>	superoxyde dismutase
<b>VGM :</b>	volume globulaire moyen
<b>µ g/l :</b>	micro gramme par litre
<b>% :</b>	pourcentage

# INTRODUCTION

## PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

### CHAPITRE I : LE CUIVRE DANS LE SOL ET LA PLANTE

1-Les oligo-éléments.....	2
1-1-Généralité sur les oligo-éléments.....	2
1-2-Importance des oligo-éléments.....	3
1-2-1-Dans le monde végétal.....	3
1-2-2-Dans le monde animal.....	3
2-Le cuivre .....	3
2-1-Historique.....	3
2-2-Le cuivre dans le sol.....	4
2-2-1-Le cuivre dans l'écorce terrestre.....	4
2-2-2-Les sources de cuivre dans le sol.....	5
a- Source naturelle .....	5
b- Source anthropique.....	6
2-2-3-Teneurs en cuivre dans sol .....	8
a- Teneurs totales.....	8
b- Teneurs assimilables.....	8
2-2-4-Les facteurs de l'assimilabilité du cuivre et des oligo-éléments...	9
a- Le pH du sol.....	9
b- La matière organique.....	9
c- Le taux d'argile.....	10
d- Le climat.....	10
2-3-Le cuivre dans la plante.....	10
2-3-1-L'utilisation, du cuivre par la plante .....	10
2-3-2-Rôle physiologique du cuivre dans la plante.....	13
2-3-3-Teneurs en cuivre des plantes.....	14
2-3-3-1-facteurs de variation.....	14
a- Le potentiel génétique.....	15
b- Le stade végétatif.....	15

c- Le numéro de cycle.....	16
d- La saison de l'année.....	16
e- Le climat annuel.....	16
f- Les amendements et la fertilisation..	16
g- Le mode de récolte des fourrages conservés.....	17
2-3-4-Teneurs en cuivre des céréales.....	17

## **CHAPITRE II: LE CUIVRE DANS L'ORGANISME ANIMAL**

1-L'utilisation du cuivre par l'organisme animal.....	19
1-1-Métabolisme du cuivre.....	19
1-1-1-Absorption.....	19
1-1-2-Transport .....	23
1-1-3-Distribution et répartition.....	24
a- dans le foie.....	24
b- dans le sang.....	24
c- dans les autres organes.....	25
1-1-4-L'excrétion.....	26
1-2-Fonctions physiologiques du cuivre.....	26
1-2-1-Rôle dans les processus enzymatiques .....	26
1-2-2-Rôle dans la protection contre les oxydants.....	27
1-2-3-Rôle dans l'hématopoïèse .....	27
1-2-4- Rôle dans le développement du système nerveux central .....	28
1-2-5- Rôle dans le développement des tissus conjonctifs et des os .....	28
1-2-6-Rôle immunitaire.....	28
1-2-7- Rôle dans la reproduction.....	29

## **CHAPITRE II : CARENCE ET INTOXICATION PAR LE CUIVRE**

1-La carence en cuivre .....	31
1-1- Etiologie de la carence .....	32
1-1-1-Carence primaire .....	32
a- Au niveau du sol .....	32

b- Au niveau de la plante.....	32
1-1-2-Carence secondaire .....	33
1-1-2-1-Interaction avec les minéraux .....	33
a- Le molybdène .....	33
b- Le soufre .....	34
c- Le zinc.....	34
d- Le fer.....	35
e- Le calcium .....	35
1-1-2-2-Interaction avec les composants organiques de la ration...	36
a- Les phytates .....	36
b- Les fibres .....	36
c- Les protéines et les acides aminés.....	36
1-1-2-3-Influence des caractéristiques de la ration .....	36
a- Accélération de la vitesse du transit intestinal .....	36
b- Contamination par la terre .....	37
1-2- Pathogénie de la carence en cuivre.....	38
1-3- Les manifestations cliniques .....	38
1-3-1-Chez les jeunes ruminants .....	38
a- L'agneau .....	39
b- Le veau .....	39
1-3-2-Chez les ruminants adultes .....	40
a- Ovins .....	40
b- Bovins .....	40
1-4- Diagnostic.....	40
1-4-1-Diagnostic clinique.....	40
1-4-2-Diagnostic analytique.....	40
a-Le sol.....	40
b- Les fourrages .....	41
c- Le plasma .....	41
d- Le poil ou la laine.....	41
e- Autres prélèvements .....	41
1-5-Traitement .....	42
2-Intoxication par le cuivre .....	42

2-1-Sources d'exposition .....	42
2-2-Seuil de toxicité .....	43
2-3-Mécanisme d'action toxique .....	44
2-4-Symptômes .....	46
2-5-Diagnostic .....	46
2-6-Traitement .....	46

## **DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE**

### **CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES**

1-Presentation de la région d'étude .....	50
1-1-Localisation .....	50
1-1-1-Localisation régionale .....	50
1-1-2-Localisation locale .....	50
1-2-Caractéristiques climatiques .....	50
1-2-1-Temperature .....	50
1-2-2-Pluviométrie .....	51
1-2-3-Les vents .....	52
1-2-4-La gelée .....	52
1-3-Agriculture et élevage .....	53
1-3-1-Agriculture .....	53
1-3-2-Production animale .....	53
1-4-Aperçu géologique .....	53
2-Matériel .....	53
2-1-Matériel animal .....	53
2-2-Matériel végétal .....	54
2-3-Le sol .....	56
3-Méthodes d'analyse .....	56
3-1-Analyses réalisées sur l'animal .....	56
3-1-1-Analyse du sang .....	56
a- Paramètres hématologiques .....	56
b- Dosage du cuivre dans le plasma sanguin .....	56

3-1-2-Analyse de la laine (extraction du cuivre et du zinc de la laine).....	57
a- Prélèvement de la laine .....	57
b- Lavage de la laine .....	57
c- Minéralisation .....	57
d- Préparation des solutions étalons .....	58
3-2-Analyse de l'aliment .....	58
3-2-1-Préparation des échantillons (Shen, 2005) .....	58
3-2-2-Extraction du cuivre et du zinc (Elmer, 1994).....	59
3-2-3-Préparation des solutions étalons .....	59
3-3-Analyse du sol .....	59
3-3-1-Préparation des échantillons (Afri-Mehennaoui et M Mehennaoui, 2004) .....	59
3-3-2-Quantification de la matière organique (Rodier, 1984).....	60
3-3-3-Le pH (Baise, 2000).....	60
3-3-4- Extraction du cuivre et du zinc totaux (eau régale) (FAO, 1975).	60
3-4-Analyse statistique .....	60

## **CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION**

1-Le sol .....	62
1-1-Le taux de matière organique (M.O) des sols des deux zones A et B.....	62
1-2-Le pH.....	63
1-3-La concentration totale en cuivre et en zinc (ppm) dans les deux zones	63
A et B.....	63
1-3-1-Teneurs en cuivre .....	63
1-3-2-Teneurs en zinc .....	64
2-Les aliments .....	65
2-1-Teneurs en cuivre des aliments des deux zones A et B.....	66
2-2-Teneurs en zinc des aliments des deux zones A et B.....	68
3-L'animal .....	70
3-1-Quelques paramètres hématologiques déterminés chez les ovins des deux	
zones A et B.....	70
3-1-1-Nombre de globules rouges .....	70
3-1-1-1-Nombre de globules rouges chez les agneaux .....	70
3-1-1-2-Nombre de globules rouges chez les brebis.....	74

3-1-2-L'hémoglobine (Hb) .....	78
3-1-2-1-Concentration en hémoglobine des agneaux .....	78
3-1-2-2-Concentration en hémoglobine des brebis .....	82
3-1-3-L'hématocrite (Ht) .....	86
3-1-3-1-L'hématocrite des agneaux .....	86
3-1-3-2-L'hématocrite des brebis .....	90
3-1-4-Indices érythrocytaires .....	93
3-1-4-1-Le volume globulaire moyen (VGM).....	93
a- Le volume globulaire moyen des agneaux.....	93
b- Le volume globulaire moyen des brebis.....	97
3-1-4-2-Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (CCMH) ..	100
a- Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine des agneaux...	100
b- Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine des brebis .....	103
3-2-Cuprémies des ovins des deux zones A et B.....	106
3-2-1-Cuprémies des agneaux .....	106
3-2-2-Cuprémies des brebis.....	111
3-3-Teneurs en cuivre et zinc dans la laine des ovins des deux zones A et B.....	116
3-3-1-Teneurs en cuivre .....	116
3-3-1-1-Teneurs en cuivre dans la laine des agneaux.....	116
3-3-1-2-Teneurs en cuivre dans la laine des Brebis.....	120
3-3-2 -Teneurs en zinc .....	124
3-3-2-1- Teneurs en zinc dans la laine des agneaux.....	124
3-3-2-2- Teneurs en zinc dans la laine des brebis.....	128

## **CONCLUSION**

### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

### **ANNEXES**

## INDEX DES TABLEAUX

<b>Tableau 01</b> : Concentration de quelques éléments traces dans les roches ignées et les roches sédimentaires (mg/kg) (Thornton, 1981).....	5
<b>Tableau 02</b> : Les teneurs totales en cuivre et zinc dans les sols (Ablain, 2002).....	8
<b>Tableau 03</b> : Concentration en cuivre et en zinc des fourrages conservés (Souci et al., 2000).....	14
<b>Tableau 04</b> : Teneurs en cuivre de différentes espèces ou familles constitutives des mêmes prairies (Lamand 1978a) .....	15
<b>Tableau 05</b> : Variation de la composition minérale de l'herbe selon les saisons (Coïc et Coppenet, 1989).....	16
<b>Tableau 06</b> : Constituants en cuivre et en zinc de quelques céréales (Sauvant, et al.2002 cité Kuypers,2003) .....	18
<b>Tableau 07</b> : Utilisation digestive moyenne des oligo-éléments chez les animaux domestiques (Paragon,1995 cité Kuypers,2003).....	23
<b>Tableau 08</b> : Distribution de Cu et Zn entre les différents organes et tissus d'un mouton de 40kg avec une toison de 3kg (Grace et clark, 1991).....	25
<b>Tableau 09</b> : Quelques facteurs de modification de la digestibilité de Cu et Zn (Chappuis,1991).....	37
<b>Tableau 10</b> : Pathogénie de la carence en cuivre (Lamand, 1978a).....	38
<b>Tableau 11</b> : Teneurs en cuivre dans les fourrages et les tissus animaux (Lamand, 1978a).....	42
<b>Tableau 12</b> : Teneurs en cuivre dans les différents prélèvements biologiques (exprimées en ppm/poids sec ou humide) et seuil de toxicité (Martin et Aitken,1991).....	44
<b>Tableau 13</b> : Répartition mensuelle des températures moyennes durant l'année 2005 (Station météorologique de l'Aérodrome de Batna, 2006).....	51
<b>Tableau 14</b> : Répartition mensuelle moyennes des précipitations (en mm) 1995-2004(Station météorologique de l'Aérodrome de Batna, 2006).....	52
<b>Tableau 15</b> : Répartition mensuelle des précipitations (mm) en 2005 (Station météorologique de l'Aérodrome de Batna, 2006).....	52
<b>Tableau 16</b> : Identification des espèces fourragères prélevées dans les parcours des zones A et B en vue de l'évaluation des apports en cuivre et en zinc.....	55

<b>Tableau 17</b> : Les aliments servis dans les bergeries .....	55
<b>Tableau 18</b> : Variations saisonnières du taux de la matière organique. (%).....	62
<b>Tableau 19</b> : Variations saisonnières du PH.....	63
<b>Tableau 20</b> : Variations saisonnières en cuivre total (ppm).....	64
<b>Tableau 21</b> : Variations saisonnières en zinc total (ppm).....	65
<b>Tableau 22</b> : Variations saisonnières des teneurs en cuivre des aliments (ppm).....	67
<b>Tableau 23</b> : Variations saisonnières des teneurs en zinc des aliments (ppm).....	69
<b>Tableau 24</b> : Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des agneaux de la zone A.....	71
<b>Tableau 25</b> : Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des agneaux de la zone B.....	71
<b>Tableau 26</b> : Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des agneaux des deux zones A et B.....	73
<b>Tableau 27</b> : Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des brebis de la zone A.....	75
<b>Tableau 28</b> : Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des brebis de la zone B.....	75
<b>Tableau 29</b> : Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des brebis des deux zones A et B.....	77
<b>Tableau 30</b> : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des agneaux de la zone A.....	79
<b>Tableau 31</b> : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des agneaux de la zone B.....	79
<b>Tableau 32</b> : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des agneaux de la zone A et B.....	81
<b>Tableau 33</b> : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des brebis de la zone A.....	83
<b>Tableau 34</b> : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des brebis de la zone B.....	83

<b>Tableau 35</b> : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des brebis de la zone A et B.....	85
<b>Tableau 36</b> : Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des agneaux de la zone A	86
<b>Tableau 37</b> : Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des agneaux de la zone B.....	87
<b>Tableau 38</b> : Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des agneaux des deux zones A et B.....	89
<b>Tableau 39</b> : Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des brebis de la zone A.....	90
<b>Tableau 40</b> : Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des brebis de la zone B.....	90
<b>Tableau 41</b> : Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des brebis des deux zones A et B.....	92
<b>Tableau 42</b> : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des agneaux de la zone A.....	93
<b>Tableau 43</b> : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des agneaux de la zone B.....	94
<b>Tableau 44</b> : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des agneaux des deux zones A et B.....	96
<b>Tableau 45</b> : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des brebis de la zone A.....	97
<b>Tableau 46</b> : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des brebis de la zone B.....	97
<b>Tableau 47</b> : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des brebis des deux zones A et B.....	99
<b>Tableau 48</b> : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des agneaux de la zone A.....	100
<b>Tableau 49</b> : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des agneaux de la zone B.....	101
<b>Tableau 50</b> : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des agneaux des deux zones A et B.....	102

<b>Tableau 51</b> : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des brebis de la zone A.....	104
<b>Tableau 52</b> : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des brebis de la zone B.....	104
<b>Tableau 53</b> : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des brebis des deux zones A et B.....	105
<b>Tableau 54</b> : Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu$ g/100ml) des agneaux de la zone A.....	107
<b>Tableau 55</b> : Variation saisonnières de la cuprémie ( $\mu$ g/100ml) des agneaux de la zone B.....	108
<b>Tableau 56</b> : Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu$ g/100ml) des agneaux des deux zone A et B .....	110
<b>Tableau 57</b> : Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu$ g/100ml) des brebis de la zone A.....	111
<b>Tableau 58</b> : Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu$ g/100ml) des brebis de la zone B.....	112
<b>Tableau 59</b> : Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu$ g/100ml) des brebis des deux zone A et B .....	115
<b>Tableau 60</b> : Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des agneaux de la zone A.....	117
<b>Tableau 61</b> : Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des agneaux de la zone B.....	117
<b>Tableau 62</b> : Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des agneaux des deux zones A et B.....	119
<b>Tableau 63</b> : Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des brebis de la zone A.....	121
<b>Tableau 64</b> : Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des brebis de la zone B.....	121
<b>Tableau 65</b> : Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des brebis des deux zones A et B.....	123

<b>Tableau 66</b> : Variations saisonnières de la teneur en zinc de la laine (ppm) des agneaux de la zone A.....	124
<b>Tableau 67</b> : Variations saisonnières de la teneur en zinc de la laine (ppm) des agneaux de la zone B.....	125
<b>Tableau 68</b> : Variations saisonnières de la teneur en zinc de la laine (ppm) des agneaux des deux zones A et B.....	127
<b>Tableau 69</b> : Variations saisonnières de la teneur en zinc de la laine (ppm) des brebis de la zone A.....	129
<b>Tableau 70</b> : Variations saisonnières de la teneur en zinc de la laine (ppm) des brebis de la zone B.....	129
<b>Tableau 71</b> : Variations saisonnières de la teneur en zinc de la laine (ppm) des brebis des deux zones A et B.....	131

## INDEX DES FIGURES

<b>Figure 01 :</b> Origine des éléments traces dans le sol (Robert & Juste, 1999).....	7
<b>Figure 02 :</b> Courbe de croissance en réponse au statut nutritionnel de la plante (Reuter et Robinson, 1997 cité par Chaignon, 2001).....	12
<b>Figure 03 :</b> Métabolisme du cuivre chez les mammifères (Jean – Blain, 2002)....	20
<b>Figure 04 :</b> Métabolisme du cuivre et du zinc (Cousin, 1985) .....	22
<b>Figure 05 :</b> Fonctions physiologiques du cuivre (Jondreville et al., 2002).....	30
<b>Figure 06 :</b> Situation de la région d'étude Découpage administratif de 1985 de la wilaya de Batna).....	49
<b>Figure 07 :</b> Droite d'étalonnage du cuivre.....	61
<b>Figure 08 :</b> Droite d'étalonnage du zinc.....	61
<b>Figure 09 :</b> Variations saisonnières de la teneur en cuivre (ppm Ms) des aliments des deux zones A et B.....	67
<b>Figure 10 :</b> Variations saisonnières de la teneur en zinc (ppm Ms) des aliments des deux zones A et B.....	69
<b>Figure 11 :</b> Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des agneaux des deux zones A et B.....	74
<b>Figure 12 :</b> Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des brebis des deux zones A et B.....	78
<b>Figure 13 :</b> Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des agneaux des deux zones A et B.....	82
<b>Figure 14 :</b> Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des brebis des deux zones A et B.....	85
<b>Figure 15 :</b> Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des agneaux des deux zones A et B.....	89
<b>Figure 16 :</b> Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des brebis des deux zones A et B.....	92
<b>Figure 17 :</b> Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des agneaux des deux zones A et B.....	96

<b>Figure 18 :</b> Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des brebis des deux zones A et B.....	99
<b>Figure 19 :</b> Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des agneaux des deux zones A et B.....	103
<b>Figure 20 :</b> Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des brebis des deux zones A et B.....	105
<b>Figure 21 :</b> Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu$ g/100ml) des agneaux des deux zones A et B.....	110
<b>Figure 22 :</b> Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu$ g/100ml) des brebis des deux zones A et B.....	115
<b>Figure 23 :</b> Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des agneaux des deux zones A et B.....	120
<b>Figure 24 :</b> Variations saisonnières de la teneur en cuivre dans la laine (ppm) des brebis des deux zones A et B.....	123
<b>Figure 25 :</b> Variations saisonnières de la teneur en zinc dans la laine (ppm) des agneaux des deux zones A et B.....	128
<b>Figure 26 :</b> Variations saisonnières de la teneur en zinc dans la laine (ppm) des brebis des deux zones A et B.....	131

# Introduction

## Introduction

Les oligo-éléments sont des minéraux présents en très faible proportion dans les organismes vivants, et malgré leurs quantités infimes ils sont indispensables en assurant le bon fonctionnement de certaines activités physiologiques essentielles. Par leur rôle principalement catalytique les oligo-éléments occupent une place importante dans les organismes des plantes et des animaux, et leur absence provoque un blocage ou une diminution de l'efficacité de différentes voies métaboliques ce qui engendre une baisse des rendements.

Le cuivre, cet élément trace indispensable à la vie est un cofacteur de certaines enzymes intervenant dans l'hématopoïèse, le métabolisme oxydatif, la respiration cellulaire, la pigmentation, il a donc une importance capitale dans l'entretien des processus biologiques.

Entre le sol la plante et l'animal s'établissent des échanges multiples. Les oligo-éléments proviennent du sol et sont transmis à l'animal par l'intermédiaire des plantes. L'insuffisance d'un tel transfert au niveau sol-plante, plante-animal ou encore animal-système enzymatique utilisateur, provoque une carence, en revanche l'excès entraîne une intoxication.

Le mouton est l'espèce la plus réactive au cuivre aussi bien à son défaut («ataxie enzootique» des agneaux) qu'à son excès (ictère hémolytique).

Le statut minéral d'une manière générale et en particulier cuprique chez les ovins est très peu étudié en Algérie, c'est la raison pour laquelle on a choisi de réaliser ce travail dans l'une de ses wilayas «Batna» connue par ses reliefs constitués de montagnes et de plaines ainsi que l'importance de son élevage ovin.

L'objectif principal de cette étude est de déterminer le niveau nutritionnel en cuivre des ovins vivant dans deux zones distinctes : "Arris" qui est une région montagneuse et "Ouyoun El Assafer" qui est une plaine. Par évaluation des teneurs en cuivre dans la chaîne sol -plante – animal, ainsi que d'investiguer l'influence de certains facteurs physiologiques tels que : l'âge, le stade de gestation et la saison.

La présentation de ce travail s'articule autour de deux parties :

Une première partie qui porte sur l'analyse bibliographique des différentes sources et teneurs en cuivre du sol, son utilisation son métabolisme ainsi que ses rôles dans les organismes des végétaux et des animaux, enfin les étiologies, les manifestations cliniques le diagnostic ainsi que le traitement des carences et des intoxications par le cuivre chez l'animal.

La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale qui expose le matériel, les méthodes et techniques de travail suivi par les résultats et leur discussion.

# Partie bibliographique

## **CHAPITRE I : LE CUIVRE DANS LE SOL ET LA PLANTE**

### **1-Les oligo-éléments**

#### **1-1- Généralités sur les oligo-éléments**

Parmi les éléments minéraux dont les êtres vivants ont besoin pour accomplir leurs fonctions, certains sont nécessaires en si petites quantités qu'on les appelait autrefois "éléments traces". Cette appellation suggère la difficulté de leur appréhension analytique et, en conséquence la difficulté de la découverte de leur nécessité et donc de leur importance. (*Coïc et Coppenet, 1989*)

Etymologiquement : un oligo-élément est un élément qui se trouve en petite quantité à la disposition de l'organisme (du grec oligos : peu) (*Lamand, 1978a*).

Le nom oligo-élément évoque la notion d'élément en faible quantité dans les tissus vivants. Malgré leurs quantités infimes les oligo-éléments permettent dans l'organisme animal toute une biochimie à dominante enzymatique assurant un certain nombre de fonctions physiologiques essentielles (*Lamand 1978a*).

Selon *Rousselet (1991)* la présence des oligo-éléments dans les organismes vivants peut avoir différentes significations :

-Ils font partie d'enzymes, exemple : cuivre, zinc.

Bien que n'entrant pas dans la composition de molécules organiques le fluor, peut entraîner des troubles lorsqu'il fait défaut.

-Certains sont présents dans l'organisme sans qu'on puisse leur donner une signification biologique.

Ceci amène à l'utilisation d'un terme plus général pour désigner l'ensemble des éléments présents dans l'organisme à des concentrations réduites sans préjuger de leur nécessité biologique "éléments traces".

Selon *Soltner (1999)* la matière vivante animale ou végétale est constitué d'un grand nombre d'éléments traces ou oligo-éléments dont le rôle principalement catalytique n'est pas en rapport avec leur faible poids.

## **1-2 Importance des oligo-éléments**

Les oligo-éléments encore dits "éléments mineurs" ne sont mineurs que par les quantités mises en jeu. En effet leur rôle dans la vie des plantes et des animaux est aussi important que celui des éléments majeurs (*Pousset, 2000*)

### **1-2-1- Dans le monde végétal :**

Les oligo-éléments jouent un rôle important dans la vie des plantes dans la production végétale. Leur rôle se différencie globalement de celui des éléments minéraux majeurs, il s'agit d'une fonction catalytique et non d'un rôle plastique. C'est d'ailleurs ce qui explique leur haute efficacité et leur caractère indispensable, malgré les besoins très minimes (*Duthil, 1973*).

Par leur rôle dominant dans la composition des enzymes, les oligo-éléments occupent une grande place dans l'agriculture, leur absence limite la production et compromet la physiologie de la plante par conséquent cette absence, influe sur le rendement

### **1-2-2- Dans le monde animal :**

Les oligo-éléments font partie de la ration des animaux au même titre que l'énergie les matières azotées et les minéraux majeurs. Par leur rôle d'activateur enzymatique, ils participent directement au fonctionnement des différentes voies métabolique et donc à l'efficacité de la spéculation qui permet aux éleveurs de faire transformer par les animaux des fourrages grossiers en productions destinées à l'homme (*Lamand, 1978a*).

Les déficits d'apport en oligo-éléments ne sont importants que chez les herbivores et sont liés principalement au sol par l'intermédiaire de la relation sol-plante-animal et se caractérisent par l'apparition des symptômes et des lésions multiples sur l'animal qui peuvent être spécifiques ou non (*Jean-Blain, 2002*).

Parmi les éléments traces ou oligo-éléments essentiels nous allons nous intéresser particulièrement au cuivre.

## **2- Le cuivre**

### **2-1- Historique**

Le cuivre, ce métal rouge au visage vert fut le premier métal que l'homme utilisa pour la fabrication d'outils, son utilisation par l'homme correspond, au passage d'une vie nomade à une existence plus sédentaire, au développement de l'agriculture et de l'élevage.

Selon *Lamand, (1978a)* la première démonstration de la présence du cuivre dans les composants biologiques du règne animal en agriculture et en zootechnie fut apportée en 1932 par "*Sjollema*" chercheur Hollandais. Celui-ci observe des accidents survenant à des animaux sur certaines pâtures : ceux-ci sont anémiques, font preuve d'inappétence, et présentent un fort

amaigrissement ; puis il constate que parallèlement, sur ces mêmes terrains, les végétaux ont une pousse défectueuse et que leur feuillage est chlorotique. Lorsque les animaux sont transportés sur des terrains où la croissance des végétaux et où les signes cliniques ne sont pas constatés tout rentre dans l'ordre. Après analyse des fourrages il s'avère que ceux-ci contiennent 2 à 3 milligrammes (mg) de cuivre (Cu) par kilogramme (Kg) de matière sèche (MS) alors que ceux provenant d'autres fermes "sans problèmes" en contiennent 7 à 8 mg de Cu/Kg de MS. "Sjollema" relie ces deux phénomènes et qualifie la maladie constatée chez les animaux de "maladie de réclamation". Cette observation revêt une grande importance. En effet elle met l'accent sur la liaison carencielle "végétal animal".

## **2-2- Le cuivre dans le sol**

### **Introduction**

Situé à l'interface entre l'eau l'atmosphère et les végétaux, le sol assure de nombreuses fonctions : des fonctions économiques, écologiques et biologiques (*Ablain, 2002*).

Le sol est une formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous jacente sous l'influence de divers processus : physiques, chimiques, et biologiques (*Demolon, 1952 cité par Coïc et Coppenet, 1989*). C'est un milieu dont la phase solide est constituée par des minéraux et des composés organiques formant des assemblages plus ou moins volumineux et qui donnent au sol sa structure (*Calvet, 2003*).

La composition chimique d'une roche déterminera donc la composition chimique du sol qui résulte de l'altération de cette roche (*Thornton, 1981 ; Wild, 1996*), à moins que cette relation soit modifiée au cours des phénomènes de formation de ce sol (pédogenèse) (*He et al., 2005*). Il est donc clair qu'une roche constituée de minéraux silicates, pauvre en bases donnera naissance à un sol siliceux, acide, alors que si elle contient une forte proportion de calcaire, le sol sera un sol alcalin. Une roche bien pourvue en un oligo-élément donnera naissance à un sol bien pourvu de cet oligo-élément (*Coïc et Coppenet, 1989*).

#### **2-2-1- Le cuivre dans l'écorce terrestre**

La croûte terrestre est formée par 95% de roche ignées et 5% de roches sédimentaires (*Thornton, 1981*). La lithosphère est composée aussi de 80 éléments : 12 éléments majeurs qui représentent 99,4% et 68 éléments traces dont la teneur de chacun est inférieure à 0,10%. Le cuivre "Cu" représente 45ppm ou 0,0045% (*Coïc et coppenet, 1989*).

Les éléments traces sont des constituants naturels de l'écorce terrestre (*Caussy et al., 2003*). Le tableau 01 présente la répartition et l'abondance de quelques éléments traces dans

différentes roches. Parmi les roches sédimentaires les schistes sont généralement les plus riches en cuivre et en autres éléments traces (Zn, Co, Cr) (*He et al., 2005*), dans les roches ignées les basaltes sont les plus riches (*Mitchell, 1974*).

**Tableau 01** : Concentration de quelques éléments traces dans les roches ignées et les roches sédimentaires (mg/kg) (Thornton 1981)

<b>Elément</b>	<b>Basaltes</b>	<b>Granites</b>	<b>Schistes et argiles</b>	<b>Roches calcaires</b>	<b>Roches sableuses</b>
<b>Cu</b>	30-160	4-30	18-120	4	2
<b>Zn</b>	48-240	5-140	18-180	20	2-41
<b>Mo</b>	0.9-7	1-6	2.5	0.4	0.2

**2-2-2- Les sources de cuivre dans le sol**

Les éléments traces dans le sol sont dérivés de ses matériaux parents (roche mère) et des apports anthropiques (*Falandysz, 1993; He et al., 2005*). Ainsi le cuivre et les autres éléments traces dans le sol peuvent être présents naturellement ou apportés par les êtres humains (Figure01).

**a) Source naturelle :**

Le fond géochimique est par définition la teneur "naturelle ou originelle" en éléments en traces trouvée dans le sol en l'absence de tout processus d'apport ou d'exportation vers ou hors d'un site considéré. Elle dépend en premier lieu de la teneur dans la roche qui est à l'origine du sol, mais également des processus qui sont intervenus lors de la formation du sol, qui ont pu lessiver ou plus généralement concentrer l'élément en question (*Bourelier et Berthelin, 1998*). Dans le milieu naturel, l'agent courant de l'altération des minéraux et des roches de surface est constitué par l'eau pluviale (*Pedro et Delmas, 1970*).

Le cuivre se trouve dans le sol sous forme de carbonate basique et de sulfure, il est énergiquement retenu par la matière organique (*Yan Kovitch, 1968 cité par N'Pouna, 1982*). Ainsi, une grande partie de cuivre se trouve sous forme complexé à la matière organique du sol, ce qui conditionne sa disponibilité pour les végétaux, voie d'entrée dans les chaînes trophiques terrestres (*Lamand, 1991*).

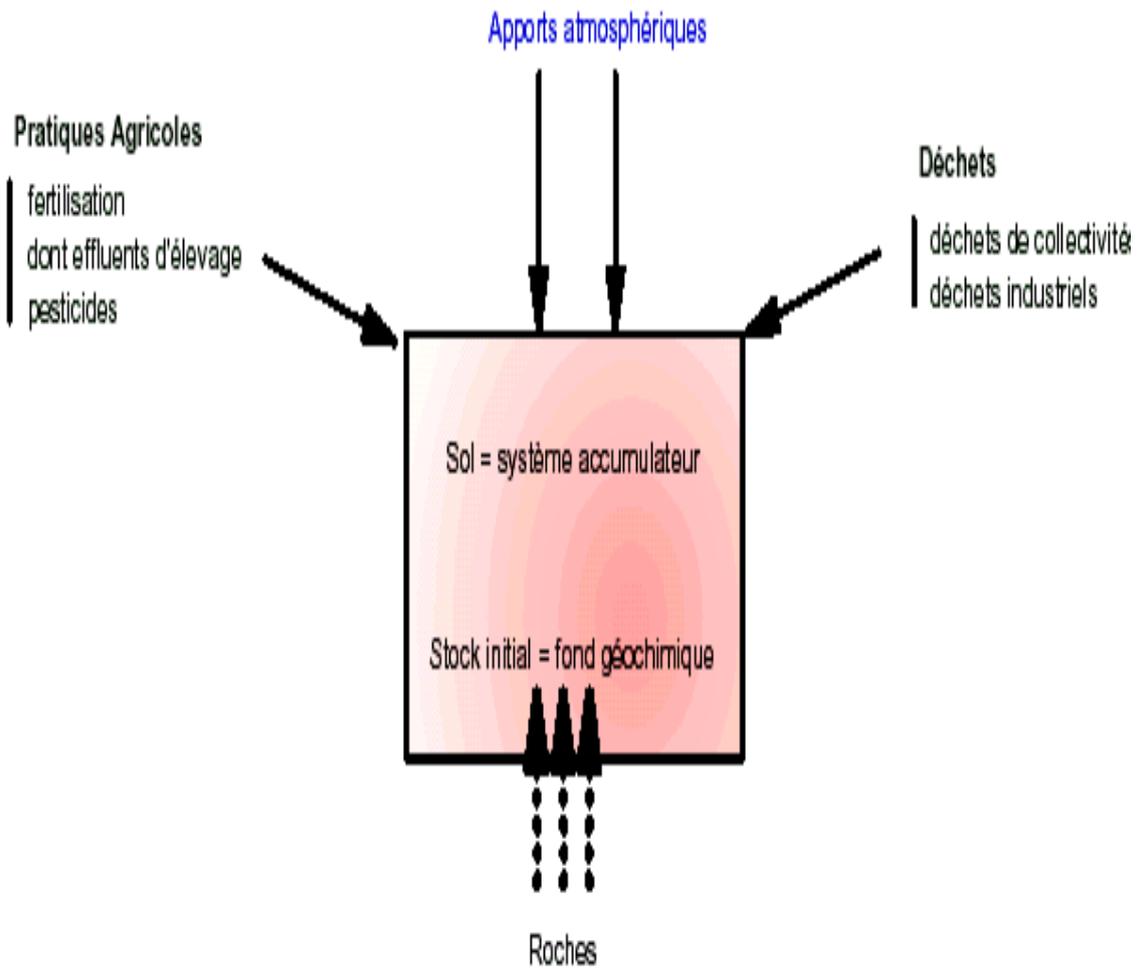
**b) Source anthropique :**

La plus part des métaux lourds sont des oligo-éléments constituants naturels du sol. Mais ils peuvent avoir aussi des origines anthropiques, représentant ainsi la majeure partie des composés impliqués dans la pollution du sol (*Yaron et al. 1996, cité par Lukkari et al., 2005*). En effet à des concentrations élevées les éléments traces deviennent toxiques et s'accumulent dans les sols, les plantes et dans les organes des animaux consommant ces végétaux (*Miranda et al., 2005*).

Deux principaux types de pollutions anthropiques sont responsables de l'augmentation des flux des éléments traces : la pollution atmosphérique (rejets urbains et industriels) et la pollution liée aux activités agricoles.

□ La pollution atmosphérique résulte des activités industrielles (rejet d'usine), et urbaine. Il faut distinguer les apports diffus aériens d'origine lointaine, des apports massifs localisés d'origine proche. Dans les apports diffus sont classés les poussières et aérosols provenant des chauffages ainsi que les activités industrielles .... Ces apports peuvent parcourir des centaines de kilomètres à partir de leur source et se déposent indifféremment sur des secteurs cultivés, des forêts ou encore des prairies (*Godin et al, 1985*). Les apports massifs localisés résultent d'apports anthropiques accidentels liés aux activités industrielles de longue durée sans protection efficace contre la dispersion dans l'environnement (*Baize, 1997 cité par Ablain, 2002*).

□ Certaines pratiques agricoles sont à l'origine de l'introduction d'éléments traces métalliques dans le sol. Les produits destinés à améliorer les propriétés physico-chimiques du sol sont souvent plus riches en éléments traces métalliques que le sol lui-même d'où un enrichissement en éléments traces métalliques de ces sols (*Bourrelrier et Berthelin, 1998*). Parmi ces apports : les lisiers (*Martinez, 1994*), la bouillie bordelaise (*Branas, 1984 ; Deluisa et al, 1996*), les engrais etc.. (*Robert et Juste, 1999*). Le rôle des pratiques agricoles dans la contamination des sols doit être pris en compte : cela concerne une grande partie du territoire, et constitue la première étape vers la contamination de la chaîne alimentaire (*Bourrelrier et Berthelin, 1998*) et peut donc engendrer des problèmes de santé publique.



**Figure 01** : Origine des éléments traces dans le sol  
(Robert et Juste, 1999)

### 2-2-3- Teneurs en cuivre dans le sol

#### a) Teneurs totales :

Les teneurs totales des sols en oligo-éléments dépendent des décompositions subies par les roches mères et des conditions pédoclimatiques (Coïc et Tendille, 1971).

Tout oligo-élément trouvé dans un sol n'est pas accessible à la racine. Il existe une fraction dite assimilable qui ne présente souvent qu'une très faible partie de la totalité de l'oligo-élément présent et qui intéresse l'alimentation des plantes. En effet, si l'intégralité des quantités totales devrait aboutir dans la solution du sol, comme en culture hydroponique (culture des plantes sur milieu nutritif artificiel) le sol s'appauvrirait très rapidement parce que la plus grande partie disparaîtrait par lessivage du profil du sol. Parce que la majeure partie de l'élément nutritif est présente dans le sol sous forme non assimilable par la plante, ce phénomène de lessivage n'existe pas (Dupont, 1986).

La teneur en cuivre totale des sols est comprise entre 15 et 100 ppm, ces teneurs sont très variables en fonction des types et des régions (Aubert et Pinta, 1971). Les teneurs totales en cuivre et zinc des sols sont représentées dans le (tableau 02).

**Tableau 02** : Les teneurs totales en cuivre et zinc dans les sols (Ablain, 2002)

Elément	Valeurs moyennes dans les sols en ppm	
	Monde	Europe
cuivre	20 (Kabata-Pendias, 1992)	20-30 (Baize, 1997)
Zinc	64 (Kabata-Pendias, 1992)	40-50 (Borneau et Souchier, 1979)

#### b) Teneurs assimilables :

Les plantes tirent leurs oligo-éléments du sol et utilisent la fraction dite "assimilable" qui représente qu'une faible fraction de la totalité de l'oligo-élément dans le sol. Le passage de la forme totale à la forme assimilable est fonction d'un certain nombre de facteurs d'ordre physique et chimique du sol à savoir le pH, la matière organique, la texture, le calcaire, les techniques culturales et les conditions climatiques, d'autres facteurs également peuvent

contribuer à l'assimilabilité des oligo-éléments tels que : l'activité microbienne, les conditions d'oxydoréductions, le drainage et les interactions entre éléments nutritifs (*Baboula, 1992*).

Les teneurs moyennes assimilables du cuivre sont de 5 à 10 ppm, le zinc 25 à 50 ppm, le fer 100 à 250 ppm, le magnésium 50 à 300 ppm (*Bellanger1971 cité par Baboula, 1992*).

#### **2-2-4- Les facteurs de l'assimilabilité du cuivre et des oligo-éléments**

La quantité d'oligo-élément présente sous forme assimilable est la résultante de l'action de différents facteurs :

##### **a) Le pH du sol :**

Le pH élevé est un des facteurs défavorables à l'assimilabilité du cuivre (*Coïc et Coppenet, 1989*), ainsi un pH basique diminue la disponibilité du cuivre (*Lamand, 1991*). En revanche l'acidité des sols est un facteur de solubilité des oligo-éléments (*Coïc et Coppenet, 1989*), mais un pH très acide devient défavorable à l'assimilabilité. En effet le cuivre est peu disponible en sol acide, asphyxiant et riche en matières organiques se décomposant mal (*Pousset, 2000*).

##### **b) La matière organique :**

La matière organique constitue une source d'approvisionnement importante en oligo-éléments pour le sol. La matière organique fraîche, provenant essentiellement de déchet de récolte ou d'excréments subit dans le sol une biodégradation microbienne libérant les oligo-éléments dans la solution du sol. Le résultat final de cette biodégradation est un produit plus ou moins stable, l'humus. En effet une vie microbienne active favorise beaucoup l'apparition de formes assimilables de cuivre (*Pousset, 2000*).

La matière organique du sol contenant une forte proportion des oligo-éléments assimilables, joue un rôle très important dans la nutrition des cultures. Les sols très pauvres en matière organique ont tendance à être également pauvres en oligo-éléments. Mais à l'opposé ; des sols, très organiques peuvent avoir des problèmes d'assimilabilité, en particulier pour le cuivre, parce que des complexes organométalliques peuvent être si stables que les ions métalliques ne sont plus disponibles pour les plantes.

En effet il est bien établi que le Cu forme les complexes les plus stables et qu'il est fixé plus énergiquement que Zn (*Courpron, 1967 cité par Loué, 1993*). Il semble, cependant que de nombreux cas de déficience en oligo-éléments rencontrés dans les sols organiques ne sont pas dues à une trop faible assimilabilité, mais à une insuffisance quantitative (*Sillanpää, 1979*).

**c) Le taux d'argile :**

Le taux d'argile joue dans le même sens que la matière organique par son pouvoir fixateur vis à vis de divers éléments (Coïc et Coppenet, 1989).

**d) Le climat :**

En principe, des températures élevées du sol s'accompagnent d'une absorption plus intense des oligo-éléments, mais en général, elles vont de paire avec une influence en eau du sol. Or la sécheresse entraîne souvent une baisse d'assimilabilité. Ainsi l'humidité des terres cultivées et la température faciliteront plus ou moins les quantités assimilables présentes dans les solutions des sols (Coïc et Coppenet, 1989).

**2-3-Le cuivre dans la plante****Introduction**

Toutes les plantes prélèvent dans le sol des quantités plus au moins importantes d'éléments minéraux qui sont généralement classés en deux groupes : macroéléments et micro-éléments ou oligo-éléments.

Les oligo-éléments jouent un rôle important dans la vie des plantes et en particulier dans la production végétale, leur rôle se différencie globalement de celui des éléments majeurs, il s'agit d'une fonction catalytique et non d'un rôle plastique, c'est d'ailleurs ce qui explique leurs haute efficacité et leurs caractère indispensable malgré les besoins très minimes (Duthil, 1973).

Parmi les oligo-éléments nécessaires aux plantes nous allons nous intéresser au cuivre.

**2-3-1- L'utilisation du cuivre par la plante**

Les oligo-éléments comme le cuivre, sont des éléments indispensables à la vie mais qui se trouvent présents en proportion très faible dans les tissus biologiques (Loué, 1993).

Le cuivre est un micronutriment essentiel à faible concentration pour la croissance normale de la plante, mais à des concentrations élevées induit des phytotoxicités (Ait Ali, 2004). En 1930 Cu est reconnu comme élément trace essentiel pour la plante (Alloway, 1995 cité par Chaignon, 2001). A la même époque, et dans de nombreux pays, la carence en cuivre chez les plantes fourragères a été reliée à des maladies constatées chez les ovins et les bovins (Lamand, 1978a).

Certains éléments traces cationiques plurivalents comme Cu peuvent se présenter sous différents états d'oxydation ( $\text{Cu}^{2+} + e \leftrightarrow \text{Cu}^{+}$ ) et jouer un rôle d'accepteur ou de donneur d'électrons très important dans les multiples systèmes enzymatiques mettant en jeux des

réactions d'oxydoréductions (*Pilon et al., 2006*). Ils sont en outre nécessaires aux enzymes, soit comme activateurs soit comme constituants spécifiques de systèmes enzymatiques (*Coïc et Coppenet, 1989 ; Loué, 1993*).

Les flux d'absorption de Cu sont parmi les plus bas de ceux de tous les éléments traces et Cu est ainsi absorbé par la plante en petite quantité (*Chaignon, 2001*).

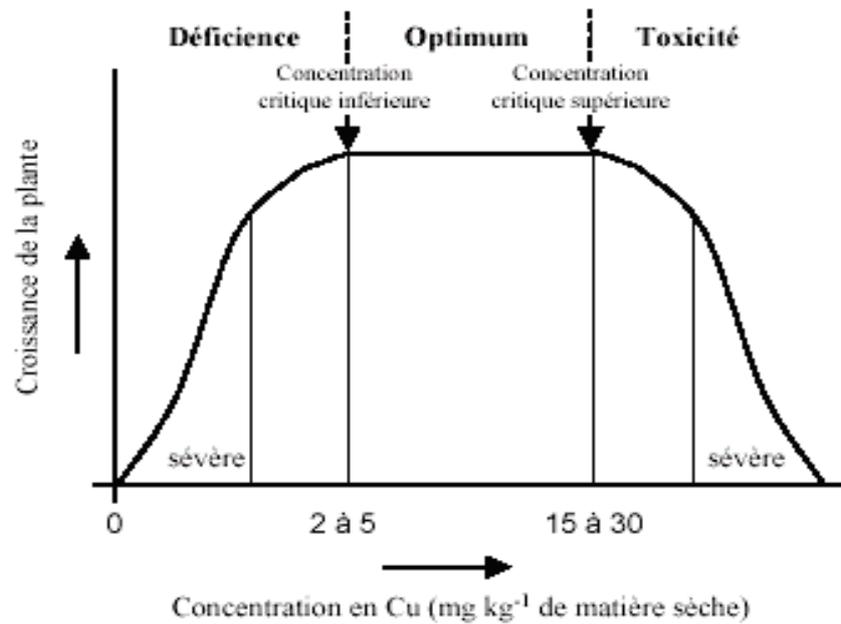
Dans le cas d'une croissance optimale, en fonction des espèces et des cultivars, les concentrations en Cu dans les plantes atteignent des valeurs comprises entre 5 et 15 voir 20mgkg<sup>-1</sup> de matière sèche (MS) dans les parties aériennes (*Reuter et Robinson, 1997 cité par chaignon, 2001*) (figure 02).

Pour des plantes poussant sur des sols contenant une concentration en Cu total naturellement faible, ou présence de Cu peu mobil, comme les sols calcaires et les sols riches en matière organique dans lesquels le cuivre est fortement complexé aux substances organiques, la fourniture de Cu peut être insuffisante (*Marschner, 1995 cité par Chaignon, 2001*)

Lorsqu'une plante ne dispose pas, à portée de ses racines, d'une quantité suffisante de Cu assimilable, sa matière sèche en devient moins bien pourvue donc sa croissance est sévèrement réduite et des symptômes de déficiences peuvent se manifester (*Coïc et Coppenet, 1989*). Dans ce cas, les concentrations en Cu dans la plante sont inférieures à un seuil de 2-5 mg/Kg Ms, suivant les espèces végétales et l'état de développement de la plante (figure 2) (*Marschner, 1995 cité par Chaignon, 2001*). Coppent et Juste (1979) indiquent que le seuil de carence cuprique est de 7 à 8 ppm.

Lorsque la teneur en Cu augmente dans le sol, la teneur en Cu observée dans la plante peut atteindre une concentration critique, variable selon l'espèce végétale, à partir de laquelle apparaissent des symptômes de phytotoxicité (*Marschner, 1995 cité par Chaignon, 2001*).

Quand la concentration d'un élément en trace quelconque comme le Cu dans les tissus atteint le seuil de toxicité les fonctions physiologiques de la plante sont affectées et la croissance du végétal est ralentie (*Bourellet et berthelin, 1998*). Reuter et Robinson (1997) cités par Chaignon (2001) indiquent que le seuil de toxicité en Cu est atteint à partir d'une concentration de 15 à 30 mg/kg Ms dans les feuilles de plantes cultivées (figure 02). Mais certaines plantes peuvent tolérer et accumuler des concentrations élevées en éléments traces Cu et Cd inhabituelle chez les végétaux (*Jiang et al. 2004 ; Yang et al.2004*). Ces plantes sont appelées hyperaccumulatrices (*Salt et al. 1995*).



**Figure 02 :** Courbe de croissance en réponse au statut nutritionnel de la plante (Reuter et Robinson, 1997 cité par Chaignon, 2001).

La concentration des éléments en traces dans la plante varie d'un organe à l'autre (*Bourelier et berthelin, 1998*). Pour la plupart des espèces végétales, les racines retiennent la majeure partie des éléments en traces absorbés (80 à 98% de la quantité totale du métal absorbé) (*Javis, 1976 cité par Bourelier et berthelin 1998*).

Les sites d'absorption de Cu se trouvent dans les racines (*Coïc et coppenet, 1989; Mitchel et Binghaml, 1978 cité par chaignon, 2001*). Ceci peut être intéressant dans le cas où de trop fortes quantités de Cu assimilable dans le sols pourraient causer des toxicités ; par contre, la rétention de Cu par la racine, dans le cas d'une alimentation normale en cet élément, conduit à une déficience de Cu dans la ration des herbivores mangeant des graminées (*Coïc et coppenet, 1989*).

La concentration en cuivre varie dans les différents organes de la plante. Ainsi les feuilles sont bien plus riches que les tiges, et les racines sont plus riches que les parties aériennes consommables par les herbivores (*Howell et Gawthorne, 1987*).

### **2-3-2- Rôle physiologique du cuivre dans la plante**

Le cuivre a un rôle important dans divers processus métaboliques. En effet, il est un constituant de quatre formes de protéines (*Louè, 1993*) :

- les plastocyanines : le cuivre des chloroplastes est complexé à plus de 50% par les plastocyanines. Ces protéines participent à la chaîne de transport des électrons au cours de la photosynthèse.

- Les peroxydases et phénols oxydases : ces enzymes sont abondantes dans les parois cellulaires et participent à la synthèse de la lignine.

- Les ascorbates oxydases : ce sont des enzymes (oxydases) contenant au moins quatre atomes de Cu par molécule et qui catalysent les réactions d'oxydation de l'acide ascorbique.

- Les cytochromes oxydases : ces molécules contiennent deux atomes de fer. Elles catalysent la dernière oxydation de la chaîne des transporteurs d'électrons des mitochondries (respiration).

En cas de carence en Cu, l'activité des enzymes d'oxydo-réduction constituées par Cu décroît assez rapidement aboutissant à un dysfonctionnement du métabolisme de la plante et à une inhibition de sa croissance (*Chaignon, 2001*).

### 2-3-3- Teneurs en cuivre des plantes

La plante ayant des besoins en oligo-éléments différents de ceux des animaux, et, en général beaucoup plus faibles (*Jean Blain, 2002*).

La teneur de 7 ppm de Cu, constitue une limite très raisonnable (*Lamand, 1978a*). Coïc et coppenet (1989) préconisent 5 ppm comme seuil de carence pour les végétaux. Les plantes peuvent être consommées telle qu'elles en pâturage ou en fourrage conservés (foin, ensilage).

Dans les climats tempérés, les graminées sont plus pauvres en cuivre que les légumineuses (respectivement 5 à 7 mg/Kg Ms et 8 à 10 mg/kg Ms) mais la tendance s'inverse en climat tropical (*Underwood et Suttle, 1999*). Cependant la composition de l'herbe reste tributaire de la nature botanique du pâturage, du climat et de la richesse du sol.

En ce qui concerne les foins, 44% français ont une teneur en cuivre inférieure à 5mg/KgMs, teneur qui peut induire des carences cliniques (*Chappuis, 1991*). Pour ce qui est des pailles, la plus digestible est la paille d'avoine. Toutefois, toutes les pailles sont pauvres en cuivre (tableau 03).

**Tableau 03** : Constitution en cuivre et en zinc des fourrages conservés (Souci et al., 2000)

Aliment	Cu mg/Kg Ms	Zn mg/Kg Ms
Foins :		
Prairie permanente	5.2 (+/- 0.5)	29.1 (+/- 0.4)
Ray grass italien	4.9 (+/- 0.3)	26.5 (+/- 1.4)
Luzerne : 1 <sup>ere</sup> coupe	7.1 (+/- 0.3)	24.6 (+/- 2.1)
Luzerne : 2 <sup>eme</sup> coupe	7.5 (+/- 0.3)	23.7 (+/- 1.1)
Paille d'avoine	4	29
Paille de blé	3	19
Ensilage de maïs	6.1 (+/- 0.3)	26 (+/- 1.6)
Ensilage d'herbe	7 (+/- 4)	22.5 (+/- 2.5)

#### 2-3-3-1-Facteurs de variation

Les variations des teneurs en oligo-éléments sont dues à celles que la plante subit sous la dépendance d'un certain nombre de facteurs qui sont :

**a) Le potentiel génétique :** (famille et espèce)

Les graminées sont pauvres en cuivre, les légumineuses sont assez bien pourvues en cuivre, se situant à la limite des 7ppm. Cependant les variations de teneurs en cuivre des légumineuses semblent directement liées au sol ; si bien que sur sol pauvre, elles seront peu pourvues, et, sur sol riche elles seront très bien pourvues. Les autres plantes adventices sont nettement plus riches que les deux précédentes (tableau 04). A l'intérieure d'une même famille (graminées ou légumineuses), il existe des écarts, parfois sensibles, entre les différentes espèces ou variétés (Lamand, 1978a).

**Tableau 04 :** Teneurs en cuivre de différentes espèces ou familles constitutives des mêmes prairies (Lamand 1978a).

<b>Lieux de l'expérimentation et expérimentateur</b>	<b>Plante</b>	<b>Cu en ppm Ms</b>
<b>Puy de dôme :</b> Saint-Genès Champanelle, I.N.R.A	Ray-grass d'Italie	4,8
	Trèfle violet	6.7
	Pissenlit	9.1
<b>Haute-Marne :</b> Balesme, I.T.C.F.	Graminées	4.2
	Légumineuses	6.2
	Divers	10.8
<b>Savoie :</b> Sainte-Reine, I.T.C.F.	Graminées	4.4
	Légumineuses	3.2
	Divers	6.4

**b) le stade végétatif :**

L'herbe jeune est riche en oligo-éléments mais sa digestibilité est compromise car les excès d'azote et de potassium sont susceptibles d'entraîner des diarrhées. Elle est également déficitaire en cellulose et en sodium. Lorsqu'elle est trop âgée, elle est chargée de cellulose, donc peu digestible, tandis qu'elle s'est grandement appauvrie en protéines, phosphore, oligo-éléments, carotènes (Wolter, 1996).

**c) Le numéro de cycle :**

L'herbe, en cours de pousse rapide (printemps) s'appauvrit très rapidement en cuivre. La première coupe sera d'autant plus pauvre qu'elle aura été effectuée tardivement. Par contre, la repousse est beaucoup plus riche que la première pousse. Ceci explique la très bonne teneur en cuivre des regains (*Lamand, 1978a*).

**d) Saison de l'année :**

En France l'analyse de l'herbe de différents passages des animaux indique des variations importantes de composition minérale : le phosphore est le plus bas en été, surtout lorsque la terre est très sèche ; le potassium est le plus élevé au printemps, puis il diminue par la suite ; le calcium, le magnésium, le sodium s'élèvent, au contraire, avec l'avancement de la saison ; il en est de même pour les oligo-éléments. Voici les moyennes observées (tableau 05) (*Coïc et coppenet, 1989*)

**Tableau 05 :** Variation de la composition minérale de l'herbe selon les saisons (*Coïc et Coppenet, 1989*)

	<b>Premier pâturage de fin d'hiver</b>	<b>Dernier pâturage d'automne</b>
Molybdène	1 ppm	3 ppm
Manganèse	100 ppm	200 ppm
Cobalt	0.05 ppm	0.08 ppm
Sélénium	0.04 ppm	0.065 ppm
Cuivre	6 ppm	8 ppm
Zinc	25 ppm	30 ppm

**e) Le climat annuel :**

Des analyses pratiquées plusieurs années successives dans une région et sur les mêmes types de fourrages peuvent présenter des résultats différents. L'explication pourrait être que les plantes sont météo- dépendantes. Ainsi, certains facteurs tels que la pluviométrie, l'éclairement ou la température, pourraient modifier l'absorption d'oligo-éléments par la plante (*Roy, 1986*).

**f) Les amendements et la fertilisation :**

A la suite d'analyses de terres, il est procédé, la plus part du temps, à des apports d'amendements ou d'engrais. Ceux-ci permettent la « mise en valeur » de ces terres et en

accroissent le rendement fourrager qui va généralement de paire avec une baisse de la teneur en oligo-éléments. Les fertilisations azotées peuvent provoquer une baisse de la teneur en cuivre des fourrages (*Lamand, 1978a*).

Une certaine acidité favorise l'assimilation des oligo-éléments, notamment cuivre et zinc. Le pH idéal d'une prairie se situerait entre 6 et 6.5 (*Wolter, 1996*).

En pratique le pH du sol n'a pas d'influence sur la solubilité de Cu alors que, théoriquement elle diminue avec l'élévation du pH des sols mais pour des variations importantes de celui-ci (*Coïc et coppenet, 1989*).

Sur sols acides, les amendements calcaires favorisent le développement des graminées et des légumineuses, de plus, ces amendements peuvent diminuer la mobilité du cuivre dans le sol. Ainsi, à partir d'un pH 5.5 – 5.8, il convient de chauler de façon modérée et fragmentée pour ne pas provoquer une diminution de la biodisponibilité d'oligo-éléments et entraîner l'élévation des pertes par lessivage (*Roy, 1986*).

#### **g) Le mode de récolte des fourrages conservés :**

La valeur alimentaire des fourrages conservés dépend d'abord de la composition des fourrages verts au moment de la fauche. Elle sera ensuite modifiée par les techniques de récoltes et de conservations. Cependant, quelque soit le système de récolte et de conservation, la valeur alimentaire du foin sera toujours inférieure à celle du fourrage vert sur pied avant la fauche (*Kuypers, 2003*).

Les méthodes de récolte et de conservation sont susceptibles d'amoinrir grandement la valeur des fourrages. Par exemple, des manipulations mécaniques trop brutales lors du fanage sont à l'origine de pertes de feuilles et de folioles des légumineuses, parties les plus nutritives de la plante. De même la contamination par la terre diminue la disponibilité des oligo-éléments (*Rivière, 1978 ; Howell et Gawthorne, 1987*).

Les pertes par lessivage sont insignifiantes, si la pluie intervient sitôt après la coupe ; par contre ; elles peuvent devenir très importantes à partir du second ou du troisième jour (*Wolter, 1996*).

#### **2-3-4- Teneurs en cuivre des céréales**

D'une manière générale, les grains sont moins riches que les organes végétatifs ; les grains de maïs étant les plus pauvres de tous (*Coïc et Coppenet, 1989*). En effet dans les parties aériennes de la plante, les éléments en traces sont surtout présents dans les organes végétatifs

(feuilles, tiges) et relativement moins dans les organes de reproduction (*Bourelier et berthelin, 1998*). Le (tableau 06) nous montre les teneurs en cuivre et zinc de quelques céréales.

**Tableau 06 :** Constituants en cuivre et en zinc de quelques céréales  
(Sauvant et al., 2002 cité par Kuypers, 2002)

<b>Céréales</b>	<b>Cu (mg/Kg Ms)</b>	<b>Zn (mg/Kg Ms)</b>
Avoine	3 (+/- 1)	23 (+/- 4)
Orge	9 (+/- 5)	30 (+/- 8)
Blé	7	15
Maïs	2 (+/- 1)	19 (+/- 6)

## CHAPITRE II : LE CUIVRE DANS L'ORGANISME ANIMAL

### 1- L'utilisation du cuivre par l'organisme animal

Le cuivre est un oligo-élément essentiel qui participe à de nombreuses fonctions physiologiques dont le métabolisme du fer (Fe), la fonction immunitaire et la protection contre les stress oxydants. Le foie joue un rôle central dans le métabolisme et l'homéostasie du cuivre : selon les apports et le statut de l'animal, le Cu est stocké, excrété via la bile ou distribué vers les organes (*Jondreville et al. , 2002*).

#### 1-1- Métabolisme du cuivre

Après ingestion des aliments par l'animal les substances minérales ne sont pas réellement "digérées" au même titre que les substances organiques. Après avoir été ingérées, elles sont acheminées vers l'estomac. Certaines d'entre elles voient leur support organique dégradé sous l'effet des enzymes gastriques. Les autres sont directement mises en solution sous l'action de l'acidité gastrique. Une fois mis en solution, ces éléments peuvent être absorbés par la paroi intestinale. L'absorption après ingestion, est en général le seul flux entrant pour l'organisme. Les flux sortants sont plus divers, il s'agit de l'excrétion urinaire, l'excrétion fécale, la sudation la gestation et la production laitière. Des flux internes à l'organisme déplacent par ailleurs les éléments vers les productions internes, les organes de stockages ou vers les fluides circulants (*Kuypers, 2003*). La (figure 03) illustre le métabolisme du cuivre chez les mammifères.

##### 1-1-1-Absorption

La solubilisation de Cu, comme celle des autres oligo-éléments (Mn, Fe, Zn) est favorisée par l'acidité gastrique. Dans l'intestin grêle, la présence de ligands solubles, d'origine alimentaire ou endogène, permet d'éviter la formation de précipités indisponibles d'hydroxydes due à l'augmentation du pH (*Powel et al. ,1999*). En particulier, les mucines, glycoprotéines secrétées tout au long du tube digestif, jouent un rôle prédominant dans l'absorption des oligo-éléments qui s'y lient et sont ainsi convoyés jusqu'à la muqueuse où ils sont libérés puis absorbés par les entérocytes (*Jondreville et al. ,2002*).L'absorption digestive de Cu semble se situer dans l'intestin grêle (déodénum et jéjunum) (*Bowland et al. ,1961 ; Paragon, 1984*).

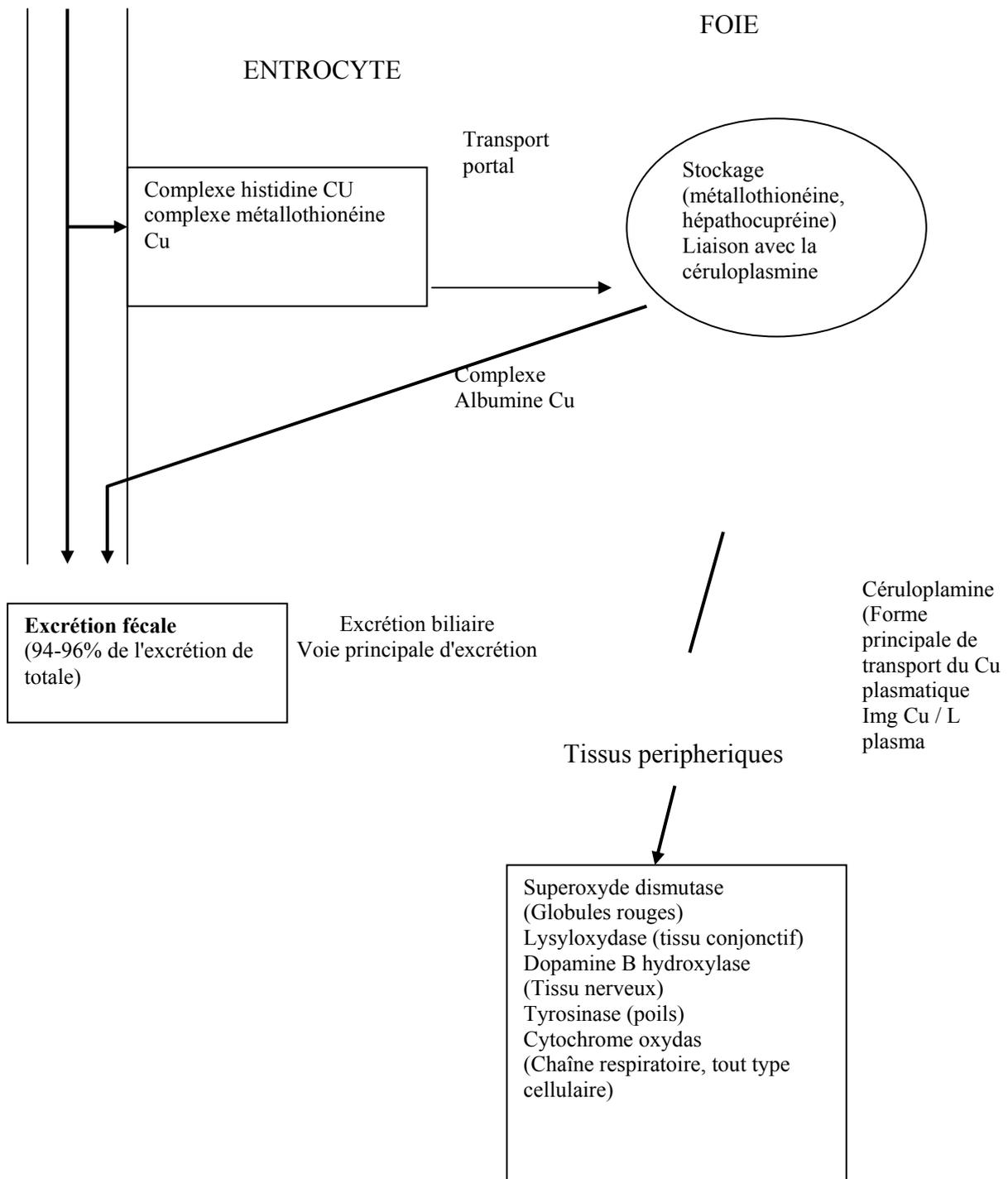


Figure 03 : Métabolisme du cuivre chez les mammifères (jean-Blain, 2002)

Le cuivre ingéré est résorbé pour moitié dans l'estomac et l'intestin grêle chez les monogastriques mais chez les ruminants le pourcentage est inférieur et se situe entre 1 et 10% au niveau du déodénum et des portions antérieures du jéjunum (*Riffard, 1988*).

Chez les ruminants le site principal d'absorption des éléments traces est l'intestin grêle avec une absorption nette de Cu, Fe, Mn et Zn par le gros intestin (*Grace et Clarck, 1991*) surtout chez les ovins (*Gooneratne et al., 1989*). Pour l'absorption de Cu il y a deux composantes : un mécanisme actif et saturable couplé à un mécanisme passif et insaturable (*Underwood et Suttle, 1999*). La captation de Cu par les cellules entériques se fait après complexion de Cu sur les acides aminés (histidine en particulier) ou après liaison au métallothionéines (*Howot et Tarallo, 1991*). Le cuivre se lie dans les entérocytes à un type particulier de protéines de faible poids moléculaire "les métallothionéines" (*Gooneratne et al., 1989 ; Jean-Blain, 2002*), qui ont une capacité de stockage et/ou de détoxification de Cu (*Cymbaluk et smart, 1993*).

Les métallothionéines (MTs) des mammifères sont caractérisées par : un bas poids moléculaire 6800-7000 Daltons, elles comportent 60 aminoacides, chaque molécule de MT peut fixer 7 atomes de métaux divalents tels que  $\text{Cu}^{2+}$  (*Conseil supérieur d'hygiène publique de France, 1996*), mais aussi  $\text{Zn}^{2+}$  ou  $\text{Cd}^{2+}$ , qui peuvent aussi induire leur synthèse, et donc interférer avec la résorption du cuivre (*Howot et Tarallo, 1991*). Dans l'intestin, les métallothionéines joueraient un rôle non seulement dans le transport de Cu mais également dans la séquestration de Cu en cas de surcharge alimentaire donc c'est aussi un système de régulation de l'absorption (*Bremner, 1987 ; Powell et al., 1999 ; Jean-Bleain, 2002*). Une grande quantité de cuivre peut ainsi être captée par les métallothionéines, ce qui réduit grandement l'absorption. Ainsi "Cousins" (1985) considère cette protéine comme un régulateur de l'absorption du cuivre et comme un site intestinal de compétition entre le cuivre et le Zinc (figure 04)

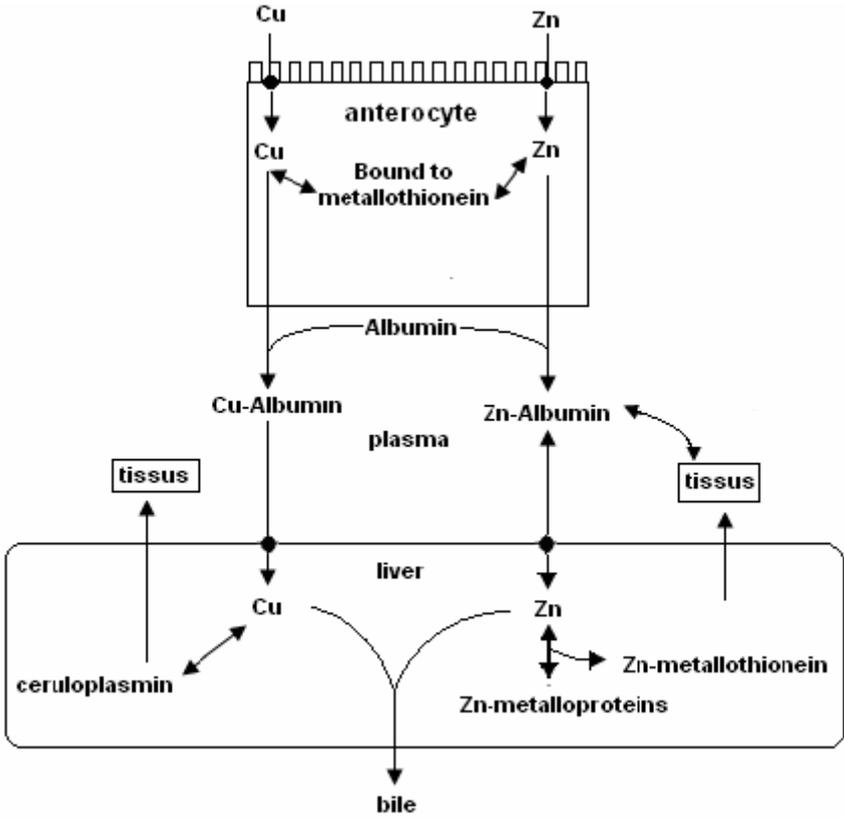


Figure 04 : Métabolisme du cuivre et du zinc (Cousin, 1985)

Dans la plupart des espèces animales le cuivre est faiblement absorbé. Les jeunes animaux ont une capacité d'absorption bien meilleure que celle des adultes avec de bonnes réserves aussi (*Graham, 1991*). Généralement, seulement 5 à 10% du cuivre alimentaire est absorbé par un animal adulte, alors que les jeunes en absorbent 15 à 30%. Chez les ruminants, l'efficacité est encore moindre car ils n'absorbent que 1 à 3% du cuivre alimentaire (tableau 07) (*Paragon, 1995 in Kuypers, 2003*). Les pré-ruminants ont une efficacité proche de celle des monogastriques : par exemple un agneau absorbe 47% de cuivre deux semaines avant le sevrage, et seulement 8 à 10% après le sevrage (*McDowell, 1992*).

**Tableau 07** : Utilisation digestive moyenne des oligo-éléments chez les animaux domestiques (*Paragon, 1995 cité par Kuypers, 2003*)

Degré d'utilisation		Eléments concernés	
		Monogastriques	Ruminants
<b>Très bonne</b>	>90%	I	
<b>Bonne</b>	60 – 90%	Mo, F, Se	F
<b>Moyenne</b>	30 – 60%	Zn, Co	Zn, Se, I
<b>Faible</b>	10 -30%	Fe, Mn, <b>Cu</b>	Fe, Mo
<b>Médiocre</b>	<10%	Cr, Ni, Cd,	Cr, Ni, Cd, Co, <b>Cu, Mn</b>

### 1-1-2- Transport

Une fois absorbé Cu est transporté vers le foie il empreinte la circulation porte. Il entre dans le plasma sanguin faiblement lié à l'albumine, aux acides aminés (notamment l'histidine) ou à une protéine la transcupréine. Sous cette forme, il peut facilement passer dans les tissus cibles ou dans l'érythrocyte (*Abdel-Mageed, 1990*). Arrivant dans le foie, le cuivre est stocké, excrété via le système biliaire ou incorporé dans les protéines telles que l'erythrocupréine, la céruloplasmine ou d'autres enzymes cupro-dépendantes. La céruloplasmine est synthétisée dans le foie puis secrétée dans le flux sanguin, l'érythrocupréine est secrétée dans la moelle osseuse (*Underwood, 1977*).

### 1-1-3- Distribution et répartition

Les éléments traces sont transportés dans le sang et stockés dans les tissus en association avec des protéines et des acides aminés.

Le cuivre est réparti dans le squelette (40-46%), dans le muscle (23-26%), dans le foie (8-10%), dans le cerveau (9%), dans le sang (6%) et dans les autres organes internes (3%) (*Linder, 1991 cité par Cromwell, 1997 ; Buckley, 2000*). Ainsi la distribution du cuivre et d'autres oligo-éléments entre le foie et les autres organes et tissus est variable, elle est représentée par Grace et Clark (1991) dans le (tableau 08).

#### a) Dans le foie :

Bien qu'il y ait des variations inter-espèces le foie reste l'organe le plus riche en cuivre (*Howell et gawthorne, 1987*). Les ruminants ont une grande capacité de stockage du cuivre dans le foie (*Lopez Alonso, 2000*). Après son absorption le cuivre est véhiculé par l'albumine, les acides aminés (histidine, thréonine), il rejoint les hépatocytes. Le foie étant le principal organe de stockage du cuivre, avec des concentrations allant de 100 à 400 ppm poids sec chez les ruminants (*Bourrelier et Berthelin, 1998*).

Le cuivre est réparti dans les différents organites des hépatocytes :

- Les microsomes contiennent environ 18 % du cuivre hépatique, probablement sous forme de protéines cupriques nouvellement synthétisées.
- La fraction nucléaire correspond à environ 20 % du cuivre, c'est une forme de stockage temporaire.
- Les lysosomes, les mitochondries et les péroxysomes contiennent environ 20 % du Cuivre hépatique.
- Le cytosol contient approximativement 50 % du cuivre hépatique, sous forme de métallothionéine, Cu-Zn superoxyde dismutase et céruloplasmine (*Kuypers, 2003*).

#### b) Dans le sang :

Dans le sang, le cuivre est réparti dans le plasma et les érythrocytes. Chez les mammifères, sa concentration est normalement supérieure dans le plasma que dans les globules rouges. Au moins 60 % du cuivre présent dans les globules rouges est sous forme d'une protéine cuprique, généralement appelée érythrocupréine, bien que le nom d'hémocupréine lui soit parfois donné. Cette protéine fonctionne comme une superoxyde dismutase (*Underwood, 1977*).

Dans le plasma environ 80 % du cuivre se trouve sous forme de céruloplasmine (*Lamand, 1978a*). Cette protéine ne joue cependant pas un rôle significatif dans le transport du cuivre; en effet, la quantité de cuivre échangé chaque jour est faible comparé à la quantité absorbé par l'intestin. C'est l'albumine qui constitue la véritable protéine de transport cuprique. En plus de la ceruloplasmine une faible proportion du cuivre plasmatique est liée à d'autres enzymes cupriques, à des protéines et à des acides aminés (*Camakaris, 1987 cité par Laven et Livesey, 2006*).

### c) Dans les autres organes :

La thyroïde, le thymus, la prostate, les ovaires et les testicules sont des exemples d'organes pauvres en cuivre. Le pancréas, la peau, les muscles, la rate, et les os ont une concentration en cuivre intermédiaire. Le foie, le cerveau, le cœur, et la laine contiennent des concentrations élevées (*Kuypers, 2003*). Ces différents tissus sont plus au moins sensibles aux variations d'apport en cuivre. Ainsi, le foie, les reins, le sang, la rate, les poumons, le cerveau, et les os sont particulièrement sensibles alors que les glandes endocrines, les muscles, et le cœur sont beaucoup moins (*Underwood et suttler, 1999*).

**Tableau 08** : Distribution de Cu et Zn entre les différents organes et tissus d'un mouton de 40kg avec une toison de 3kg (Grace et Clarck (1991))

<b>Organes et tissus</b>	<b>Cu (%)</b>	<b>Zn (%)</b>
Cerveau	0.15	0.07
Poumon	0.75	0.46
Cœur	0.45	0.16
Rate	0.04	0.09
Reins	0.31	0.16
Pancréas	0.04	0.05
Foie	65.12	1.55
Sang	1.68	1.64
Tractus digestif	2.13	2.48
Muscle	11.56	32.15
Os	0.88	11.88
Peau	2.78	2.87
Laine	14.2	46.44

#### 1-1-4- L'excrétion :

L'excrétion du cuivre se fait essentiellement par voie biliaire (*Paragon, 1984; Durand et Benhamou, 1992 cité par Sassenou et al., 1996*). Cette excrétion en représente la majorité, les pertes via les urines, la peau, ou les phanères (*Buckly, 2000*) ou via les desquamations cellulaires dans l'intestin étant minoritaires (*Powell et al., 1999*).

Dans la bile, le cuivre est lié à un nombre important de composés comme des protéines, des sels biliaires, des peptides, et des acides aminés (*Jondreville et al., 2002*).

L'excrétion urinaire est faible, constante et ne dépend pas de l'apport alimentaire en cuivre. Elle est cependant augmentée par l'apport alimentaire de molybdène chez le mouton (*Underwood et Suttle, 1999*).

### 1-2- Fonctions physiologiques du cuivre

Le cuivre est un élément trace qui joue un rôle essentiel en biologie, comme un cofacteur pour différentes enzymes : superoxyde dismutase, cytochrome oxydase, la céruloplasmine... (*Alebic-Juretic et Frkovic, 2005*). En dehors de ce rôle direct, le cuivre intervient dans d'autres fonctions physiologiques, soit comme coenzyme, soit comme activateur, soit comme vicariant d'autres métaux ou métalloïdes (*Lamand, 1978a*). Ainsi il a un rôle important dans la reproduction, le développement osseux, la croissance, le développement des tissus conjonctifs et la pigmentation (*Uunderwood et Suttle, 1999*).

Les principales fonctions du cuivre sont représentées dans la (figure 05).

#### 1-2-1- Rôle dans les processus enzymatiques

Parmi les principales interventions du cuivre dans les différents processus enzymatiques, les plus importants sont :

- **Le système cytochrome oxydase** : il fait partie de l'enzyme cytochrome oxydase (*Ahmed et al., 2001*). Il est à la base de la chaîne respiratoire tissulaire. Il intervient dans l'oxydation des substrats, le métabolisme cardiaque et la respiration pulmonaire.

- Le cuivre intervient également dans les oxydations des groupements sulfhydriles qui est indispensable pour permettre la synthèse de la kératine.

- **La céramide galactosyl transférase** : qui joue un rôle important dans la myélinisation.

- **La tyrosinase** : qui est une cupro-enzyme indispensable à la synthèse de la mélanine.

- **L'amine oxydase** : qui est une cupro-enzyme impliquée dans la synthèse du collagène et de la matrice protéique osseuses.
- **La céruloplasmine** : est une protéine qui a une capacité de liaison réversible de 8 atomes de cuivre, elle transporte au moins 95% de tout le cuivre dans le plasma (*Poulik et Weiss, 1975*). La céruloplasmine est une enzyme à activité ferroxidasique (*Andrews et Smith, 2000*) en transformant le  $Fe^{2+}$  en  $Fe^{3+}$  (*Jain, 1993 cité par Nazifi et Rategh, 2005*). Elle est donc indispensable à la mobilisation et au transfert du fer, et autorise de ce fait la synthèse de l'hémoglobine et de la myoglobine (*Quiroz-Rocha et Bouda, 2001*). Cette enzyme synthétisée dans le foie a une demi vie de 70 heures chez les ovins et 37 heures chez les bovins (*Gooneratne et al. 1989*). Comme la céruloplasmine est fortement exprimée pendant la réaction de phase aiguë de l'inflammation, elle est généralement présente à des taux élevés dans toutes les maladies inflammatoires (*Halls et al. ,1981*). Ainsi *Lamand et Levieux (1981)* ont constaté une augmentation progressive du cuivre plasmatique et de la céruloplasmine et une diminution du Zinc malgré une distribution journalière per os de Zinc sous forme de sulfate chez des brebis atteinte de métrite ou de mammites.

### 1-2-2- Rôle dans la protection contre les oxydants

Le cuivre peut protéger les tissus des stress oxydatifs selon deux voies : l'une impliquant une Cu-Zn superoxyde dismutase (SOD) (*Ho, 2004 cité par Kouremenou et al., 2006*) cette enzyme cytoplasmique ou extra cellulaire , contenant à la fois du cuivre et du zinc, contribue à la protection des cellules contre l'ion superoxyde en catalysant sa dismutation en peroxyde d'hydrogène (*Aurousseau et al., 2004; Yim, 1993 cité par Sanchez et al., 2005*). La deuxième voie implique le métabolisme du fer : alors que le fer facilite la formation de radicaux libres, la glutathion peroxydase à sélénium (Se) et la ferrozenzyme catalase, autres enzymes du système antioxydant dont la synthèse est régulée par le cuivre, détachent le peroxyde d'hydrogène en eau (*Strain, 1994*).

### 1-2-3- Rôle dans l'hématopoïèse

Le cuivre est impliqué dans l'absorption du fer au niveau de la muqueuse intestinale, dans sa mobilisation à partir des tissus (*Quiroz-Rocha et Bouda, 2001*) et dans son utilisation lors de la synthèse de l'hémoglobine (*Braun, 1985 cité par Heinritzi, 1992*). Ces fonctions sont accomplies par l'intermédiaire de la ceruloplasmine qui facilite le transport du fer et son

incorporation dans une protéine de stockage, la ferritine (*Hellman et Gitlin, 2002 cité par Papanikolaou et Pantopoulos, 2005*). Ainsi, le cuivre est nécessaire à l'absorption et à l'utilisation du fer (*Swarup et al., 2005*).

#### **1-2-4- Rôle dans le développement du système nerveux central**

Une des conséquences pathologiques les plus précoces de la carence en cuivre est l'ataxie enzootique. Elle a été reliée à un déficit en cytochrome C oxydase dans les neurones, ce qui entraîne à la formation de myéline incomplète. Des déficits en une autre enzyme cuivre-dépendante, la peptidylglycine alpha amidating monooxygénase, ont été rapportés dans le cerveau de rats nouveau-nés issus de mères carencées en cuivre (*Underwood et Suttle, 1999*).

#### **1-2-5- Rôle dans le développement des tissus conjonctifs et des os**

L'intégrité de la structure des tissus conjonctifs dépend de l'apport alimentaire en cuivre. La lysyl oxydase, une enzyme cuivre-dépendante, catalyse la formation de liaisons intermoléculaires dans le collagène et l'élastine, constituants des tissus conjonctifs. En ce qui concerne les os, des fractures et des inflammations des articulations des membres ont été observées chez des ovins et des bovins carencés en cuivre (*Quiroz-Rocha et Bouda, 2001*).

#### **1-2-6- Rôle immunitaire :**

Le cuivre apparaît indispensable au fonctionnement normal du système immunitaire des ruminants et des petits animaux de laboratoire (*Underwood et Suttle, 1999*).

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

Le cuivre participe à la régulation de la synthèse des prostaglandines (P.G) en bloquant celle des (P.G.E) inflammatoires et en activant celle des (P.G.F) vasoconstrictrices donc anti-inflammatoires (*Riffard, 1988*).

Une baisse du taux du cuivre alimentaire diminue in vitro l'activité des neutrophiles chez les ovins et bovins (*Olkowski et al., 1990*).

Chez les animaux carencés en cuivre la diminution du taux de la SOD, réduit la demi-vie des leucocytes qui pour avoir un fonctionnement optimum nécessitent sa présence en quantités suffisantes (*Gengelbach et al., 1997*). En outre la carence en cuivre entraîne à la fois une baisse du nombre et de l'activité des lymphocytes (T) chez le rat (*Bala, 1990 cité par Gengelbach et Spears, 1998*).

**1-2-7- Rôle dans la reproduction** (*Riffard, 1988*)

L'action du cuivre est bien connue, mais son mode d'intervention est encore incertain :

-Intervention par le biais des prostaglandines ; lors de carence, l'excès de P.G.E provoquerait un état inflammatoire de la muqueuse utérine nuisible à la nidation, de plus les (P.G.F) jouent un rôle important dans l'ovulation et la lutéolyse que la carence pourrait perturber.

-Intervention dans la cohésion de l'embryon d'où des avortements ultra-précoces lors de carence.

-Atténuation de la vitalité des spermatozoïdes par anoxie cellulaire lors de carence.

Conséquences : hypofertilité sur les troupeaux carencés.

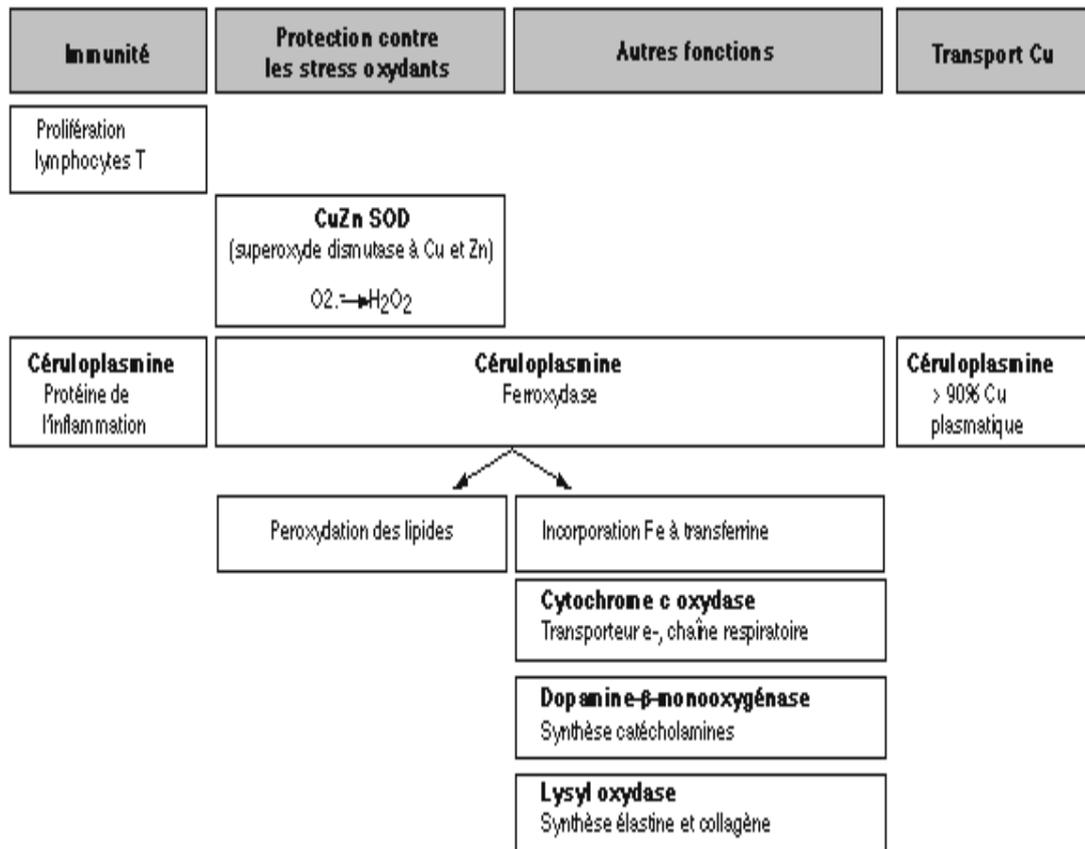


Figure 05 : fonctions physiologiques du cuivre (Jondreville et al., 2002)

## CHAPITRE III : CARENCE ET INTOXICATION PAR LE CUIVRE

### Introduction

Les besoins de la plante en oligo-éléments pour assurer son développement sont faibles par rapport à ceux de l'animal et sa composition reflétera les insuffisances qui pourront être à l'origine de carence ou l'excès qui entraînera l'intoxication chez l'animal qui la consommera.

La carence en cuivre ou en autres oligo-éléments est rarement mortelle, mais une carence prolongée peut entraîner une diminution du pouvoir de synthèse des enzymes dans les organes, des blocages partiels de voies métaboliques diverses, des réductions des aptitudes fonctionnelles de l'organisme et une forte diminution des productions. En revanche, un excès de cuivre qui n'est pas à craindre dans les conditions normales d'élevage, est toxique.

### 1- La carence en cuivre

Les carences en oligo-éléments provoquent le blocage de voies métaboliques diverses, entraînant des symptômes cliniques plus ou moins graves (*Kolb 1975*). Si les blocages sont importants, ils entraînent des signes cliniques nets alors que les sub-carences se manifestent seulement par une chute de productivité (*Lamand, 1978b*). La dénutrition et le déséquilibre alimentaire peuvent favoriser la carence en cuivre. Elle se développe lorsque les apports sont inférieurs aux besoins, c'est-à-dire l'absorption à partir de la ration est inadéquate ; c'est la carence primaire. Elle est secondaire, lorsque la ration est suffisamment riche mais que l'utilisation du cuivre est empêchée (*Leberton et al., 2002*). Les ruminants sont sensibles à la carence en cuivre, les signes cliniques ont des degrés variables selon le stade de développement. Principalement il y a : anémie qui est due à des troubles de l'hématopoïèse, ralentissement de la croissance et amaigrissement, altération des poils et de la laine et leur décoloration. Mais le signe le plus caractéristique est l'ataxie locomotrice des agneaux nouveaux nés et à la mamelle, avec en particulier, un balancement du train postérieur (démarche chaloupée) due à des lésions dégénératives irréversibles du système nerveux central (démyélinisation).

## 1-1-Etiologie de la carence

### 1-1-1 Carence primaire

C'est la carence d'apport. Il y a carence primaire lorsque les apports en cuivre apportés à l'animal par l'alimentation sont insuffisants (*Gengelbach et al., 1994; Quiroz-Rocha et al., 2003*).

#### a - Au niveau du sol :

De nombreuses études ont montré qu'il y a une relation entre la géochimie du sol et la répartition des maladies humaines et animale (*Thornton et plant, 1980*). La quantité de cuivre présente dans la ration peut être inadéquate, lorsque le fourrage a poussé sur un sol carencé ou dont le cuivre n'est pas assimilable par les végétaux. En général il existe deux types de sols qui produisent des plantes déficientes en cuivre.

Le premier groupe comprend les sols sableux, pauvres en matière organique et ceux formés de limon, sont volontiers totalement carencés en cuivre, aussi bien d'ailleurs qu'en cobalt et autres minéraux traces (*Blood et Henderson, 1976*). Dans ce premier type de sols il y a aussi les sols détritiques (grés...) ou issus de roches acides (granit et diluvium d'origine glacière) (*Riffard, 1988*). Les sols qui reçoivent de fortes précipitations atmosphériques sont en général d'autant plus pauvres en éléments facilement léxiviées par les eaux de percolation et manifestent fréquemment des carences en oligo-éléments (*Aubert et Pinta, 1971*). Ainsi sur un climat très pluvieux, même les sols riches peuvent être appauvris.

Le second groupe de sols déséquilibré de point de vue cuprique comprend les tourbières et les sols récupérés sur les marais. Il peut s'agir d'une absence totale de cuivre, mais le plus souvent, c'est d'une carence d'absorption par les plantes qu'il s'agit. Les végétaux poussés sur ces sols ne renferment pas le métal en quantités voulues. La cause de cette non assimilation est mal connue, mais elle résulte vraisemblablement de la formation de composés cupriques organiques insolubles (*Blood et Henderson, 1976*). Aussi il y a les sols très riches en matière organique où le cuivre est fortement chélaté (*Alloway et al., 1984*). Les sols calcaires et alcalins, contiennent une quantité normale de cuivre, mais l'alcalinité empêche une assimilation correcte par les plantes qui se trouvent ainsi déficientes (*Rivière, 1978*).

#### b- Au niveau de la plante :

Les végétaux puisent dans le sol les minéraux qu'ils assimilent et que par conséquent, les teneurs en éléments dépendront essentiellement de la richesse du sol en ces même éléments. Outre la teneur en cuivre des sols, d'autres éléments interviennent sur la teneur en cuivre des végétaux.

Les graminées sont pauvres en cuivre tandis que les légumineuses sont assez bien pourvues, cependant les variations de teneurs en cuivre des légumineuses semblent directement liées au sol; si bien que sur un sol pauvre, elles seront peu pourvues, et sur sol riche elles seront très bien pourvues. Les plantes souvent adventices sont nettement plus riches que les deux précédentes (*Lamand, 1978a*). C'est au stade feuillu en début d'épiaison que les plantes sont les plus riches et que la digestibilité est meilleure. En suite il y a une décroissance rapide de ces deux paramètres. Les feuilles et les épillets sont bien plus riches que les tiges. Les feuilles jeunes sont plus fournies que les feuilles anciennes de la base des plantes. Les ensilages sont plus riches que les foins de même origine (*Riffard, 1988*).

Certains facteurs tels que la pluviométrie, l'éclairement ou la température pourraient modifier l'absorption d'oligo-éléments par la plante. Donc le climat joue un rôle important (*Roy, 1986*)

### **1-1-2-Carence secondaire**

C'est la carence d'assimilation. Il y a carence secondaire lorsque les apports en cuivre sont amenés normalement par l'alimentation, mais la biodisponibilité du cuivre est diminuée en présence de matières pouvant interagir ou interférer avec son passage dans la circulation sanguine générale (*Quiroz-Rocha et Bouda, 2001*).

Une composante importante des interactions se situe probablement avant l'absorption et consisterait en la formation de composés insolubles, souvent par complexation des ions métalliques avec des composés alimentaires ou endogènes, dans l'aliment ou dans le tube digestif. Ces associations peuvent être modifiées substantiellement durant la digestion, notamment avec le changement de pH de l'estomac à l'intestin, ce qui rend malaisée l'étude de leur impact sur la biodisponibilité. Les interactions négatives n'ont d'importance, pratique que si elles entraînent une augmentation significative des besoins. Néanmoins, une compréhension insuffisante voire l'ignorance de ces interactions obère notre capacité à définir de façon adéquate les besoins de l'animal (*Jondreville et al. 2002*).

#### **1-1-2-1-Interaction avec les minéraux**

##### **a) Le molybdène :**

Il existe une liaison formelle et « à contrario » entre le molybdène et le cuivre. Le molybdène est considéré comme le principal antagoniste du cuivre (*Graham, 1991*) il interfère avec son métabolisme (*Telfer et al., 2003*). Un excès de molybdène dans les fourrages (après

un chaulage par exemple), induit une carence en cuivre chez les animaux qui les consomment (*Lamand, 1978a*), en diminuant son stockage dans le foie (*Cunningham, 1946 cité par Jamieson et Alcroft, 1950*)

Certains sols formés sur les étages géologiques du Lias, sont exceptionnellement riches en molybdène (Mo), dans ces régions, les fourrages produits sont alors riches en Mo jusqu'au-delà de 20ppm Ms et les bovins les consommant manifestent une carence en cuivre commençant par des diarrhées, bien que la teneur en cuivre soit normale (molybdénose) (*Coïc et coppenet, 1989*).

Lors d'une carence en cuivre provoquée par un excès de molybdène, il y a formation in vivo d'un complexe cuivre-molybdène aussi absorbable que le cuivre seul, mais inassimilable par le foie et les tissus (*Riffard, 1988*). Aussi le molybdène accroît la proportion de cuivre liée à l'albumine plasmatique et cette liaison peut être suffisamment puissante pour rendre le cuivre indisponible aux cellules (*Chappuis, 1991*).

L'antagonisme Cu-Mo est en réalité une trilogie où le soufre est impliqué par la synthèse de thiomolybdates dans le rumen, qui forme des complexes de thiomolybdates de cuivre inutilisables par l'organisme. Ainsi la disponibilité du cuivre et son absorption sont réduites (*Ragnarsdottir et Howkins, 2006*). La compétition entre le cuivre et le molybdène est beaucoup plus prononcée chez les ruminants que chez les monogastriques car l'excès de molybdène est à l'origine d'un déséquilibre de la flore ruminale. Ainsi, chez les ruminants les niveaux de molybdène et de soufre dans les pâtures sont particulièrement importants à surveiller, et un ratio Cu : Mo de moins de 2 : 1 entraîne une baisse d'absorption du cuivre (*Robbins, 1983*). Alors, si l'herbe contient 3 à 7ppm de Mo il faut augmenter parallèlement le Cu entre 10 – 20 ppm (*Coïc et coppenet, 1989*).

#### **b) Le soufre :**

Un apport élevé en soufre peut aussi diminuer le statut cuprique même seul sans intervention du molybdène (*Smart, 1986 cité par Shen et al., 2005*). Le soufre en excès diminue l'absorption du cuivre par formation de sulfures de cuivre inassimilables (*Riffard, 1988*).

Chez les ruminants, le thiomolybdate semble provoquer la carence en cuivre en limitant l'absorption du cuivre, mais aussi en le liant à l'albumine et en retardant ainsi son absorption par le foie (*Gooneratne et al., 1989*).

#### **c) Le zinc :**

Le zinc est un oligo-élément essentiel à la vie des êtres vivants, il est important pour la croissance, le développement de l'os, la formation du collagène, la cicatrisation, la reproduction et le maintien de la santé de la peau (*Favier et al., 1986*). Il intervient ainsi dans la plupart des

métabolismes biologiques fondamentaux (synthèse et dégradation des glucides, lipides, protéines et acides nucléiques) par l'intermédiaire de plus de 300 enzymes dans les six classes : oxydoréductases, transférases, hydrolases, lyses, isomérase et ligases (*Vallée et Falchuk, 1993*). Ce qui explique son 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*).

Dans le cadre d'étude sur les besoins et la toxicité potentielle des oligo-éléments essentiels, Osweiller (1996) s'est attaché à l'étude du rapport entre le zinc et le cuivre :

-l'antagonisme entre ces deux éléments est un excellent exemple des effets de la compétition entre oligo-éléments.

-la parenté chimique et physique qui existe entre les oligo-éléments autorise une compétition entre eux pour la fixation sur les ligands.

- Le remplacement d'un oligo-élément par un de ces voisins, parasite la cinétique des enzymes et des cycles chimiques concernés.

- le zinc entre en compétition avec le cuivre pour le franchissement de la barrière intestinale.

Le zinc induit la synthèse de métallothionéines qui séquestrent le Cu dans l'entérocyte, empêchant son transfert vers la séreuse (*O'Dell, 1981*).

L'hypocuprémie a été observée dans des cas de toxicoses au zinc, possiblement causées par la compétition entre les deux éléments (*Milhaud et al., 1979*).

Ainsi, un apport excessif de zinc chronique, peut entraîner un déficit en cuivre (*Osweiller, 1996*).

#### **d) Le fer :**

Une ration trop riche en fer ou une eau particulièrement ferrugineuse s'avère préjudiciable à une utilisation normale du cuivre de la ration (*Riffard, 1988*), aussi susceptible de diminuer les réserves de Cu hépatiques, provoquant une hypocuprémie.

L'absence de cuivre cause la diminution de l'activité de la céruloplasmine. Cette diminution en activité inhibe le déplacement du fer emmagasiné dans les macrophages, cause une diminution dans le transport du fer à la moelle osseuse et résulte en une diminution de la synthèse de l'hème (*Allison et al., 1989 ; Houpert et al., 1997*)

#### **e) Le Calcium :**

Le calcium en excès diminue la rétention et l'absorption du cuivre chez les ruminants par une augmentation du pH ruminal et intestinal (*Riffard, 1988*).

### **1-1-2-2- Interaction avec les composants organiques de la ration**

#### **a) Les phytates :**

Certains composants organiques de l'alimentation sont susceptibles de modifier l'absorption du cuivre. C'est le cas des phytates qui forment des complexes stables avec le cuivre et diminuent ainsi son absorption (Howell et Gawthorne, 1987).

L'acide phytique représente la forme majeure de stockage du phosphore dans les céréales, les légumineuses et les oléagineux. Son effet antinutritionnel est dû aux six groupes phosphates capables de se lier avec des cations di et trivalents pour former des complexes stables, appelés phytates. L'effet négatif de la présence de phytates, dans l'aliment ou dans l'intestin, sur la disponibilité du zinc est reconnu. Son effet sur la biodisponibilité du cuivre est plus controversé (*Pallauf et Rimbach, 1997*).

Comparé au zinc, le cuivre serait moins sensible à la présence de phytates de calcium dans le tube digestif en raison de sa plus grande affinité pour d'autres chélatants, notamment les acides aminés libres, capables de préserver sa solubilité (*Mills, 1985*).

#### **b) Les fibres :**

Les fibres et les oxalates des fourrages diminuent la disponibilité des minéraux (Kuypers, 2003). Bien que leur effet soit difficile à distinguer de celui des phytates, les fibres pourraient également constituer des chélatants des oligo-éléments, les rendant moins disponibles (Kies et Umoren, 1989).

#### **c) Les protéines et les acides aminés :**

Le taux de protéines de la ration peut également influencer l'absorption du cuivre. Plusieurs acides aminés, l'histidine, la méthionine et la lysine, sont connus pour affecter le métabolisme des oligo-éléments (Snedeker et Greger, 1983).

### **1-1-2-3- Influence des caractéristiques de la ration**

Le (tableau 09) représente l'influence de quelques facteurs liés à la ration sur la digestibilité du cuivre et du zinc.

#### **a) Accélération de la vitesse du transit intestinal :**

La rapidité du transit intestinal de certains fourrages secs ou aliments broyés diminue la digestibilité et la rétention du cuivre (*Amboulou et al, 1977*).

L'ingestion de fourrages jeunes et riches en eau (herbe jeune, ensilage) a le même effet que les foins broyés en ce qui concerne la digestibilité et la rétention du cuivre. Ainsi l'absorption du cuivre décroît lorsque la vitesse de transit augmente (*Riffard, 1988*)

**b) Contamination par la terre :**

La contamination des fourrages avec de la terre, cette source d'oligo-éléments, loin d'enrichir le fourrage, diminue proportionnellement la digestibilité de ceux apportés par la plante (*Lamand, 1978a*). Une ration contaminée par 5% de terre voit l'absorption du cuivre diminuer de façon hautement significative quel que soit la teneur en cuivre du contaminant (*Riffard, 1988*). Cela est dû aux grandes quantités de fer apportées par le sol qui interfèrent avec le cuivre alimentaire et réduit ainsi son utilisation par les ovins (*Suttle et al., 1975 cité par Thornton, 2002*) qui ingèrent des quantités importantes de terre en broutant sur les pâturages (*Thornton, 2002*).

**Tableau 09 :** Quelques facteurs de modification de la digestibilité de Cu et Zn (Chappuis, 1991)

		Teneur		digestibilité		rétention	
		(mg/Kg Ms)		(%)		(mg/j/100Kg PV)	
		Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Présentation physique	Foin forme longue	26	<b>8.4</b>	24	<b>16</b>	23	<b>5</b>
	Foibroyé aggloméré	34	<b>8.6</b>	14	<b>6</b>	23	<b>3</b>
Qualité	herbe	25	<b>4.5</b>	23	<b>10</b>	15.3	<b>1.2</b>
	Foin séché au sol	28	<b>5.3</b>	-4	<b>-4</b>	-2.3	<b>-0.4</b>
Soufre	Ensilage de maïs	25	<b>4.6</b>	28	<b>13</b>	17	<b>1.4</b>
	+S (2.9g S/Kg Ms)	24	<b>4.7</b>	17	<b>13</b>	11	<b>1.6</b>
Terre	Ensilage	34	<b>4</b>	15	<b>-1.5</b>	14	<b>-0.1</b>
	+ terre	36	<b>4.8</b>	4	<b>-11</b>	4	<b>-1.1</b>

## 1-2- Pathogénie de la carence en cuivre

Le cuivre est un élément qui entre dans beaucoup de processus biologiques dans l'organisme animal (*Gooneratne et al., 1989*), une carence prolongée aboutit à des troubles divers .

Les principaux rôles biochimiques permettent d'expliquer un certain nombre de symptômes spécifiques, pouvant apparaître chez les animaux carencés en cuivre, expliquant ainsi la pathogénie de la carence (tableau 10) (*Lamand, 1978a*).

**Tableau 10** : Pathogénie de la carence en cuivre (*Lamand 1978a*)

	Cytochrome oxydase	Céruloplasmine	Système complexe cuivre +	Polyphénol oxydase	Ceramide galactosyl transférase	Amine oxydase
Voie métabolique inhibé	Oxydation des substrats du cycle de Krebs	Oxydation du Fe <sup>++</sup> en Fe <sup>+++</sup> et passage sur la sidérophiline	Synthèse de la kératine (oxydation des groupements sulfhydryles).	Synthèse de la mélanine	Synthèse de la cérébroside et de la myéline	Oxydation des amines et des lysines.
Symptômes	Ralentissement de croissance; amaigrissement troubles cardiaques	Diminution du taux de myoglobine; anémie	Altération du poil et de la laine	Décoloration du poil	Démyélinisation : Troubles nerveux	Anomalies du collagène de la matrice protéique osseuse; Troubles osseux

## 1-3- Les manifestations cliniques

Les symptômes généraux de la carence en cuivre sont identiques chez les ovins et chez les bovins, mais en plus de ces signes généraux, il y a des symptômes spécifiques plus ou moins différents selon les espèces animales.

### 1-3-1- Chez les jeunes ruminants

Les jeunes sont particulièrement sensibles aux carences, leurs besoins étant accrus par suite d'une croissance intense, d'où une extériorisation plus marquée que chez les animaux plus âgés ou adultes, et sous une forme aiguë. Les oligo-éléments en effet participent, par

l'intermédiaire des systèmes enzymatiques où ils sont inclus, au fonctionnement des différentes voies métaboliques, qui sont d'autant plus sollicitées que le jeune à une croissance rapide (*Lamand, 1978a*).

**a) L'agneau :**

*L'ataxie enzootique* : la carence en cuivre pendant la gestation chez les ovins, et également chez les caprins, se manifeste par l'apparition d'un syndrome nerveux chez les agneaux et les chevreaux, appelé ataxie enzootique ou swayback ou encore syndrome de l'agneau mou (*Jean-Blain, 2002*). Il est caractérisé par des troubles nerveux principalement l'incoordination locomotrice en particulier une démarche "chaloupée" ce balancement du train postérieur étant à l'origine de la dénomination anglaise "swayback" (*Brugère-Picoux, 2004*). Ce syndrome nerveux est dû à une aplasie myélinique qui apparaît au cours du développement du système nerveux pendant la gestation. Ces lésions sont irréversibles, si bien que la correction de l'apport en cuivre est inopérante lorsqu'elles sont installées (*Jean-Blain, 2002*). L'ataxie enzootique ne touche que les agneaux non sevrés. Dans les enzooties graves, les agneaux peuvent être atteints à la naissance, mais la plupart des cas se produisent vers 1 à 2 mois. La gravité de la parésie diminue à mesure qu'augmente l'âge du sujet au début de la maladie. Les agneaux atteints à la naissance ou dans leur premier mois de vie meurent ordinairement en 3 à 4 jours. La maladie chez les sujets plus âgés peut durer 3 à 4 semaines et les cas de survie sont plus nombreux, mais les survivants ont un certain degré d'ataxie (*Blood et Henderson, 1976*). En dehors de l'ataxie il peut y avoir des anémies surtout chez les animaux au pâturage et lorsque la végétation est plus active, bien que les animaux trouvent suffisamment de fer dans leur alimentation ils sont incapables de l'utiliser, par un manque de cuivre (*Craplet et Thibier, 1980*). Il y a aussi des anomalies de la toison, amaigrissement, retard de croissance, diarrhée, diminution de la résistance aux infections (*Brugère-Picoux, 2004*).

**b) Le veau :**

L'anémie, des défauts d'aplomb, les fractures spontanées ne sont pas rares : elles sont toujours attribuées à un accident mécanique. L'ataxie enzootique peut se rencontrer chez le veau, elle sévit souvent après la naissance et se caractérise par une paralysie des postérieurs qui gagne les antérieurs. Les troubles cardiaques sont très répondus chez le veau carencé en cuivre. Les sujets atteints récupèrent difficilement après un effort (dyspnée d'effort).

La diarrhée est fréquente, la décoloration du poil est le symptôme le plus caractéristique avec son altération aussi (*Lamand, 1977*).

### **1-3-2- Chez les ruminants adultes**

#### **a) Ovins :**

Les anomalies de la laine sont les premiers signes à apercevoir : la laine noire se décolore autour des yeux et du nez, elle devient grisâtre, raide, perd ses ondulations, sa résistance et son élasticité en prenant l'aspect de filasse de chanvre (*Coïc et Coppenet, 1989*). Il y a aussi anémie, diarrhée, fragilité osseuses, amaigrissement, cardiopathie ....

#### **b) Bovins :**

Le signe caractéristique de la carence en cuivre chez les bovins, est la décoloration ou le changement de couleur du poil. Il est particulièrement net dans les races pie-noires où les zones noires de la robe prennent une coloration roussâtre, ou se parsèment de zones blanchâtres (*Jean-Blain, 2002*). La carence en cuivre provoque aussi une ostéomalacie qui aboutit à des fractures spontanées (*Chappuis, 1991*). Les autres manifestations de la carence ne sont pas caractéristiques : perte d'appétit, pica, troubles de la démarche, baisse de la production laitière, diminution de la fécondité. Des diarrhées chroniques persistantes rebelles aux traitements infectieux et parasitaires, apparaissent lorsque la carence en cuivre est provoquée par un excès de molybdène (*Jean-Blain, 2002*).

## **1-4- Diagnostic**

### **1-4-1-Diagnostic clinique**

Lorsque la carence en cuivre est franche un ou plusieurs symptômes spécifiques peuvent être extériorisés chez l'animal carencé (décoloration de la laine par exemple), cependant si la carence est légère les signes cliniques peuvent être discrets et non spécifiques à la carence en cuivre mais communs à des carences en d'autres oligo-éléments. Dans ce cas le diagnostic clinique s'avère délicat.

### **1-4-2- Diagnostic analytique**

Lorsque le diagnostic clinique de la carence en cuivre est difficile à poser, le diagnostic analytique prend, alors, toute son importance, et constitue le seul moyen disponible dans ce cas et peut confirmer la suspicion (tableau 11).

Le diagnostic analytique peut se poser en réalisant les prélèvements et dosages suivants :

#### **a) Le sol :**

L'analyse d'un sol permet uniquement de diagnostiquer une carence limitant la production de fourrage. Elle n'a aucun intérêt pour diagnostiquer ou pronostiquer une carence chez les

animaux. Si elle indique une teneur insuffisante en cuivre donc les plantes seront déficitaires et une correction alimentaire sera nécessaire. Par contre si l'analyse du sol révèle une teneur normale, elle peut être dangereusement rassurante car la teneur des plantes en oligo-éléments est sous l'influence de nombreux facteurs.

**b) Les fourrages :**

Les fourrages constituent la ration de base des ruminants. Le plus souvent, il s'agit de foin. Une carence en cuivre à toujours pour origine un défaut de cuivre total du sol avec en plus, un facteur défavorable à son assimilabilité (Coïc et Coppenet, 1989).

L'analyse des fourrages, en effectuant un dosage du cuivre permet, de connaître la teneur en cet élément dans le fourrage et de confirmer la présence d'une carence chez l'animal.

**c) Le plasma :**

L'analyse du plasma permet de déterminer l'importance des carences dans un troupeau. Le cuivre plasmatique est un excellent critère de l'état nutritionnel des ruminants.

**d) Le poil ou la laine :**

Ces supports biologiques permettent de détecter une carence antérieure et importante et assez profonde pour modifier les teneurs.

**e) Autres prélèvements :**

Pour une ultime confirmation et dans certaines circonstances très précises, il est possible de faire appel au dosage de la céruloplasmine qui est un paramètre moins précis que le cuivre plasmatique total, mais non sujet de contamination, ou l'analyse du foie qui est le reflet des réserves de l'animal.

**Tableau 11** : teneurs en cuivre dans les fourrages et les tissus animaux (Lamand 1978a).

	<b>Limite de carence</b>	<b>Valeur habituelle</b>	<b>Limite de toxicité</b>
<b>Fourrages en mg/kg Ms (ou ppm)</b>	7	3-6	Ovins 15 Bovins 100
<b>Plasma µg/100ml</b>	70	80-120	-
<b>Céruleplasme (exprimée en cuivre) µg/100ml</b>	70	80-120	-
<b>Foie mg/kg Ms</b>	30	50-500	1000
<b>Poils µg/g</b>	7	8-15	-

### I-5- Traitement

Le traitement de la carence en cuivre est relativement simple, mais dans le cas où des lésions avancées sont déjà installées dans le système nerveux ou dans le myocarde, la guérison totale ne peut se produire. L'administration orale de sulfate de cuivre pour les bovins, et les ovins provoque une rapide disparition des symptômes. Mais les formes injectables restent préférables éliminant le facteur limitant de l'absorption intestinale.

## 2- Intoxication par le cuivre

Le cuivre est un élément essentiel pour les processus vitaux, intervenant comme cofacteur de nombreuses cuproenzymes mais il est extrêmement toxique en excès (*Horn et Tümer, 1999; Mercer, 2001*). L'intoxication aiguë ou chronique par le cuivre est observée dans un grand nombre de régions du monde. Les moutons sont les plus atteints bien que d'autres espèces soient également sensibles (*Susan et Aiello, 2002*).

### 2-1-Sources d'exposition :(*Bernier et al., 1997*)

Chez les moutons, une source importante d'intoxication est la consommation de végétaux contaminés :

- Arbres fruitiers (ex : vignes, pommiers) ou pâturages traités ou d'autres produits à utilisation phytosanitaire à base de cuivre (ex : Bouillie bordelaise).

Pâturages situés à proximité d'une industrie rejetant des déchets contenant du cuivre ou travaillant le cuivre.

- Fourrages contenant beaucoup de cuivre et très peu de molybdène.

- Fourrages et pâturages fertilisés avec du purin de porc ou de volaille.

- Consommation de plantes toxiques

- *Heliotropium europeum* : Plante hépatotoxique qui interfère avec le métabolisme du cuivre au niveau du foie.

- *Trifolium subteraneum* : Plante qui accumule préférentiellement le cuivre.

- Consommation de pâturages situés sous des câbles électriques à haut voltage

Une autre source non négligeable d'intoxication par le cuivre chez les moutons est l'empoisonnement thérapeutique (ex : erreur de dosage de médicaments pour contrôler les helminthoses et les infections de pododermatoses chez les ruminants; utilisation de l'EDTA injectable dans les régions où les moutons souffrent de déficience en cuivre.

### **2-2- Seuil de toxicité :**

Chez les moutons et les jeunes veaux l'intoxication aiguë peut faire suite à des apports de 20 à 100 mg de cuivre /Kg de poids corporel et de 200 à 800 mg de cuivre /Kg chez les bovins adultes. Des apports quotidiens de 3.5 mg de cuivre /Kg de poids corporel peuvent conduire à une intoxication chronique chez des moutons lorsqu'ils sont sur des pâturages qui contiennent 15 à 20 ppm (matière sèche) de cuivre et de faibles taux de molybdène (*Susan et Aiello, 2002*).

Le (tableau 12) nous indique qu'une diète contenant plus de 20 ppm de cuivre par ration est toxique pour les moutons et peut entraîner des complications liées à l'intoxication chronique par le cuivre.

**Tableau 12** : Teneurs en cuivre dans les différents prélèvements biologiques (exprimées en ppm/poids sec ou humide) et seuil de toxicité (Martin et Aitken (1991))

	Diète	Foie	Rein	Sérum	Muscle	Cerveau	Laine	Lait
<b>Déficienne</b>	0.5-0.3	0.5-4	3 - 4	1 - 1		1.4 -4.5	0.5 -2.5	
<b>Marginal</b>	3.0-4.5	5.0-20	4 - 5	4 - 1	0.9 - 1.2	3.5 - 7	2 - 4	0.04
<b>Adéquat</b>	5-10	25-100	4 -5.5	0.7 - 2	1 - 1.3	5 - 1.4	2.8 -10	0.2-1.5
<b>Elevé</b>	10-20	100-500	4 -10	1 - 5	1.1 - 1.6			
<b>Toxique</b>	20>	250-1000	18 -260	3.3 -20		17 - 18		
	ppm	Poids humide\ppm			Poids sec\ppm			

### 2-3- mécanisme d'action toxique

Les ovins sont les animaux domestiques les plus prédisposés à l'intoxication chronique par le cuivre (*John Martin, 1998 ; Lopez-Alonso et al., 2005*). Leurs besoins quotidiens sont de 10 ppm de cuivre, une ration de 15 à 20ppm devient toxique particulièrement chez les agneaux pour lesquels 27ppm est mortelle en dedans de 16 semaines (*Lachance et al., 1997*).

Il est à noter qu'un aliment ayant une teneur normale de cuivre (8 à 11ppm), tout en étant carencé en molybdène, est aussi problématique à cause de l'antagonisme de ces deux métaux. Normalement l'ion molybdate se lie au cuivre pour former un complexe molybdène-cuivre qui sera immédiatement excrété dans l'urine, prévenant ainsi l'accumulation de cuivre au niveau des mitochondries et des lysosomes des hépatocytes (*Lorgue, 1984*).

Comme le cuivre est une substance très difficile à éliminer, l'intoxication chronique par le cuivre, surtout chez les ovins par rapport aux autres ruminants est fréquente due au pouvoir du cuivre à s'accumuler au niveau du foie (*Pouliquen et Douart, 1998*)

Chez les ruminants en particulier les ovins le maintien de l'homéostasie via l'excrétion biliaire de Cu est beaucoup moins efficace et très limité que chez les monogastriques et la teneur en cuivre du foie augmente très rapidement avec l'apport alimentaire de Cu (*Bremner, 1987; Underwood et Suttle, 1999 ; Buckley, 2000*). Ainsi les ovins absorbent le cuivre du régime en fonction de la quantité de cuivre offerte et non en fonction des besoins du corps

(*John Martin, 1998*), alors les excès de cuivre circulant normalement éliminés, sont stockés dans le foie suite à la faible capacité d'excrétion de cet élément (*Day et al., 2006*).

La capacité d'accumulation du cuivre sous forme liée à la métallothionéine dans le foie est limitée chez les ovins (*Bremner et Beattie, 1995*). Leurs lysozymes sont incapables de stocker de grandes quantités de cuivre, et ils sont saturables (*Saylor et Leach, 1980*), les concentrations à l'intérieur du foie sont de 300ppm et peuvent atteindre même 1000 à 3000ppm. L'accumulation du cuivre dans le foie se fait suite à l'absorption régulière de petites quantités et celle-ci s'effectue surtout au niveau des mitochondries et des lysosomes des hépatocytes, entraînant, ainsi leur dégénérescence et enfin leur nécrose (*Pouliquen et Douart, 1998*).

L'intoxication chronique par le cuivre résulte donc de l'ingestion successive de doses non toxiques qui ont un effet cumulatif (*Lorgue, 1984*). En fait elle est biphasique : la première phase est asymptomatique et consiste en l'accumulation du cuivre au niveau du foie, tandis que la seconde phase se manifeste en crise hémolytique aiguë résultant d'une libération nécessaire du cuivre (*Pouliquen et Douart, 1998*). Cette libération du toxique dans le sang pourra se faire suite à un facteur de stress, ce stress peut être le climat, une mauvaise nutrition, le transport ou la manipulation (*John Martin, 1998*).

D'après *Clake (1975)* cité par *Bernier et al. (1997)* l'intoxication au cuivre suivrait trois stades :

Premier stade : L'accumulation du cuivre dans les hépatocytes se déroule sur une longue période (jusqu'à 2-3 mois) sans aucune manifestation évidente de signe clinique. Il peut cependant y avoir une légère baisse de la fermentation ruminale.

Deuxième stade : Ce stade durerait approximativement 14 à 25 jours et est caractérisé par une augmentation du cuivre sérique et un désordre hépatique avec des symptômes d'anorexie, de dépression et de diarrhée. Les manifestations hépatiques qui surviennent lors du deuxième stade sont directement reliées à l'accumulation progressive du cuivre dans les organelles des hépatocytes, ce qui cause des dommages, de la dégradation et finalement de la nécrose cellulaire.

Troisième stade : Crise hémolytique qui dure 2 à 5 jours et est caractérisée par une augmentation rapide de la concentration du cuivre sérique, ictère, hémoglobinémie, hémoglobinurie, splénomégalie et la mort. Cette crise hémolytique est due à l'action oxydante du cuivre sérique sur les membranes des érythrocytes (le cuivre est générateur de radicaux libres) ce qui fragilise les globules rouges et cause de l'hémolyse extravasculaire d'où la

splénomégalie (anémie, anorexie, hémoglobinémie). Egalement le cuivre oxyde l'hémoglobine, en la transformant en méthémoglobine molécule qui est incapable de transporter l'oxygène (hypoxie).

### **2-4- Symptômes**

Dans l'intoxication chronique des ovins, le cuivre est stocké et accumulé dans le foie de l'animal, mais dès que les capacités de stockage de cet organe sont dépassées, les premiers signes cliniques d'intoxication apparaissent (*Baruthio, 1991*). Aussi les signes cliniques peuvent se présenter lorsqu'il y a libération du cuivre en grande quantité sous l'influence d'un facteur déclenchant (stress, transport, changement de temps...) (*Brugère-Picoux, 2004*).

Une fois le cuivre est libéré il y a apparition des symptômes. Les animaux sont alors indolent, anorexiques et somnolents, leur température est augmentée et leurs urines sont rouges à cause de la forte destruction des hématies, ce qui conduit à une anémie fortement génératrice (*Lorgue, 1984*). Mais les symptômes les plus constants et les plus spécifiques de l'intoxication cuprique sont ictère hémolytique (coloration jaune des muqueuses de l'œil, de la bouche et la peau) et l'émission d'urines foncées.

### **2-5- Diagnostic**

Le diagnostic de l'intoxication repose sur les signes cliniques (crise hémolytique), les lésions (nécrose hépatique) et la recherche au laboratoire qui est très significative en raison de l'augmentation de la concentration du cuivre sérique, accompagnée d'une augmentation de la concentration sérique des enzymes hépatiques, qui sont des indices qui permettent de détecter l'intoxication au cuivre avant que la crise hémolytique soit installée.

L'intoxication chronique par le cuivre peut être confondue avec des maladies infectieuses tels que la leptospirose, piroplasmose avec des intoxications par des plantes toxiques (navet, érable rouge...) ou encore des substances chimiques (phénothiazine).

### **2-6- Traitement**

L'animal est désintoxiqué à l'aide d'un chélateur, c'est-à-dire une substance qui forme un complexe soluble avec l'atome de cuivre qui est ensuite excrété dans les selles ou les urines. La littérature propose trois produits chélateurs capables d'inactiver le cuivre et d'en faciliter son excrétion : Les sulfates, la pénicillamine et le molybdène. Le dernier semble être le plus utilisé

pour désintoxiquer les petits ruminants, alors que la pénicillamine est utilisé chez les animaux de compagnies (*Bernier et al., 1997*).

Quatre alternatives à base d'ammonium de molybdate sont proposées par Plum (1995) cité par *Bernier et al. (1997)* pour traiter les moutons intoxiqués :

- 1) 100 mg d'ammonium de molybdate avec 1 g de sodium de sulfate per os/jour
- 2) 50-500 mg d'ammonium (ou sodium) de molybdate avec 0.3-1 mg de thiosulfate/jour pour trois semaines.
- 3) 100 mg d'ammonium de molybdate/tête/jour et 1g de sodium de sulfate/tête/jour pendant 30 jours.
- 4) 200 mg d'ammonium (ou sodium) de molybdate avec 500 mg de sodium de thiosulfate/jour per os durant trois semaines.

# Partie expérimentale

## CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

### Introduction

Le cuivre est un oligo-élément normalement présent dans la majorité des tissus et liquides biologiques de l'organisme. Toute fois, cet élément se distingue par un métabolisme très fragile que ce soit dans l'organisme végétal ou animal. Le statut cuprique des ovins dépend de plusieurs paramètres parmi lesquels on peut citer : le sol, le végétal, et le stade physiologique de l'animal. Pour pouvoir mettre en évidence ces influences on a mis en place le protocole expérimental suivant :

#### \* Pour le sol

On a choisi deux zones représentatives de la région de Batna, la première "Arris" qui est une zone montagneuse à relief très accidenté et sol plus au moins dégradé ce qui le rend peu propice au développement des végétaux. La seconde est une plaine "Ouyoun El Assafer" dont le sol est au contraire plus fertile par rapport au premier.

#### \*Pour le végétal

Le couvert végétal de la zone d'Arris est peut abondant et constitué principalement par des plantes forestières. Quand à la zone de "Ouyoun El Assafer" les terrains contiennent des végétations herbacées plus ou moins abondantes.

#### \*Pour l'animal

Le choix est porté sur des ovins de race "Ouled Djellal" (qui est la race dominante) dont la ration est composée d'aliments provenant exclusivement des zones cibles.

Pour pouvoir atteindre notre objectif, on a mis en place les investigations suivantes effectuées sur :

#### 1-Le sol :

- Extraction du cuivre et du zinc totaux.

#### 2-Les aliments :

- Extraction du cuivre et du zinc.

#### 3- L'animal :

- Evaluation de quelques paramètres hématologiques en relation avec le statut cuprique (globules rouges (GR), l'hémoglobine (Hb), l'hématocrite (Ht), volume globulaire moyen (VGM) et concentration globulaire moyenne en hémoglobine (CCMH).
- Dosage du cuivre dans le plasma sanguin.
- Extraction du cuivre et du zinc de la laine.

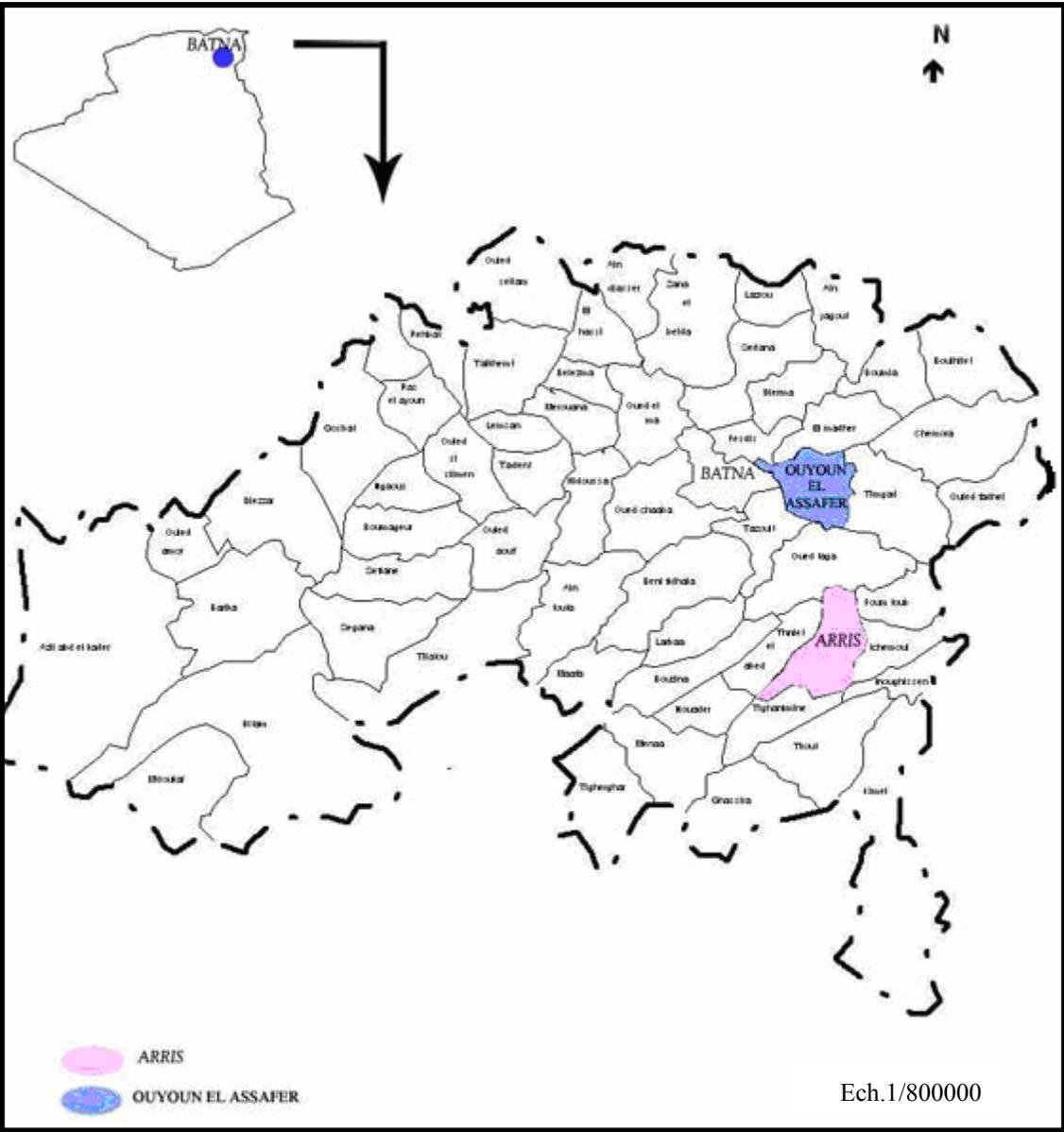


Figure 06 : Situation de la région d'étude (Découpage administratif de 1985 de la wilaya de Batna)

## 1 Présentation de la région d'étude

### 1-1 Localisation

L'étude a été réalisée dans la région de "Batna". Deux zones ont été choisies, la première est une zone montagneuse située au Sud Est de la wilaya de Batna "Arris " et la seconde est une plaine " Ouyoun El Assafer " qui se trouve à l'Est de la même wilaya. Ces deux zones distinctes ont été choisies dans le but de voir si la différence du relief du sol et du couvert végétal fait la différence des teneurs en cuivre.

#### 1-1-1 Localisation régionale :

L'étude a été réalisée dans la région de Batna qui est située dans le massif des Aouess qui est le prolongement vers l'Est du grand ensemble de la chaîne montagneuse de l'Atlas Saharien entre 4° et 7° longitude Est, et entre 35° et 36° latitude nord. Elle couvre une superficie totale de 1.203.876 ha (*Direction des Services Agricoles Batna, 2006*), et limitée au nord par la wilaya de Setif, Mila et Oum-Bouaghi, à l'Est par les wilayas de Kenchela et de Tébessa, à l'ouest par la wilaya de M'sila. Et au sud par la wilaya de Biskra.

#### 1-1-2 Localisation locale :

Dans la région de "Batna" les terrains et les animaux sont localisés dans deux zones, la première montagneuse "Arris" à 60 Km sud Est du chef lieu de la wilaya de "Batna" et la deuxième c'est une plaine " Ouyoun El Assafer " à 10 Km Est de la wilaya de Batna (figure 06).

## 1-2 Caractéristiques climatiques

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

#### 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. Le tableau 13 montre une grande variabilité des températures mensuelles moyennes

durant l'année d'étude "2005". La température moyenne minimale est enregistrée au mois de Janvier avec 4 °C et la maximale au mois de Juillet avec 27.85 °C.

**Tableau 13** : Répartition mensuelle des températures moyennes durant l'année 2005

Mois	T Min (°C)	T Max (°C)	T Moy (°C)
<b>Janvier</b>	-2.4	10.4	4
<b>Février</b>	-0.7	9.5	4.4
<b>Mars</b>	3.8	17.8	10.8
<b>Avril</b>	5.8	20.4	13.1
<b>Mai</b>	8.4	21.6	15
<b>Juin</b>	15	32.6	23.8
<b>Juillet</b>	18.1	37.6	27.85
<b>Août</b>	17	34.3	25.65
<b>Septembre</b>	13.8	29.1	21.45
<b>Octobre</b>	9.3	24.9	17.1
<b>Novembre</b>	3.8	17.9	10.85
<b>Décembre</b>	1.6	11	6.3

(Station météorologique de l'Aérodrome de Batna, 2006)

### 1-2-2 Pluviométrie :

La pluviométrie constitue un élément très important dans l'analyse du climat (Etienne et Godard, 1970). La Wilaya de Batna reçoit un faible niveau de pluviométrie qui se caractérise par son irrégularité, sur les dix dernières années en moyenne elle a été de 363.77 mm par an (Tableau 14), la complexité du relief de la wilaya lui confère une grande variabilité particulièrement dans la distribution des précipitations. La quantité de pluie reçue durant l'année de l'étude "2005" est de 346.4 mm (Tableau 15) elle est proche à la moyenne annuelle de 10 ans (363.77 mm, 1995-2004).

**Tableau 14** : Répartition mensuelle moyenne des précipitations (en mm) 1995-2004

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	$\Sigma$
<b>Précipitations (mm)</b>	37.45	20.89	29.42	37.33	51.58	20.37	6.15	17.67	46.19	24.6	35.05	39.8	363.77

(Station météorologique de l'Aérodrome de Batna, 2006)

**Tableau 15** : Répartition mensuelle des précipitations (mm) en 2005

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	$\Sigma$
<b>Précipitations (mm)</b>	16.4	43.4	20.0	37.2	98.0	14.1	4.5	29.6	17.7	17.1	20.8	27.6	346.4

(Station météorologique de l'Aérodrome de Batna, 2006)

### 1-2-3 Les vents :

Les vents dominants sur la région sont ceux du Sud Ouest mais les vents chargés de pluies viennent du Nord Ouest et soufflent pendant l'automne, l'hiver et une partie du printemps.

En été le Sirocco, qui est un vent sec et chaud, dont l'agressivité est accentuée par les dispositifs topographiques (les vallées des Aurès), provoque une chute brutale de l'humidité et une augmentation notable de la température. Il souffle pendant 15 à 21 jours par an (*Seltzer cité par Cote, 1979*), exerçant ainsi une action desséchante pouvant endommager les cultures.

### 1-2-4 La Gelée :

La gelée c'est l'abaissement de la température au dessous de 0 °C à la suite duquel l'eau se prend en glace. En hiver c'est surtout le passage des masses d'air froid qui provoquent les gelées : on parle de gelées noires. Au printemps et en automne, les gelées dites de

"rayonnement" ou gelées blanches, résultent surtout des pertes de chaleurs par rayonnement et parfois par évaporation. La région de Batna a une tendance gélive.

### **1-3 Agriculture et élevage**

L'agriculture et l'élevage constituent les deux principales préoccupations de la wilaya.

#### **1-3-1 Agriculture**

La surface agricole totale (SAT) dans la wilaya de Batna est de 744.026 hectare, soit 61.8% de la superficie totale. Cependant la superficie agricole utile (SAU) représente 36.16% seulement de la surface agricole totale avec une superficie de 435.407 hectare (*Direction des Services Agricoles Batna, 2006*).

#### **1-3-2 Production animale**

Durant la dernière décennie l'élevage dans la wilaya de Batna est caractérisé par une diversité des espèces animales avec une prédominance aviaire et ovine en expansion progressive, et une évolution négative des gros ruminants. Ainsi, les ressources animales de la wilaya sont représentées par les bovins (34 000 têtes dont 16 000 vaches laitières), ovins 350000 têtes dont 160 000 brebis en plus de l'apiculture (35 000 ruches)... (*Direction des Services Agricoles Batna, 2006*).

### **1-4 Aperçu géologique**

La région de Batna présente six ensembles géologiques à faciès lithologiques riches en calcaire. Du point de vue pédologique l'influence de la lithologie de la région qui est dominée essentiellement par le calcaire, le gré et les marnes, se traduit surtout par des sols très calcarifères présentant une multitude de formes d'accumulation et d'individualisation du calcaire (*Laffite, 1939*).

## **2-Matériel**

### **2-1 Matériel animal**

L'étude effectuée pour réaliser ce travail s'est étalée sur une période d'une année (de janvier à décembre 2005) et a intéressée des agneaux et des brebis de race local "Ouled Djellal" provenant des élevages appartenant à deux zones distinctes dans la wilaya de Batna. La première se trouve à Arris "A" et la seconde à Ouyoun El Assafer "B". Les animaux choisis

sont exclusivement nourris par des aliments à provenance locale et ne subissent aucun mouvement de transhumance.

Les échantillons pour analyse ont été prélevés chaque saison (dans chacune des deux zones) sur 12 agneaux âgés de 3 à 6 mois et 8 brebis de 2 à 3 ans d'âge. Les prises de sang sont effectuées à la veine jugulaire dans des tubes Vacutainer à héparinate de lithium. Quand aux prélèvements de laine ils ont été effectués à l'encolure comme le recommande Mehennaoui (1985) après, les échantillons sont placés dans des sachets en plastique.

Pour les agneaux de chaque zone trois classes d'âge ont été établies. La première comprend les agneaux dont l'âge est entre 2 à 3 mois, la seconde les agneaux entre 3 et 4 mois et la troisième ceux entre 4 et 6 mois. Pour les brebis dans chacune des deux zones deux groupes ont été établis, le premier comprend des brebis en premier stade de gestation et le deuxième ceux en fin de gestation.

## **2-2 Matériel végétal**

Dans le but d'évaluer les apports en cuivre et en zinc au niveau des zones A et B, une enquête a été menée auprès des bergers afin de déterminer les parcours les plus souvent utilisés ; et aussi pour prélever et identifier chaque saison durant l'année 2005 les espèces fourragères consommées par les ovins dans les deux zones. Ces plantes représentent la majeure partie de l'alimentation des animaux des deux sites (tableau16). L'alimentation complémentaire servie dans les bergeries est composée de paille de foin d'avoine et d'orge produits localement (tableau 17). Pour les prélèvements des plantes on a établi des blocs à superficie égale selon une diagonale dans les parcours de chacun des deux sites. Les espèces fourragères ont été prélevées aux quatre angles et au centre de chaque bloc selon la méthode décrite par Maach (2000), ensuite les prélèvements sont mélangés pour obtenir un échantillon représentatif de chaque espèce. Ainsi 500 g de fourrage par espèce ont été prélevés dans des sacs en plastique (non ouvert au préalable) pour analyse, aussi un échantillon représentatif d'environ 100 g de chacun des autres aliments servis dans les bergeries ont été prélevés.

**Tableau 16 :** Identification des espèces fourragères prélevées dans les parcours des zones A et B en vue de l'évaluation des apports en cuivre et en zinc

	<b>Zone A</b>	<b>Zone B</b>
<b>Famille</b>	<b>Espèce</b>	
<b>Graminées</b>	Agropyrum repens	Agropyrum repens
		Hordeum murinum
<b>Crucifères</b>		Raphanus raphanistrum
<b>Asteroceae</b>		Chrysanthemum cornarium
	Sonchus oleraceus	Sonchus oleraceus
	Taraxacum officinale	Taraxacum officinale
<b>Malvacées</b>		Malva silvestris
<b>Papavéracées</b>		Papaver rhoeas
<b>Cupressacées</b>	Juniperus oxycedrus	
	Juniperus communis	
<b>Composées</b>	Artemisia herba alba	
<b>Labiacées</b>	Thymus vulgaris	

**Tableau 17 :** Les aliments servis dans les bergeries

<b>Zone A</b>	<b>Zone B</b>
Paille	Paille
Foin d'avoine	Foin d'avoine
Orge	Orge

## 2-3 Le sol

Pour évaluer les teneurs en cuivre et en zinc des prélèvements de sol de l'horizon de surface (0-30 cm) ont été effectués à l'aide d'une tarière dans les deux sites A et B, comme pour les prélèvements des fourrages, des blocs ont été établis, selon une diagonale dans les parcours des deux zones, le sol est prélevé aux quatre angles et au centre de chaque bloc, ensuite on a fait un mélange pour obtenir un échantillon représentatif. Ainsi environ 500 g de sol par parcours ont été prélevés et placés dans des sacs en plastiques pour analyse.

## 3-Méthodes d'analyse

### 3-1 Analyses réalisées sur l'animal

#### 3-1-1 Analyse du sang

##### a) Paramètres hématologiques :

Les paramètres hématologiques ci-dessous mentionnés ont été évalués dans le but d'apprécier l'état anémique ou normal des ovins qui ont servi pour l'étude à l'aide d'un compteur coulter (Hycel Diagnostics) au secteur sanitaire d'Arris : globules rouges (GR), l'hémoglobine (Hb), l'hématocrite (Ht), volume globulaire moyen (VGM) et la concentration globulaire moyenne en hémoglobine (CGMH).

##### b) Dosage du cuivre dans le plasma sanguin :

Le dosage du cuivre dans le plasma sanguin a été réalisé par spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'un brûleur à flamme (Shimadzu AA 6800) au laboratoire de biochimie du CHU de Batna. Le mode opératoire adopté, est celui préconisé par *Lamand (1978a)* :

Le cuivre est dosé 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 :*

Préparer les étalons 0.5, 1, 2, et 5 mg /l à partir d'une solution mère à 1000 ppm (1 g / l) prélever pour le cuivre 1 ml de chaque étalon et le traiter comme les plasmas sans attendre 10 minutes.

### **3-1-2 Analyse de la laine (extraction du cuivre et du zinc de la laine)**

L'analyse de la laine a été réalisée au laboratoire d'Environnement, Santé et Production Animale (E.S.P.A) de l'Université El Hadj Lakhder Batna.

#### **a) Prélèvement de la laine :**

Environ, 20 g de laine sont prélevés au niveau de l'encolure puis placés dans un sac en plastique et numérotés.

#### **b) 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 toute autre souillure collés 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.

#### **c) 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 (de marque Heraeus) à température réglable. On laisse les échantillons à l'intérieur pendant 1 heure à 100°C, 1 heure à 200°C,

1heure 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' $\text{HNO}_3$  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. Le dosage a été réalisé par spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'un brûleur à flamme (Shimadzu AA 6800).

#### **d) préparation des solutions étalons :**

Les solutions mères sont à 1000 ppm (1 g/l). Dans 1 litre d'eau déminéralisée ont 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 ( $\text{ZnCl}_2$ ).

Une petite quantité d'acide nitrique 5 normale ( $\text{HNO}_3$ -5 N) 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, 0.2, 0.5 mg/l.
- Pour le zinc : 0.1, 0.5, 1 mg/l.

Les courbes d'étalonnages du cuivre et du zinc sont représentées dans les figures (07) et (08) et la zone de linéarité pour le zinc est comprise entre 0.1 et 1 mg/l pour le cuivre elle se situe entre 0.1 et 0.5 mg/l.

### **3-2 Analyse de l'aliment**

L'analyse de l'aliment a été réalisée au laboratoire d'Environnement, Santé et Production Animale (E.S.P.A) de l'Université El Hadj Lakhder Batna.

#### **3-2-1 Préparation des échantillons (Shen, 2005) :**

Après récolte, les plantes ont été séchées à 60-80°C pendant 48 heures dans une étuve ventilée (marque Memmert), dans le but de les préparer à une bonne conservation et faciliter leur broyage. Les différents aliments ont été broyés finement dans un micro broyeur (marque K.Janke et Kunkle "IKA-Labortechnik) à travers une grille de 1 mm de diamètre puis ils ont été conservés dans des pots étiquetés et clos jusqu'au jour de leur analyse.

### **3-2-2 Extraction du cuivre et du zinc (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. Elle est basée sur les propriétés oxydantes des acides : nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) et perchlorique ( $\text{HClO}_4$ ) :

- 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 fumés rouge orange de  $\text{NO}_2$ .

- 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).

### **3-2-3 Préparation des solutions étalons :**

Les mêmes étapes suivies dans la préparation des solutions pour l'analyse de la laine avec les :

- Etalons cuivre : 0.1, 0.2, 0.5 mg /l.

- Étalons zinc : 0.1, 0.5, 1 mg /l.

La zone de linéarité pour le cuivre est comprise entre 0.1 et 0.5 mg/l pour le zinc elle se situe entre 0.1 et 1 mg/l. Les courbes d'étalonnages du cuivre et du zinc sont représentées dans les figures (07) et (08).

## **3-3 Analyse du sol**

L'analyse du sol a été réalisée au laboratoire d'Environnement, Santé et Production Animale (E.S.P.A) de l'Université El Hadj Lakhder Batna.

### **3-3-1 Préparation des échantillons (Afri-Mehennaoui et Mehennaoui, 2004) :**

Les échantillons prélevés sont séchés dans une étuve à une température de 80°C pendant 48 heures. Après refroidissement les échantillons sont broyés dans un mortier en porcelaine afin de les réduire en particules fines, puis tamisés avec un tamis à mailles de 60µm.

### **3-3-2 Quantification de la matière organique (Rodier 1984) :**

La teneur de la matière organique du sol est évaluée par la "perte au feu " d'un poids de 1g de sol sec par pesée différentielle après calcination à 550° C dans un four à moufle (marque Heraeus) par montée progressive de la température. La matière organique, joue un rôle prépondérant dans le cycle des polluants, avec des affinités spécifiques pour les métaux. Elle est exprimée en pourcentage de matière organique.

### **3-3-3 Le pH (Baize, 2000) :**

Le pH est mesuré par électrométrie en utilisant un pH-mètre à électrodes en verre (marque Messgerät Phywe). Le sol est mis en suspension dans l'eau distillée (pH eau) avec un rapport pondéral terre fine / eau =1 / 2.5. On mesure la concentration en ions H<sup>+</sup> du liquide surnageant dans un bécher, après agitation de l'échantillon de sol dans l'eau distillée.

### **3-3-4 Extraction du cuivre et du zinc totaux (eau régale) (FAO, 1975) :**

Mettre 1 g de l'échantillon préalablement séché (16 heures à 105 °C) et broyé dans un erlenmeyer rodé de 250ml. Ajouter 5ml d'eau régale (eau régale : mélange d'acide nitrique et d'acide chlorhydrique purs dans des proportions 1 : 3 v/v). Fixer sous réfrigérant et chauffer jusqu'à ébullition. Maintenir l'ébullition durant 15 minutes. Après refroidissement et rinçage du réfrigérant par quelques ml d'eau déminéralisée, filtrer le contenu de l'erlenmeyer sur filtre en papier dans une fiole jaugée de 50 ml. Rincer plusieurs fois le résidu insoluble retenu sur le filtre par quelques ml d'eau déminéralisée, amener à volume. Ainsi les échantillons sont prêts pour le dosage. Le dosage a été réalisé par spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'un brûleur à flamme (Shimadzu AA 6800).

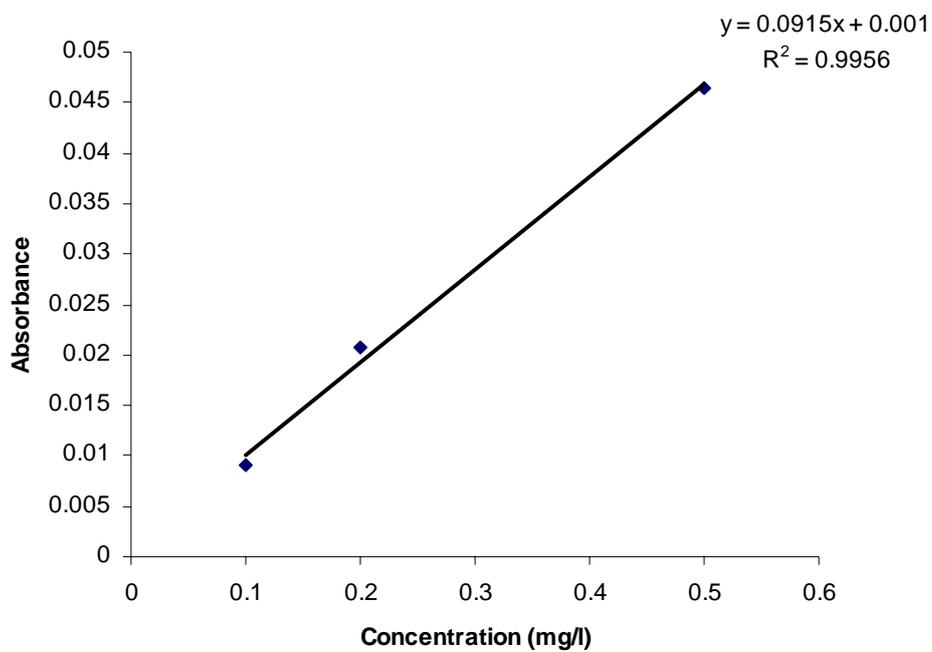
Les concentrations choisies pour les solutions étalons sont :

- Pour le cuivre : 0.1, 0.2, 0.5 mg/l.
- Pour le zinc : 0.1, 0.5, 1 mg/l

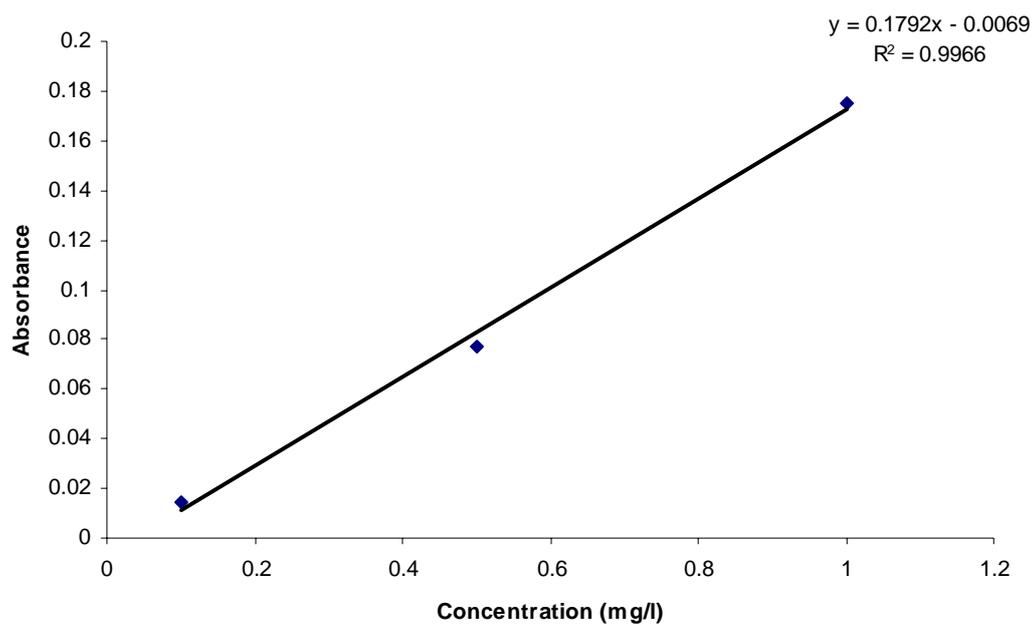
Les courbes d'étalonnages du cuivre et du zinc sont représentées dans les figures (07) et (08) et la zone de linéarité pour le zinc est comprise entre 0.1 et 1 mg/l pour le cuivre elle se situe entre 0.1 et 0.5 mg/l.

## **3-4 Analyse statistique**

Les résultats obtenus ont été soumis à une analyse statistique par le test de Student (test t) réalisée sur le logiciel STATITCF. Le logiciel EXCEL a été utilisé en vue du calcul de la moyenne et de l'écart-type pour l'établissement des graphes.



**Figure 07** : Droite d'étalonnage du cuivre



**Figure 08** : Droite d'étalonnage du zinc

## CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION

### 1 Le sol

La composition chimique ou minérale des sols dépend d'une part de la nature de la roche mère et d'autre part de la nature des processus d'altération qu'elle a suivie. Dans certains cas, les déficiences en éléments nutritifs chez les végétaux ou animaux peuvent être imputées directement aux teneurs très faibles en ces éléments dans les matériaux originels de ces sols.

Les teneurs totales des constituants minéraux des sols ont une importance plutôt géochimique que nutritionnelle parce que le passage des formes non assimilables aux formes assimilables dépend de plusieurs facteurs du milieu : pH, Matière organique....

#### 1-1 Le taux de matière organique (MO) des sols des deux zones A et B

Le tableau 18 représente le taux de matière organique déterminé dans les sols des deux zones A et B en fonction de la saison. Les valeurs obtenues dans la zone A sont comprises entre 1.66 et 1.92 % et celles de la zone B entre 2 et 2.45 %. A partir des résultats obtenus on note que le taux de matière organique de la zone B est compris dans l'intervalle rapporté par *Eliard (1979)* de l'ordre de 2 à 5 % tandis que celui de la zone A est légèrement bas. Cependant par comparaison entre les deux zones on trouve que le taux de la matière organique est un peu élevé dans la zone B. Le fait que les valeurs de la zone B sont supérieures à celles de la zone A pourrait être rapporté à la dégradation subie par les sols de la zone montagneuse "A". En effet il est aisé de constater sur ses terrains que les surfaces ont une morphologie superficielle de ruissellement et de ravinement et ceci est l'empreinte de "l'érosion hydrique". En effet l'érosion hydrique n'intervient que sur les pentes et qui enlève au sol la terre fine contenant l'humus et les éléments nutritifs (*Office fédérale de l'environnement, des forêts et du paysage, 1996*).

**Tableau 18** : Variations saisonnières du taux de la matière organique (%)

Paramètre	Saison	Hiver	Printemps	Eté	Automne
	Zone				
MO (%)	A	1.92	1.66	1.68	1.90
	B	2.45	2.30	2.00	2.35

## 1-2 Le pH

Le pH a été mesuré dans les sols des deux zones A et B chaque saison et les résultats sont mentionnés dans le tableau 19. On remarque qu'il a un caractère basique, il est légèrement élevé dans la zone A par rapport à la zone B, et pour les deux sites, il est plus important en hiver avec 8.45 et 8.25 respectivement dans les zones A et B. Dans l'espace le pH varie avec la nature de la roche mère : les deux zones se situent dans une région à sols calcaires (*Laffite, 1939*) et selon *Eliard (1979)* les sols calcaires sont basiques et c'est ce qui explique la basicité du pH des sols des deux sites. Le pH varie avec la saison : le pH d'un même horizon a tendance à baisser en été et à augmenter en hiver. Ces fluctuations s'expliquent en hiver par la dilution des ions  $H^+$  dans la solution du sol sous l'effet des pluies, en été par production d'acides organiques due à l'activité biologique maximale à cette époque (*Baize, 2000*). Ces données expliquent les valeurs maximales du pH des sols des deux zones en hiver.

**Tableau 19** : Variations saisonnières du pH

Paramètre	Saison	Hiver	Printemps	Eté	Automne
	Zone				
pH	A	8.45	8.30	8.25	8.22
	B	8.25	8.17	8.00	8.25

## 1-3 La concentration totale en cuivre et en zinc (ppm) dans les deux zones A et B

### 1-3-1 Teneurs en cuivre :

Dans le tableau 20 sont mentionnées les teneurs totales saisonnières en cuivre des sols des deux zones A et B. Les valeurs obtenues dans la zone A sont entre 16.85 et 17.35 ppm et celles de la zone B entre 20.17 et 21.50 ppm qui sont légèrement supérieures à celles de la zone A. Les teneurs en cuivre des sols des deux zones sont proches de la valeur moyenne rapportée par *Xie et Lu, (2000) cité par He et al. (2005)* de l'ordre de 20 ppm. Par comparaison aux teneurs totales citées par *Perigaud (1971)* qui varient entre 10 et 100 ppm, nos résultats sont compris dans cet intervalle. Cependant nos résultats sont inférieurs à la valeur fixée par l'organisation mondiale de la santé : 30 mg/ kg (*Tembo et al., 2006*). Ceci pourrait être dû à l'absence de minéraux riches en cet élément tel que les pyroxènes et les amphiboles (*Perigaud, 1971*). Comme la lithologie de la région de "Batna" où se situent les deux zones ciblées par l'étude est dominée par le calcaire le gré et les marnes (*Laffite, 1939*), les teneurs trouvées peuvent se justifier par le fait que les argiles de certaines marnes sont riches en cuivre

(Perigaud, 1971). Le fait que les teneurs en cuivre dans les sols de la zone B sont supérieures à celles de la zone A pourrait être lié à l'élévation du taux de la matière organique dans la zone B par rapport à celui de la zone A. En effet le cuivre s'accumule dans les horizons supérieurs humifères (Aubert et Pinta, 1971), et il est retenu très énergiquement par la matière organique du sol (Coïc et Tendille, 1971).

**Tableau 20** : Variations saisonnières en cuivre total (ppm)

<b>Saison</b> \ <b>Zone</b>	<b>Zone A</b>	<b>Zone B</b>
Hiver	16.85	21.50
Printemps	17.35	20.87
Eté	17.23	21.52
Automne	17.00	20.17
Moyenne $\pm$ écart-type	17.11 $\pm$ 0.22	21.01 $\pm$ 0.36

### 1-3-2 Teneurs en zinc :

Les teneurs saisonnières totales en zinc des sols de la zone A sont comprises entre 76.34 et 77.25 ppm, celles de la zone B entre 98.67 et 99.86 ppm (Tableau 21). Par comparaison des valeurs obtenues dans les deux zones on trouve que celles de la zone B sont plus élevées que celles de la zone A. On peut dire que les résultats obtenus dans les deux zones sont supérieurs à la valeur moyenne de 64 ppm rapportée par Kabata Pendias (1992) cité par Ablain (2002). Cependant ils restent dans la fourchette des valeurs trouvées dans la littérature (10-300 ppm) (Lamand, 1978a ; Alloway, 1990 cité par Wild, 1996). Ceci pourrait être lié à la présence de minéraux riches en zinc, tels que les amphiboles et les feldspaths, aussi les teneurs obtenues peuvent se justifier par le fait qu'il y a une absorption accrue du zinc par les argiles de certaines marnes (Dartigue et Labet, 1967 cité par Loué, 1993). Le zinc total s'accumule dans les horizons supérieurs des sols, les teneurs augmentent avec la matière organique (Aubert et Pinta, 1971). C'est ce qui explique d'ailleurs l'élévation des teneurs en zinc dans les sols de la zone B qui ont un taux un peu plus élevé en matière organique par rapport à ceux de la zone A.

Tableau 21 : Variations saisonnières en zinc total (ppm)

<b>Zone</b> <b>Saison</b>	<b>Zone A</b>	<b>Zone B</b>
Hiver	77.25	98.70
Printemps	76.34	98.82
Eté	76.52	98.67
Automne	76.77	99.86
Moyenne ± écart-type	76.72 ± 0.39	99.01 ± 0.57

**Au bilan :** il ressort que les teneurs totales en cuivre et en zinc obtenues dans les deux zones sont globalement dans la fourchette des valeurs rapportées dans les différentes sources bibliographiques. La comparaison des valeurs du cuivre et du zinc des deux zones ciblées montre que les teneurs sont un peu plus élevées dans la plaine "B" que dans la zone montagneuse "A". Ceci pourrait être lié aux matériaux originels des sols c'est-à-dire au fond géochimique. En effet il est bien connu que les teneurs naturelles en éléments en traces dans l'environnement varient d'une région à l'autre en fonction des fonds géochimiques (*Caussy et al., 2003*). Il pourrait s'agir aussi de la dégradation que subi les sols dans la région montagneuse A et qui entraîne des pertes en éléments nutritifs et en humus. C'est ce qui explique d'ailleurs le faible taux en matière organique dans cette zone. En effet la distribution du cuivre et du zinc est sous la dépendance de certains facteurs tels que "la matière organique" qui constitue une source d'approvisionnement en oligo-éléments pour le sol.

Enfin, on peut dire que la teneur d'un échantillon de sol en tel oligo-élément total ne présente pas la fraction bio disponible pour la plante. En effet quelle que soit la plante, elle ne peut absorber qu'une fraction de ce total, la plus grande partie restant sous forme inassimilable.

## 2 Les aliments :

La détermination des teneurs minérales des plantes est importante car elle peut révéler des insuffisances en oligo-éléments chez l'animal (*Grace et Clark, 1991*). Les plantes prélèvent les oligo-éléments disponibles dans la solution du sol (*Bourrelier et Berthelin, 1998*). Les quantités des oligo-éléments disponibles dans les sols pour l'assimilation par les végétaux, restent très variables d'un sol à l'autre et d'une période à l'autre en fonction des propriétés physico-chimiques et biologiques de ces sols. En effet la fraction assimilable d'un oligo-élément 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 trace est de déterminer la composition du végétal qui pousse effectivement sur le sol étudié (Baize, 2000).

### 2-1 Teneurs en cuivre des aliments des deux zones A et B :

Les variations saisonnières des teneurs en cuivre (exprimées en mg/kg Ms [Ms : matière sèche] ou ppm Ms) des principaux aliments (les plantes fourragères en plus des aliments servis dans les bergeries) consommés par les ovins des deux zones A et B sont consignées dans le tableau (22).

Les valeurs obtenues dans la zone A sont entre 6.6 et 7.05 ppm Ms et celles de la zone B entre 9.58 et 10.70 ppm Ms. Ces résultats restent au dessous des valeurs bibliographiques rapportées par Blood et Henderson, 1976 (11 mg/Kg Ms), alors qu'elles sont proches de celles d'Eden (1944) cité par Jamieson et Allcroft, (1950) qui sont de (7 - 24 mg/Kg Ms). La teneur moyenne en cuivre la plus élevée de la zone A est celle obtenue en automne avec  $7.05 \pm 2.40$  ppm Ms puis celle du printemps de  $6.84 \pm 2.96$  ppm Ms, dans la zones B les teneurs moyennes les plus élevées sont celles du printemps puis celles de l'automne avec les valeurs respectives :  $10.70 \pm 4.07$  et  $10.49 \pm 3.89$  ppm Ms. Cependant la comparaison entre les deux zones montre que les teneurs en cuivre des aliments de la zone B sont supérieures à celles de la zone A et cela pour toutes les saisons (figure 09). Ces différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) en automne, et hautement significatives ( $p < 0.01$ ) en hiver, printemps et été. La teneur moyenne entre les quatre saisons en cuivre des aliments de la zone "montagneuse A" a été de  $6.78 \pm 2.16$  mg/Kg Ms. On note que cette valeur reste au dessous de la limite de carence qui est égale à 7ppm chez tous les ruminants (Lamand, Perigaud, Bellanger, 1973), mais en revanche elle est proche de la valeur moyenne des teneurs en cuivre déterminées chez les plantes natives d'une région montagneuse en Norvège ([6 mg/Kg Ms] Gurzau, Neagu, Gurzau, 2003). Pour la zone B la teneur moyenne en cuivre entre les quatre saisons est de  $10.11 \pm 3.50$  mg/Kg Ms elle est à peu près égale à la valeur des apports recommandés pour l'animal 10 ppm Ms (Jarrige, 1988).

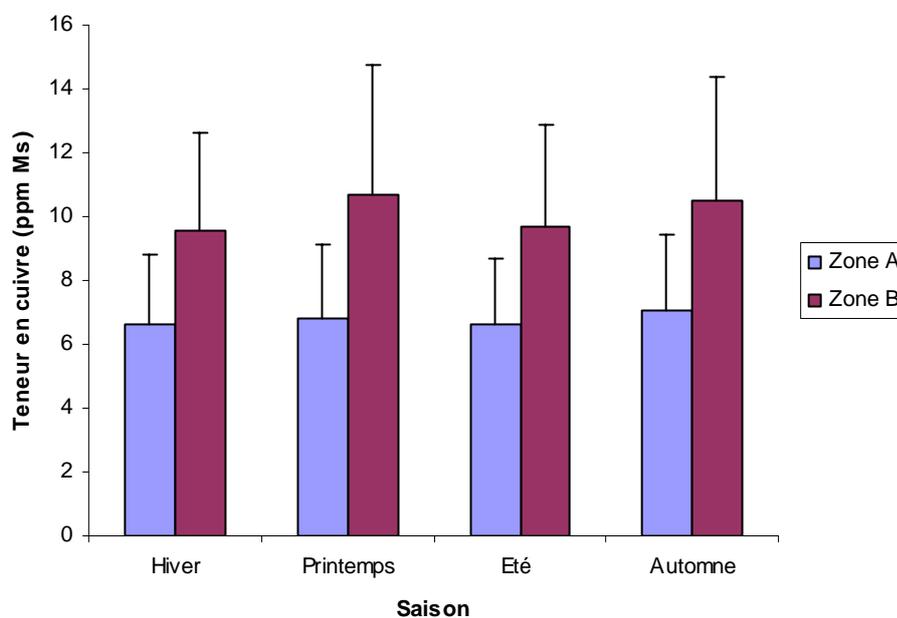
Nous tenons à signaler que, parmi les plantes fourragères analysées dans la zone B ce sont les Asteroceae (*Chrysanthemum cornarium*) et les Malvacées (*Malva silvestris*) qui ont été relativement plus riches en cuivre. Pour le *Chrysanthemum cornarium* les teneurs saisonnières sont : 15.16 ppm Ms en hiver, 17.25 ppm Ms au printemps, 15.24 ppm Ms en été et 16.80 ppm Ms en automne ; pour *Malva silvestris* les valeurs saisonnières sont : 12.25 ppm Ms en hiver, 16.33 ppm Ms au printemps, 13.50 ppm Ms en été et 15.5 ppm Ms en automne.

Dans la zone A ce sont les composées (*Artemisia herba alba*) et les labiacées (*Thymus vulgaris*) qui se sont révélées plus riches en cuivre. Pour l'*Artemisia herba alba* les teneurs saisonnières sont : 9.81 ppm Ms en hiver, 10.60 ppm Ms au printemps, 9.54 ppm Ms en été et 10.72 ppm Ms en automne ; pour *Thymus vulgaris* les valeurs saisonnières sont : 9.36 ppm Ms en hiver, 8.63 ppm Ms au printemps, 8.21 ppm Ms en été et 9.67 ppm Ms en automne.

**Tableau 22** : Variations saisonnières des teneurs en cuivre des aliments (ppm)

<b>Zone</b> <b>Saison</b>	<b>Zone A</b> (moyenne± écartype) (ppm Ms)	<b>Zone B</b> (moyenne± écartype) (ppm Ms)
Hiver	6.60 ± 2.23**	9.58 ± 3.06
Printemps	6.84 ± 2.26**	10.70 ± 4.07
Eté	6.62 ± 2.05**	9.66 ± 3.23
Automne	7.05 ± 2.40*	10.49 ± 3.89

\* P<0.05 \*\* P<0.01



**Figure 09** : Variations saisonnières de la teneur en cuivre (ppm Ms) des aliments des deux zones A et B

### 2-2 Teneurs en zinc des aliments des deux zones A et B :

Le zinc est connu par son effet antagoniste vis à vis du cuivre, ainsi des hauts niveaux de zinc apportés par la ration interfèrent avec l'absorption du cuivre et son stockage hépatique. C'est la raison pour laquelle on a essayé d'évaluer les teneurs en zinc dans les sols et les aliments consommés par les animaux puisque dans le cas d'une carence en cuivre par exemple, elle peut être secondaire et due à un excès d'éléments antagonistes tels que le zinc.

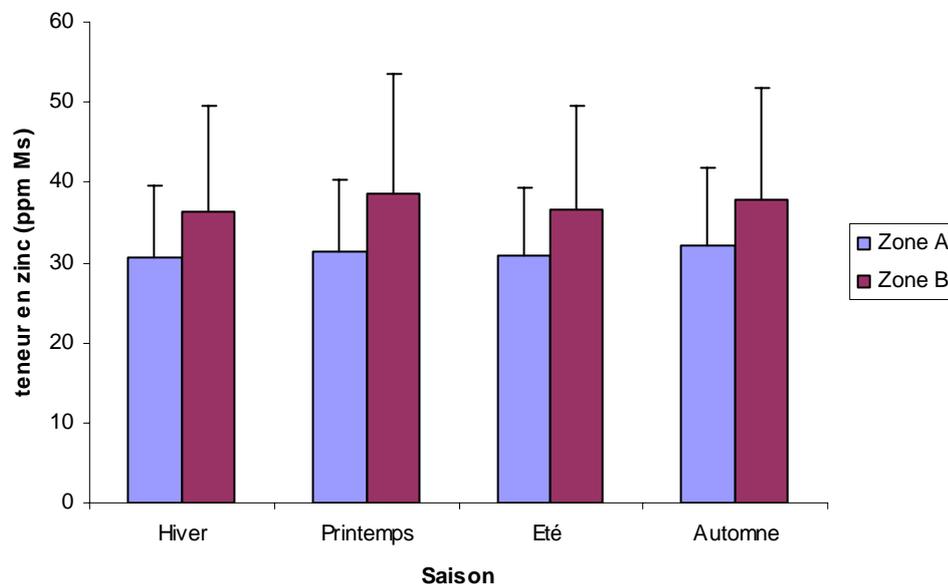
Le tableau 23 indique les variations saisonnières des concentrations en zinc (exprimées en mg/Kg Ms) dans les principaux aliments consommés par les ovins des deux sites A et B.

Les valeurs obtenues dans la zone A sont entre 30.55 et 32.15 ppm Ms et celles de la zone B entre 36.30 et 38.60 ppm Ms. Les concentrations en zinc trouvées sont dans la fourchette des valeurs courantes (25-50 mg/Kg Ms) selon *Coïc et Coppenet (1989)*. Cependant la comparaison entre les deux zones montre que les teneurs en zinc des aliments de la zone B sont supérieures à celles de la zone A et cela en toutes les saisons (figure10) sans qu'il y ait des différences significatives sur le plan statistique. La valeur moyenne la plus élevée de la zone B est celle obtenue au printemps avec  $38.60 \pm 14.82$  ppm Ms, pour la zone A il s'agit de la valeur trouvée en automne qui est de  $32.15 \pm 9.62$  ppm Ms. La moyenne saisonnière générale de la zone B est de  $37.30 \pm 13.30$  mg/kg Ms et celle de la zone A est de  $31.20 \pm 8.74$  mg/Kg Ms, ces deux valeurs sont au dessous de la limite de carence pour les animaux estimée de 45 mg/Kg Ms (*Lamand, 1978a*).

Nous tenons à révéler que, parmi les plantes fourragères analysées dans la zone B comme pour le cuivre ce sont les Asteroceae (*Chrysanthemum cornarium*) qui ont été plus riches en zinc avec les teneurs saisonnières suivantes : 58.62 ppm Ms en hiver, 62.5 ppm Ms au printemps, 58.51 ppm Ms en été et 60.5 ppm Ms en automne. Dans la zone A ce sont les labiacées (*Thymus vulgaris*) qui ce sont révéler plus riches en zinc avec des teneurs saisonnières : 44.67 ppm en hiver, 45.9 ppm Ms au printemps, 43 ppm Ms en été et 47.34 ppm Ms en automne.

**Tableau 23** : Variations saisonnières des teneurs en zinc des aliments (ppm)

<b>Zone</b> <b>Saison</b>	<b>Zone A</b> (moyenne± écartype) (ppm)	<b>Zone B</b> (moyenne± écartype) (ppm)
Hiver	30.55 ± 9.10	36.30 ± 13.14
Printemps	31.29 ± 9.13	38.60 ± 14.82
Eté	30.82 ± 8.42	36.61 ± 13.01
Automne	32.15 ± 9.62	37.72 ± 13.98

**Figure 10** : Variations saisonnières de la teneur en zinc (ppm Ms) des aliments des deux zones A et B

Il ressort de notre étude que la teneur en cuivre des aliments de la zone B est généralement dans les norme et elle est normalement suffisante pour couvrir les besoins des animaux tandis que celle de la zone A est légèrement inférieure à la limite de carence. Les teneurs en zinc sont basses dans les aliments des deux zones par rapport à celles rapportées par la bibliographie, on peut dire alors que cet élément ne peut avoir aucun effet antagoniste sur le cuivre et il va donc pas interagir avec son absorption. La comparaison entre les deux zones montre que les teneurs sont légèrement élevées dans la zone B par rapport à la zone A. Le fait que les fourrages de la zone B sont relativement riches en cuivre et zinc que ceux de la zone

"A" pourraient être rapporté à la richesse relative en ces deux oligo-éléments des sols de la zone B par rapport à ceux de la zone A. En effet la teneur du sol en un oligo-élément (forme totale ou assimilable) est en corrélation avec la teneur des végétaux ayant poussé sur ce sol (Coïc et Tendille, 1971). En plus les sols basiques sont défavorables : l'excès de calcium bloque l'utilisation par la plante des autres éléments qui étant présents en petite quantité comme Cu et Zn par rapport au calcium (Eliard, 1979). Dans les deux zones les sols ont un pH basique et il est légèrement élevé dans la zone "A" ce qui explique peut être les faibles teneurs en zinc des aliments dans les deux zones et celles du cuivre pour la zone A.

### **3-L'animal**

Les analyses sur l'animal ont été effectuées sur deux éléments : le sang et la laine. Les animaux qui ont servis pour cette étude sont des brebis de deux groupes : en premier et en deuxième stade de gestation. Les agneaux sont de trois tranches d'âge la première de 2 à 3 mois : "1", la deuxième de 3 à 4 mois : "2" et enfin la troisième de 4 à 6 mois "3".

### **3-1 Quelques paramètres hématologiques déterminés chez les ovins des deux zones A et B**

#### **3-1-1 Nombre de globules rouges**

La numération des globules rouges est un paramètre courant d'appréciation d'une anémie, cependant il n'est pas assez fiable.

##### **3-1-1-1 Nombre de globules rouges chez les agneaux**

Le tableau 24 indique l'évolution en fonction de l'âge et de la saison du nombre de globules rouges des agneaux de la zone A. Les valeurs moyennes chez les agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 8.40 et 9.22  $10^{12}/l$ , celles de "2" entre 8.91 et 9.33  $10^{12}/l$ , alors que celles de "3" sont comprises entre 9.15 et 9.88  $10^{12}/l$ .

L'évolution en fonction de l'âge et de la saison du nombre de globules rouges des agneaux de la zone B est présentée dans tableau (25). Les valeurs moyennes chez les agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 8.01 et 8.76  $10^{12}/l$ , celles de "2" entre 8.74 et 9.13  $10^{12}/l$  et enfin celles de "3" entre 9.10 et 9.61  $10^{12}/l$ .

A partir des données rapportées dans les tableaux 24 et 25 on remarque que les résultats obtenus pour les trois tranches d'âge se trouvent dans l'intervalle physiologique des valeurs normales des hématies proposé par les auteurs : Coles (1979) et Brugère-Picoux (2004) et qui est situé entre 8 et 15  $10^{12}/l$ .

**Tableau 24** : Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des agneaux de la zone A

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )	3 à 4 mois (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )	4 à 6 mois (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )
Hiver	9.22 ± 0.55 <sup>d*</sup>	9.30 ± 0.24 <sup>d*</sup>	9.76 ± 0.81
Printemps	8.85 ± 0.54	9.33 ± 0.27 <sup>c*e*</sup>	9.88 ± 0.33 <sup>b**e*</sup>
Eté	8.40 ± 0.41	8.91 ± 0.31 <sup>a*</sup>	9.15 ± 0.42 <sup>b*</sup>
Automne	8.90 ± 0.53	8.97 ± 0.47	9.53 ± 0.53

\* P<0.05 \*\* P<0.01 a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
 b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
 c : différence entre les agneaux (3 à 4 mois Vs 4 à 6 mois)  
 d : différence (Hiver Vs Eté)  
 e : différence (Printemps Vs Eté)

**Tableau 25** : Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des agneaux de la zone B

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )	3 à 4 mois (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )	4 à 6 mois (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )
Hiver	8.15 ± 0.84	9.13 ± 0.29 <sup>a*d*</sup>	9.26 ± 0.33 <sup>b*</sup>
Printemps	8.76 ± 0.57	9.00 ± 0.48	9.61 ± 0.47 <sup>b*</sup>
Eté	8.01 ± 0.68	8.74 ± 0.34	9.10 ± 0.39 <sup>b*</sup>
Automne	8.55 ± 0.49	8.74 ± 0.22 <sup>c*</sup>	9.46 ± 0.56 <sup>b*</sup>

\* P<0.05 a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
 b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
 c : différence entre les agneaux (3 à 4 mois Vs 4 à 6 mois)  
 d : différence ( Hiver Vs Automne)

**\*Selon l'âge****• Pour la zone A :**

Du tableau 24 il ressort que le nombre de globules rouges des agneaux de la tranche d'âge "2" est plus élevé par rapport à celui des agneaux de la tranche d'âge "1" cependant la différence n'est significative ( $P < 0.05$ ) qu'en été. Les valeurs de la tranche d'âge "3" sont supérieures à celles de "2" mais la différence n'est significative ( $P < 0.05$ ) qu'au printemps. Entre les tranches d'âge "1" et "3" les valeurs sont élevées chez les agneaux de la tranche d'âge "3" et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) en été, et hautement significatives ( $P < 0.01$ ) au printemps.

**• Pour la zone B :**

Le tableau 25 nous montre que : les agneaux de la tranche d'âge "2" ont des valeurs élevées par comparaison avec celles des agneaux de la tranche d'âge "1" et la différence est significative ( $P < 0.05$ ) uniquement en hiver. Les agneaux de la tranche d'âge "3" ont des valeurs supérieures à celles des agneaux de la tranche d'âge "2" mais la différence n'est significative ( $P < 0.05$ ) qu'en automne. Entre les tranches d'âge "1" et "3" les valeurs sont élevées chez les agneaux de la tranche d'âge "3" et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) au cours des quatre saisons.

A partir des tableaux 24 et 25 on remarque que le nombre de globules rouges des agneaux des deux zones A et B connaît une amélioration continue avec l'âge.

**\*Selon la saison****• Pour la zone A :**

Du tableau 24 on remarque que le nombre de globules rouges chez les agneaux des tranches d'âge "1" et "2" en hiver est significativement élevé ( $P < 0.05$ ) par rapport à celui de l'été. Chez les agneaux des tranches d'âge "2" et "3" les valeurs sont significativement élevées ( $P < 0.05$ ) au printemps par rapport à celles de l'été.

**• Pour la zone B :**

De l'observation du tableau 25 on peut remarquer que le nombre de globules rouges chez les agneaux de la tranche d'âge "2" est significativement plus élevé ( $P < 0.05$ ) en hiver par rapport à l'automne.

On remarque généralement que le nombre de globules rouges des agneaux est le plus élevé en hiver puis au printemps dans la zone (A) et au printemps puis à l'automne dans la zone

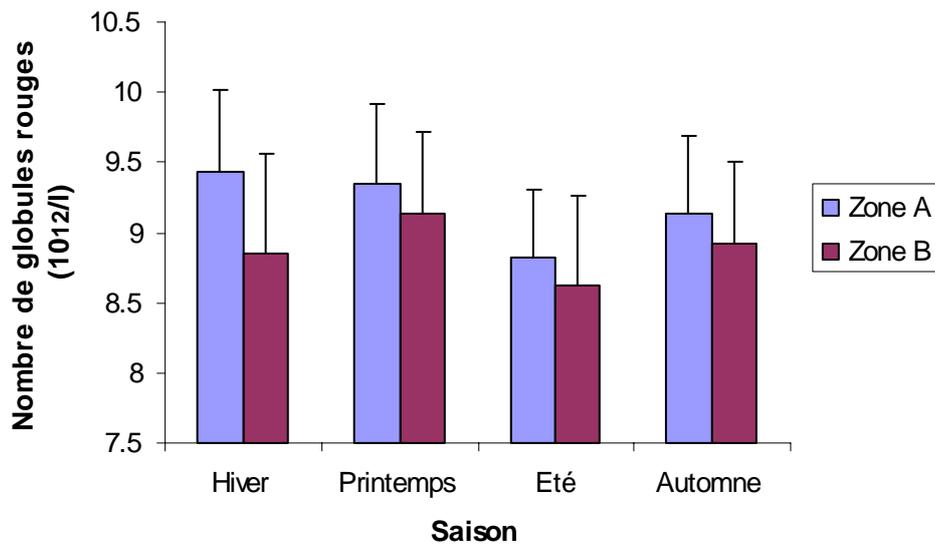
(B). Dans les deux zones le nombre de globules rouges est plus bas en été. Ces différences peuvent être dues aux variations des températures à travers les saisons. En effet les changements de saisons ont des influences sur les valeurs des paramètres sanguins (*Kramer, 2000*).

Le tableau 26 représente les variations du nombre de globules rouges des agneaux des zones A et B en fonction de l'âge et de la saison. On observant les résultats, on remarque que les valeurs obtenues chez les agneaux de la zone A sont constamment supérieures à celles des agneaux de la zone B (figure11) mais la différence entre les valeurs est significative ( $P < 0.05$ ) seulement pour les agneaux de la première tranche d'âge en hiver. Le fait que les agneaux de la zone A disposent d'un nombre de globules rouges supérieur à celui des agneaux de la zone B pourrait être rapporté à l'élévation de l'altitude de la zone A (montagneuse) par rapport à celle de la zone B (plaine). En effet les animaux élevés à haute altitude ont un nombre d'hématies supérieur à celui d'animaux comparables vivant à une altitude plus basse (*Coles, 1979*).

**Tableau 26 :** Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des agneaux des deux zones A et B

Zone	Age	2 à 3 mois	3 à 4 mois	4 à 6 mois
	Saison	(moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )	(moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )	(moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )
<b>Zone A</b>	Hiver	9.22 ± 0.55*	9.30 ± 0.24	9.76 ± 0.81
	Printemps	8.85 ± 0.54	9.33 ± 0.27	9.88 ± 0.33
	Eté	8.40 ± 0.41	8.91 ± 0.31	9.15 ± 0.42
	Automne	8.90 ± 0.53	8.97 ± 0.47	9.53 ± 0.53
<b>Zone B</b>	Hiver	8.15 ± 0.84	9.13 ± 0.29	9.26 ± 0.33
	Printemps	8.76 ± 0.57	9.00 ± 0.48	9.61 ± 0.47
	Eté	8.01 ± 0.68	8.74 ± 0.34	9.10 ± 0.39
	Automne	8.55 ± 0.49	8.74 ± 0.22	9.46 ± 0.56

\*  $P < 0.05$



**Figure11** : Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des agneaux des deux zones A et B

### 3-1-1-2 Nombre de globules rouges chez les Brebis

Les variations du nombre de globules rouges en fonction de l'âge et de la saison des brebis de la zone A sont présentées dans le tableau 27. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 9.86 et 10.13  $10^{12}/l$  alors que celles des brebis en fin de gestation sont entre 9.27 et 9.84  $10^{12}/l$ .

Le tableau 28 indique les variations saisonnières du nombre de globules rouges des brebis de la zone B. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 9.68 et 10.46  $10^{12}/l$  et celles des brebis en fin de gestation sont entre 8.80 et 9.61  $10^{12}/l$ .

L'intervalle physiologique des valeurs normales des hématies proposé par les auteurs : *Coles (1979)* et *Brugère-Picoux (2004)* est situé entre 8 et 15  $10^{12}/l$ . Nos résultats montrent que les valeurs des brebis dans les deux stades de gestation et dans les deux zones A et B restent globalement dans les intervalles proposés par les auteurs suscités.

**Tableau 27 :** Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des brebis de la zone A

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )	Fin de gestation (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )
Hiver	10.02 ± 0.29	9.80 ± 0.45
Printemps	9.86 ± 0.37	9.84 ± 0.32 <sup>b*</sup>
Eté	10.13 ± 0.28 <sup>a*</sup>	9.27 ± 0.47
Automne	10.01 ± 0.35 <sup>a*</sup>	9.37 ± 0.43

\* P<0.05 a : différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)  
b : différence entre (Printemps Vs Eté)

**Tableau 28 :** Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des brebis de la zone B

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )	Fin de gestation (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )
Hiver	9.75 ± 0.38 <sup>a*</sup>	8.80 ± 0.78
Printemps	10.46 ± 0.59 <sup>a*b*</sup>	9.61 ± 0.25 <sup>b*c**</sup>
Eté	9.68 ± 0.46 <sup>a*c*</sup>	8.90 ± 0.27
Automne	9.74 ± 0.37 <sup>d*</sup>	9.42 ± 0.62

\* P<0.05 \*\* P<0.01 a : différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)  
b : différence entre (Hiver Vs Printemps)  
c : différence entre (Printemps Vs Eté)  
d : différence entre (Printemps Vs Automne)

**\*Selon le stade de gestation****• Pour la zone A**

La comparaison entre les deux stades de gestation (tableau 27) montre des valeurs légèrement supérieures chez les brebis en début de gestation et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) en été et en automne.

**• Pour la zone B :**

A partir des résultats présentés dans le tableau (28) on remarque que les valeurs obtenues pour les brebis du premier stade de gestation sont légèrement élevées par rapport à celles du deuxième stade, et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) en hiver, au printemps et en été.

On remarque à partir des tableaux 27, 28 que le nombre de globules rouges des brebis en premier stade de gestation est légèrement supérieur à celui des brebis en deuxième stade de gestation. En effet au cours de la gestation le nombre de globules rouges diminue progressivement (*Ledieu, 2003*).

**\*Selon la saison****• Pour la zone A :**

Le premier stade de gestation :

Il n'y a pas de différence significative entre les valeurs des quatre saisons.

Le deuxième stade de gestation :

Le nombre moyen de globules rouges des brebis au printemps est significativement élevé ( $P < 0.05$ ) par rapport à celui de l'été.

**• Pour la zone B :**

Le premier stade de gestation :

Au printemps, le nombre moyen de globules rouges des brebis est significativement élevé ( $P < 0.05$ ) par rapport à celui de l'hiver de l'été et de l'automne.

Le deuxième stade de gestation :

Le nombre moyen de globules rouges au printemps est significativement élevé à ( $P < 0.05$ ) par rapport à celui de l'hiver et à ( $P < 0.01$ ) par comparaison avec l'été.

On observant les résultats dans les tableaux 27 et 28, et la figure (12) on trouve que dans la zone A les valeurs les plus élevées sont celles de l'hiver tandis que dans la zone B se sont celles du printemps qui sont les plus élevées.

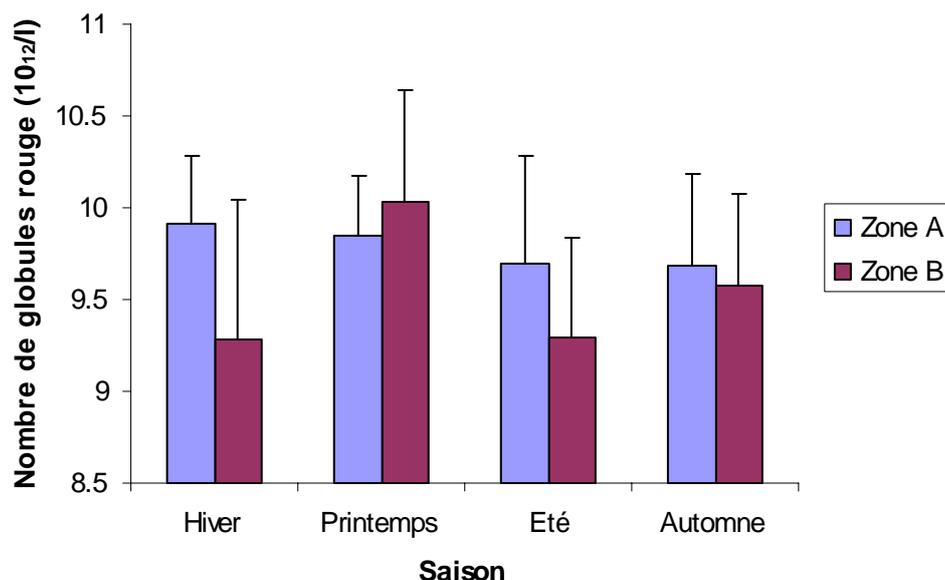
A partir des résultats du tableau 29 on constate que le nombre de globules rouges des brebis de la zone A est supérieur à celui de la zone B en hiver, en été et en automne mais le contraire pour le printemps où on a trouvé des valeurs plus élevées chez les brebis de la zone B (figure12). La différence est significative ( $P < 0.05$ ) seulement en hiver pour les brebis en deuxième stade de gestation.

Le fait que les brebis de la zone A disposent d'un nombre de globules rouges supérieur à celui des brebis de la zone B pourrait être rapporté comme pour les agneaux à la différence de l'altitude entre la zone A (montagneuse) et la zone B (plaine).

**Tableau 29 :** Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des brebis des zones A et B

Zone	Stade de gestation	Début de gestation (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )	Fin de gestation (moyenne±écartype) ( $10^{12}/l$ )
	Saison		
<b>Zone A</b>	Hiver	10.02 ± 0.29	9.80± 0.45*
	Printemps	9.86 ± 0.37	9.84 ± 0.32
	Eté	10.13± 0.28	9.27 ± 0.47
	Automne	10.01± 0.35	9.37± 0.43
<b>Zone B</b>	Hiver	9.75 ± 0.38	8.80 ± 0.78
	Printemps	10.46 ± 0.59	9.61 ± 0.25
	Eté	9.68 ± 0.46	8.90 ± 0.27
	Automne	9.74 ± 0.37	9.42 ± 0.62

\*  $P < 0.05$



**Figure12 :** Variations saisonnières du nombre de globules rouges ( $10^{12}/l$ ) des brebis des deux zones A et B

### 3-1-2 L'hémoglobine (Hb)

La détermination de la concentration en hémoglobine est d'un grand intérêt car elle reflète la capacité de l'érythron à transporter l'oxygène. C'est un élément primordial pour l'appréciation d'une anémie d'une façon fiable.

#### 3-1-2-1 Concentration en hémoglobine des agneaux

Le tableau 30 indique les variations en fonction de l'âge et de la saison de la concentration en hémoglobine plasmatique des agneaux de la zone A. Les concentrations moyennes des agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 8.46 et 9.13 g/dl, celles de "2" entre 9.35 et 10.69 g/dl, et en fin celles de "3" varient entre 9.39 et 10.49 g/dl.

Les variations de la concentration en hémoglobine de la zone B en fonction de l'âge et de la saison sont montrées dans le tableau 31. Les valeurs moyennes des agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 8.64 et 9.43 g/dl, celles de "2" entre 9.05 et 10.70 g/dl et enfin celles de "3" entre 9.48 et 10.91 g/dl.

A partir des données rapportées dans les tableaux 30 et 31 on remarque que pour les trois tranches d'âge les valeurs sont dans l'intervalle physiologique proposé par *Coles (1979)* situé entre 8 et 16 g/dl. Les valeurs sont aussi dans la fourchette 9 – 15 g/dl proposée par *Al-Busadah (2004)* et cela pour les agneaux des tranches d'âges "2" et "3" mais elles sont légèrement inférieures chez les agneaux de la première tranche d'âge en hiver été et automne dans la zone A et en hiver et en printemps dans la zone B.

**Tableau 30** : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des agneaux de la zone A

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (g/dl)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (g/dl)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (g/dl)
Hiver	8.46 ± 0.37	9.35 ± 0.62 <sup>a*</sup>	9.39 ± 0.47 <sup>b*</sup>
Printemps	9.13 ± 0.80	10.69 ± 0.44 <sup>a**c**</sup>	10.37 ± 0.31 <sup>b*c**</sup>
Eté	8.51 ± 0.62	9.44 ± 0.47 <sup>a*d**</sup>	9.77 ± 0.57 <sup>b*</sup>
Automne	8.72 ± 0.63	9.51 ± 0.96 <sup>e*</sup>	10.49 ± 0.72 <sup>b**f*</sup>

\* P<0.05 \*\* P<0.01  
 a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
 b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
 c : différence (Hiver Vs Printemps)  
 d : différence (Printemps Vs Eté)  
 e : différence (Printemps Vs Automne)  
 f : différence (Hiver Vs Automne)

**Tableau 31** : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des agneaux de la zone B

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (g/dl)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (g/dl)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (g/dl)
Hiver	8.64 ± 0.53	9.05 ± 0.29 <sup>c**</sup>	9.48 ± 0.54 <sup>b*</sup>
Printemps	8.96 ± 0.85	10.34 ± 0.76 <sup>a*</sup>	10.91 ± 0.49 <sup>b**c**</sup>
Eté	9.43 ± 0.77	9.63 ± 0.41 <sup>d*f*</sup>	10.12 ± 0.90
Automne	9.20 ± 0.48	10.70 ± 0.68 <sup>a**e**</sup>	10.57 ± 0.60 <sup>b**e*</sup>

\* P<0.05\*\* P<0.01  
 a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
 b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
 c : différence entre (Hiver Vs printemps)  
 d : différence (Hiver Vs Eté)  
 e : différence (Hiver Vs Automne)  
 f : différence (Eté Vs Automne)

**\*Selon l'âge****• Pour la zone A :**

Du tableau 30 il ressort que la concentration moyenne en hémoglobine plasmatique des agneaux de la tranche d'âge "2" est élevée par rapport à celle des agneaux de la tranche d'âge "1" et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) en hiver et été et hautement significatives ( $P < 0.01$ ) au printemps. Entre les tranches d'âge "1" et "3" les valeurs sont élevées chez les agneaux de la tranche d'âge "3" et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) pour les quatre saisons.

**• Pour la zone B :**

Les concentrations plasmatiques en hémoglobine des agneaux de la tranche d'âge "2" sont élevées par rapport à celles des agneaux de la tranche d'âge "1" et la différence est significative ( $P < 0.05$ ) au printemps et hautement significative ( $P < 0.01$ ) en automne. Les agneaux de la tranche d'âge "3" ont des valeurs supérieures à celles des agneaux de la tranche d'âge "1", et la différence est significative ( $P < 0.05$ ) en hiver et hautement significative ( $P < 0.01$ ) au printemps et à l'automne.

On remarque que la concentration en hémoglobine plasmatique des agneaux des deux zones A et B s'améliore généralement avec l'avancement de l'âge.

**\*Selon la saison****• Pour la zone A :**

Dans la tranche d'âge "2" la concentration en hémoglobine est significativement élevée à ( $P < 0.01$ ) par rapport à celle de l'hiver et de l'été et élevée à ( $P < 0.05$ ) par comparaison avec celle de l'automne. La valeur moyenne obtenue au printemps pour la tranche d'âge "3" est significativement élevée ( $P < 0.01$ ) par rapport à celle de l'hiver et cette dernière est significativement basse ( $P < 0.05$ ) par comparaison avec celle de l'automne.

**• Pour la zone B :**

On remarque que dans la tranche d'âge "2" la valeur moyenne en hémoglobine obtenue en hiver est significativement inférieure à celles des autres saisons et le degré de signification est le suivant : significatif ( $P < 0.05$ ) en été et hautement significatif ( $P < 0.01$ ) au printemps et à l'automne. La valeur relevée en automne est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle de l'été. Pour ce qui concerne la tranche d'âge "3" la

concentration en hémoglobine obtenue en hiver est significativement basse à ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle de l'automne et à ( $P < 0.01$ ) par comparaison avec celle du printemps.

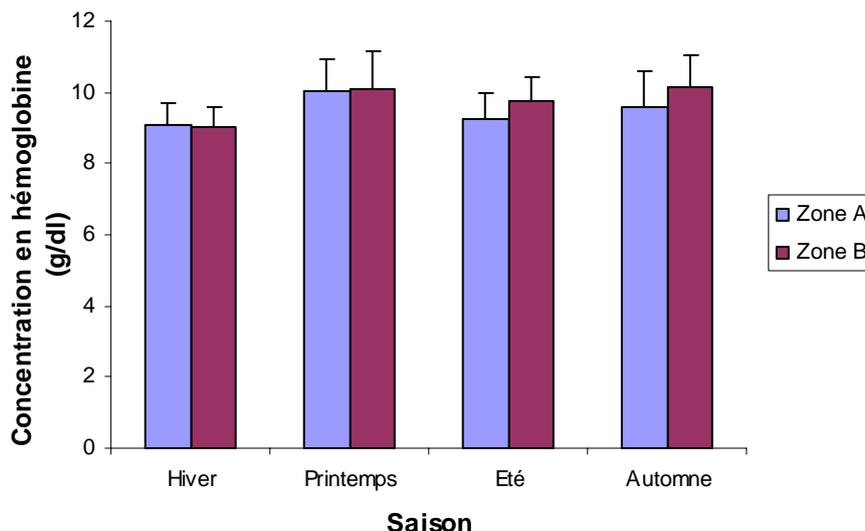
On se référant aux tableaux 30 et 31 et à la figure (13) on remarque que les concentrations en hémoglobines plasmatique des agneaux sont généralement plus élevées au printemps puis en automne dans la zone (A) et en automne puis au printemps dans la zone (B). Dans les deux zones les valeurs les plus basses sont celles relevées en hiver. Les variations observées peuvent être liées aux différences de températures entre les saisons. En effet selon *Kramer (2000)*, les changements de saisons ont des influences sur les valeurs des paramètres sanguins.

Le tableau 32 représente les variations des concentrations en hémoglobine plasmatique des agneaux des zones A et B en fonction de l'âge et de la saison. A partir de ces résultats, on remarque que les teneurs obtenues chez les agneaux de la zone B sont légèrement supérieures à celles des agneaux de la zone A sauf en hiver (figure13) mais la différence entre les valeurs est significative seulement en automne pour les agneaux de la tranche d'âge "2", et le degré de signification est ( $P < 0.05$ ).

**Tableau 32** : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des agneaux des deux zones A et B

Zone	Age	2 à 3 mois	3 à 4 mois	4 à 6 mois
	Saison	(moyenne±écartype) (g/dl)	(moyenne±écartype) (g/dl)	(moyenne±écartype) (g/dl)
<b>Zone A</b>	Hiver	8.46 ± 0.37	9.35 ± 0.62	9.39 ± 0.47
	Printemps	9.13 ± 0.80	10.69 ± 0.44	10.37 ± 0.31
	Eté	8.51 ± 0.62	9.44 ± 0.47	9.77 ± 0.57
	Automne	8.72 ± 0.63	9.51 ± 0.96	10.49 ± 0.72
<b>Zone B</b>	Hiver	8.64 ± 0.53	9.05 ± 0.29	9.48 ± 0.54
	Printemps	8.96 ± 0.85	10.34 ± 0.76	10.91 ± 0.49
	Eté	9.43 ± 0.77	9.63 ± 0.41	10.12 ± 0.90
	Automne	9.20 ± 0.48	10.70 ± 0.68*	10.57 ± 0.60

\*  $P < 0.05$



**Figure13 :** Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des agneaux des deux zones A et B

### 3-1-2-2 Concentration en hémoglobine des Brebis

Le tableau (33) présente les variations de la concentration en hémoglobine en fonction de l'âge et de la saison des brebis de la zone A. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 10.73 et 11.19 g/dl et celles des brebis en fin de gestation sont entre 9.10 et 9.77 g/dl.

Les variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique des brebis de la zone B sont indiquées dans le tableau 34. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 10.95 et 11.99 g/dl et celles des brebis en fin de gestation sont entre 9.49 et 10.28 g/dl.

A partir des tableaux 33 et 34 on remarque que les résultats obtenus pour les brebis dans les deux stades de gestation sont dans l'intervalle physiologique proposé par *Kramer* (2000) et *Al-Busadah* (2004) pour les concentrations normales en hémoglobine des ovins et qui est situé entre 9 et 15 g/dl.

**Tableau 33** : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des brebis de la zone A

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)
Hiver	11.19 ± 0.63**	9.10 ± 0.53
Printemps	11.01 ± 1.09*	9.24 ± 1.10
Eté	10.90 ± 0.43**	9.55 ± 0.60
Automne	10.73 ± 1.38	9.77 ± 1.07

\* P&lt;0.05 \*\* P&lt;0.01

**Tableau 34** : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des brebis de la zone B

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)
Hiver	10.95 ± 0.86 <sup>a*</sup>	9.49 ± 0.59
Printemps	11.97 ± 0.43 <sup>a**</sup>	9.89 ± 0.58
Eté	11.33 ± 0.68 <sup>a**</sup>	9.67 ± 0.45 <sup>c*</sup>
Automne	11.99 ± 0.60 <sup>a**b*</sup>	10.28 ± 0.44 <sup>b*</sup>

\* P<0.05 \*\* P<0.01    a : différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)  
 b : différence entre (Hiver Vs Automne)  
 c : différence entre (Eté Vs Automne)

**\*Selon le stade de gestation****• Pour la zone A :**

La comparaison entre les deux stades de gestation (tableau 33) montre des valeurs légèrement supérieures chez les brebis en début de gestation et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) au printemps et hautement ( $P < 0.01$ ) significatives en hiver et en été.

**• Pour la zone B :**

A partir des résultats présentés dans le tableau 34 on remarque que les valeurs obtenues pour les brebis du premier stade de gestation sont légèrement élevées par rapport à celles du deuxième stade, et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) en hiver et hautement significatives ( $P < 0.01$ ) au printemps en été et en automne.

A partir des résultats présentés dans les tableaux 33, 34 on peut dire que les concentrations en hémoglobine plasmatique des brebis en premier stade de gestation sont légèrement supérieures à celles des brebis en deuxième stade de gestation. En effet selon *Ledieu (2003)* le nombre de globules rouges ainsi que les valeurs de l'hémoglobine et de l'hématocrite diminuent progressivement au cours de la gestation.

**\*Selon la saison****• Pour la zone A :**

Entre les valeurs moyennes obtenues dans les quatre saisons et dans chacun des deux stades de gestation Il n'y a pas de différence significative.

**• Pour la zone B :**Le premier stade de gestation :

En automne, la concentration en hémoglobine plasmatique des brebis est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle de l'hiver.

Le deuxième stade de gestation :

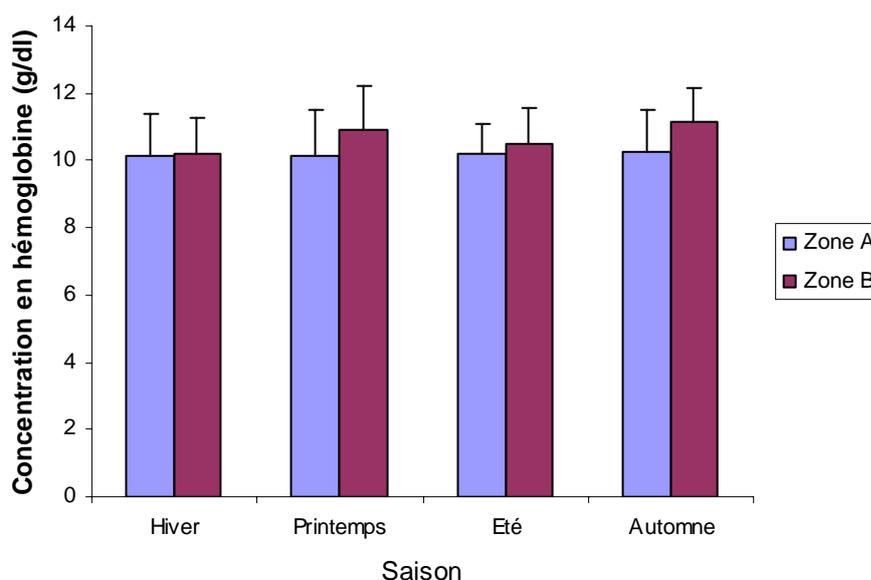
La concentration en hémoglobine plasmatique en automne est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celles de l'hiver et de l'été.

On remarque en observant la figure (14) que les concentrations en hémoglobine plasmatique des brebis dans les quatre saisons sont proches les unes des autres mais elles sont plus élevées en automne dans les deux zones A et B tandis que les valeurs les plus basses sont celles du printemps pour la zone A et de l'hiver pour la zone B.

A partir du tableau 35 on remarque que la concentration en hémoglobine plasmatique des brebis de la zone B est constamment supérieure à celle de la zone A (figure14), mais la différence entre les valeurs des deux zones est statistiquement non significative.

**Tableau 35** : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des brebis des zones A et B

Zone	Stade de gestation	Début de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)
	Saison		
<b>Zone A</b>	Hiver	11.19 ± 0.63	9.10 ± 0.53
	Printemps	11.01 ± 1.09	9.24 ± 1.10
	Eté	10.90 ± 0.43	9.55 ± 0.60
	Automne	10.73 ± 1.38	9.77 ± 1.07
<b>Zone B</b>	Hiver	10.95 ± 0.86	9.49 ± 0.59
	Printemps	11.97 ± 0.43	9.89 ± 0.58
	Eté	11.33 ± 0.68	9.67 ± 0.45
	Automne	11.99 ± 0.60	10.28 ± 0.44



**Figure14** : Variations saisonnières de la concentration en hémoglobine plasmatique (g/dl) des brebis des deux zones A et B

### 3-1-3 L'hématocrite (Ht)

L'hématocrite ou encore volume du concentré globulaire fournit une mesure précise de l'état des globules rouges.

#### 3-1-3-1 L'hématocrite des agneaux

Les variations de l'hématocrite en fonction de l'âge et de la saison des agneaux de la zone A sont représentées dans le tableau 36. Les valeurs moyennes de l'hématocrite des agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 29.30 et 30.44 %, celles de "2" entre 29.18 et 31.90 %, et en fin celles de "3" varient entre 28.93 et 31.76 %.

Dans la zone B, les variations de l'hématocrite en fonction de l'âge et de la saison sont montrées dans le tableau 37. Les valeurs moyennes des agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 26.48 et 30.33 %, celles de "2" entre 28.73 et 31.69 % et enfin celles de "3" entre 28.55 et 32.98 %.

A partir des données remises dans les tableaux 36 et 37 on remarque que pour les trois tranches d'âge les valeurs sont dans l'intervalle physiologique proposé par *Coles (1979)* situé entre 24 et 49 %. Les valeurs sont aussi incluses dans l'intervalle 27– 45 g/dl proposé par *Al-Busadah (2004)* sauf pour les agneaux de la tranche d'âge "1" de la zone B en hiver qui ont une valeur moyenne légèrement inférieure.

**Tableau 36 :** Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des agneaux de la zone A

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (%)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (%)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (%)
Hiver	30.43 ± 2.01	30.85 ± 1.39	30.76 ± 0.77 <sup>b*</sup>
Printemps	30.44 ± 1.64	31.90 ± 0.78 <sup>a*</sup>	31.76 ± 1.43 <sup>a*</sup>
Eté	30.38 ± 2.21	29.18 ± 2.28	28.93 ± 1.21
Automne	29.30 ± 2.32	31.03 ± 1.51	30.50 ± 1.80

\* P<0.05

a : différence (printemps Vs été)

b : différence entre (Hiver Vs été)

**Tableau 37 :** Variation saisonnières de l'hématocrite (%) des agneaux de la zone B

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (%)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (%)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (%)
Hiver	26.48 ± 3.18	28.73± 0.44 <sup>e***</sup>	28.55 ± 1.60 <sup>e**</sup>
Printemps	28.88 ± 1.38	31.69 ± 0.58 <sup>a**</sup>	32.98 ± 1.20 <sup>b**h*</sup>
Eté	30.33 ± 1.95 <sup>c*</sup>	28.98 ± 2.01 <sup>g*</sup>	28.58 ± 1.30 <sup>g**d*</sup>
Automne	27.89 ± 1.15 <sup>d*</sup>	31.06 ± 1.37 <sup>a*f**</sup>	30.76 ± 1.45 <sup>b*f*</sup>

\* P<0.05 \*\* P<0.01 \*\*\*P<0.001 a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
 b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
 c : différence (Hiver Vs Eté)  
 d : différence (Eté Vs Automne)  
 e : différence (Hiver Vs Printemps)  
 f : différence (Hiver Vs Automne)  
 g : différence (Printemps Vs Eté)  
 h : différence (Printemps Vs Automne)

**\*Selon l'âge**

**•Pour la zone A :**

Entre les différentes tranches d'âge d'agneaux il n'y a pas de différences significatives entre les valeurs de l'hématocrite.

**•Pour la zone B :**

Les valeurs de l'hématocrite des agneaux de la tranche d'âge "2" sont élevées par rapport à celles des agneaux de la tranche d'âge "1" et la différence est significative (P<0.05) en automne et hautement significative (P<0.01) au printemps. Les agneaux de la tranche d'âge "3" ont des valeurs supérieures à celles des agneaux de la tranche d'âge "1", et la différence est significative (P<0.05) en automne et hautement significative (P<0.01) au printemps.

**\*Selon la saison :****• Pour la zone A :**

On remarque que dans les tranches d'âge "2" et "3" les valeurs de l'hématocrite au printemps sont significativement élevées ( $P < 0.05$ ) par rapport à celles de l'été. La valeur moyenne obtenue en hiver pour la tranche d'âge "3" est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle de l'été.

**• Pour la zone B :**

La valeur de l'hématocrite des agneaux de la tranche d'âge "1" en été est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celles de l'hiver et de l'automne. Dans la tranche d'âge "2" la valeur moyenne des agneaux au printemps est significativement élevée à ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle de l'été et à ( $P < 0.001$ ) par comparaison avec celle de l'hiver, et cette dernière est significativement basse ( $P < 0.01$ ) par rapport à celle de l'automne. Pour la tranche d'âge "3" la valeur moyenne obtenue au printemps est significativement élevée à ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle de l'automne et à ( $P < 0.01$ ) par comparaison avec celle de l'hiver et de l'été. Dans la même tranche d'âge la valeur moyenne obtenue en automne est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle de l'hiver et de l'été.

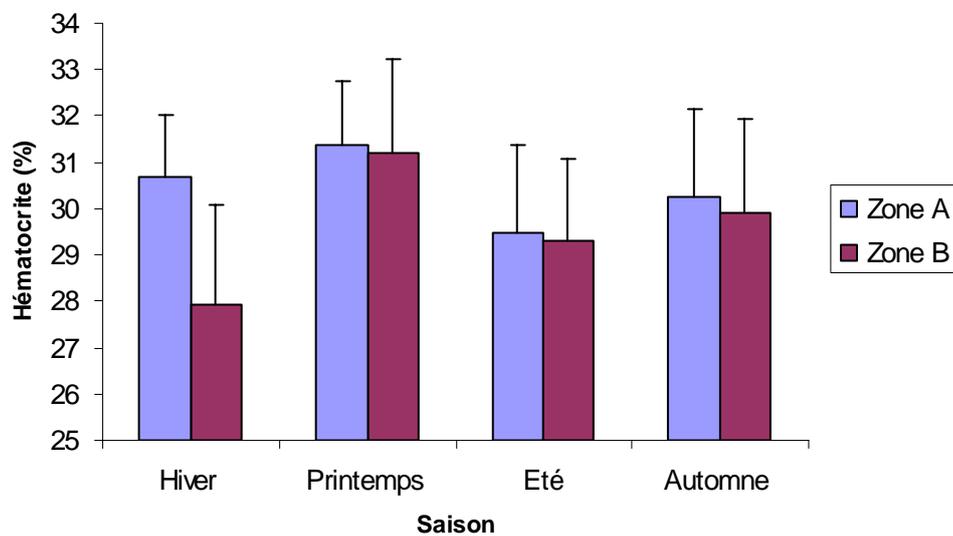
A partir des tableaux 36 et 37 et à la figure (15) on remarque que les valeurs de l'hématocrite des agneaux sont généralement plus élevées au printemps dans les deux zones A et B. Les valeurs les plus basses sont celles obtenues en hiver pour la zone (B) et celles de l'été pour la zone (A).

Les variations de l'hématocrite des agneaux des zones A et B en fonction de l'âge et de la saison sont présentées dans le tableau 38. A partir de ces résultats, on remarque que les teneurs obtenues chez les agneaux de la zone A sont supérieures à celles des agneaux de la zone B (figure 15) mais la différence entre les valeurs est significative ( $P < 0.05$ ) qu'en hiver pour les agneaux des trois tranches d'âge.

**Tableau 38** : Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des agneaux des deux zones A et B

Zone	Age	2 à 3 mois (moyenne±écartype)	3 à 4 mois (moyenne±écartype)	4 à 6 mois (moyenne±écartype)
	Saison	(%)	(%)	(%)
<b>Zone A</b>	Hiver	30.43 ± 2.01*	30.85 ± 1.39*	30.76 ± 0.77*
	Printemps	30.44 ± 1.64	31.90 ± 0.78	31.76 ± 1.43
	Eté	30.38 ± 2.21	29.18± 2.28	28.93 ± 1.21
	Automne	29.30 ± 2.32	31.03 ± 1.51	30.50 ± 1.80
<b>Zone B</b>	Hiver	26.48 ± 3.18	28.73± 0.44	28.55 ± 1.60
	Printemps	28.88 ± 1.38	31.69 ± 0.58	32.98 ± 1.20
	Eté	30.33 ± 1.95	28.98 ± 2.01	28.58 ± 1.30
	Automne	27.89 ± 1.15	31.06 ± 1.37	30.76 ± 1.45

\* P<0.05



**Figure15** : Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des agneaux des deux zones A et B

### 3-1-3-2 L'hématocrite des Brebis

Les variations de l'hématocrite des brebis de la zone (A) en fonction de l'âge et de la saison sont montrées dans le tableau 39. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 32.71 et 34.28 % et celles des brebis en fin de gestation sont entre 30.74 et 32.13 %.

Le tableau 40 indique les variations saisonnières de l'hématocrite des brebis de la zone B. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 33.04 et 34.62 % et celles des brebis en fin de gestation sont entre 28.34 et 31.48 %.

Les résultats des tableaux 39 et 40 montrent que les valeurs de l'hématocrite des brebis dans les deux stades de gestation sont dans l'intervalle physiologique proposé par *Kramer* (2000) et *Al-Busadah* (2004) pour l'hématocrite normal des ovins et qui est situé entre 27 et 45%.

**Tableau 39 :** Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des brebis de la zone A

Stade de gestation Saison	Début de gestation	Fin de gestation
	(moyenne±écartype) (%)	(moyenne±écartype) (%)
Hiver	32.71 ± 1.42 <sup>a*</sup>	30.74 ± 0.74
Printemps	34.28 ± 1.02	31.78 ± 2.74
Eté	33.02 ± 1.55	31.51 ± 1.65
Automne	34.08 ± 0.56 <sup>a***</sup>	32.13 ± 0.91 <sup>b*</sup>

\* P<0.05 \*\* P<0.01 a : différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)  
b : différence (Hiver Vs Automne)

**Tableau 40 :** Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des brebis de la zone B

Stade de gestation Saison	Début de gestation	Fin de gestation
	(moyenne±écartype) (%)	(moyenne±écartype) (%)
Hiver	33.04 ± 1.35 <sup>a***</sup>	28.34 ± 2.20
Printemps	34.62 ± 1.00 <sup>a***</sup>	31.48 ± 0.82 <sup>b*</sup>
Eté	33.76 ± 1.54 <sup>a*</sup>	30.69 ± 1.56
Automne	34.57 ± 1.17 <sup>a***</sup>	30.70 ± 1.23

\* P<0.05 \*\* P<0.01 a : différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)  
b : différence (Hiver Vs Printemps)

**\*Selon le stade de gestation****• Pour la zone A :**

Les valeurs de l'hématocrite des brebis en premier stade de gestation sont supérieures à celles des brebis en deuxième stade (tableau 39), et la différence est significative ( $P < 0.05$ ) en hiver et hautement significative ( $P < 0.01$ ) en automne.

**• Pour la zone B :**

A partir des résultats présentés dans le tableau 40 on remarque que les valeurs obtenues chez les brebis en premier stade de gestation sont un peu élevées par rapport à celles des brebis en deuxième stade, et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) en été et hautement significatives ( $P < 0.01$ ) en hiver, au printemps et en automne.

On remarque à partir des résultats présentés dans les tableaux 39, 40 que les valeurs de l'hématocrite des brebis en premier stade de gestation sont légèrement supérieures à celles des brebis en deuxième stade de gestation. Et cela comme pour le nombre de globules rouges et la concentration en hémoglobine qui ont diminué dans le deuxième stade de gestation.

**\*Selon la saison****• Pour la zone A :**

Entre les valeurs moyennes obtenues dans les quatre saisons et dans chacun des deux stades de gestation il n'y a pas de différence significative.

**• Pour la zone B :**

Dans le deuxième stade de gestation la différence entre les valeurs moyennes des quatre saisons n'est significative ( $P < 0.05$ ) qu'entre l'hiver et le printemps dont les valeurs sont légèrement supérieures.

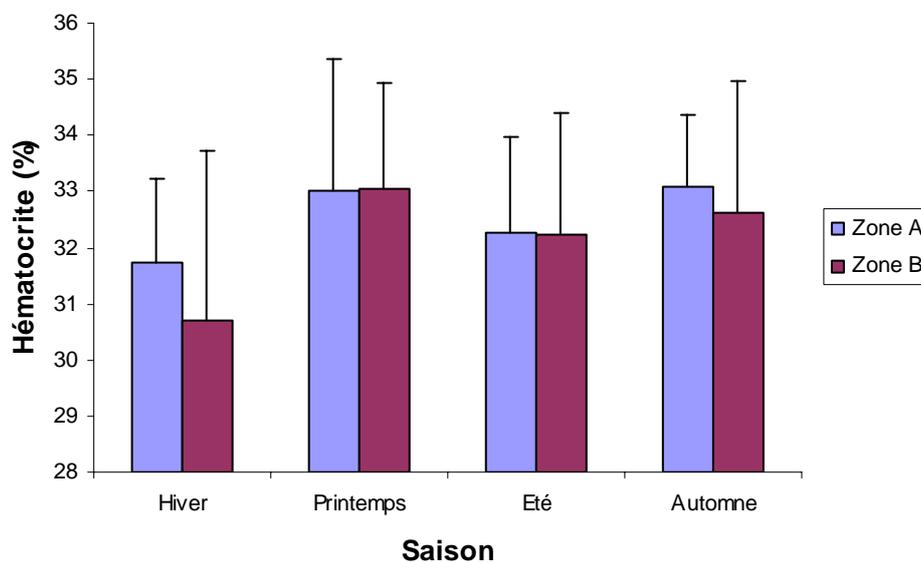
Les valeurs saisonnières les plus élevées de l'hématocrite sont obtenues en automne pour les brebis de la zone (A) et au printemps pour celles de la zone (B). Et les valeurs les plus basses sont obtenues en hiver pour les deux zones (figure 16).

Les résultats de l'hématocrite de la zone A sont supérieurs à ceux de la zone B sauf au printemps (figure 16) mais la différence est significative qu'en hiver pour les brebis en fin de gestation (tableau 41).

**Tableau 41** : Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des brebis des zones A et B

Zone	Stade de gestation	Début de gestation (moyenne±écartype) (%)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (%)
	Saison		
<b>Zone A</b>	Hiver	32.71 ± 1.42	30.74 ± 0.74*
	Printemps	34.28 ± 1.02	31.78 ± 2.74
	Eté	33.02 ± 1.55	31.51 ± 1.65
	Automne	34.08 ± 0.56	32.13 ± 0.91
<b>Zone B</b>	Hiver	33.04 ± 1.35	28.34 ± 2.20
	Printemps	34.62 ± 1.00	31.48 ± 0.82
	Eté	33.76 ± 1.54	30.69 ± 1.56
	Automne	34.57 ± 1.17	30.70 ± 1.23

\* P<0.05



**Figure16** : Variations saisonnières de l'hématocrite (%) des brebis des deux zones A et B

### 3-1-4 Indices érythrocytaires

Les indices érythrocytaires sont calculés à partir des valeurs du nombre d'hématies, de la concentration en hémoglobine et de l'hématocrite. Ils permettent de caractériser une anémie en fonction du volume moyen d'une hématie et sa concentration en hémoglobine.

#### 3-1-4-1 Le volume globulaire moyen (VGM)

##### a) Le volume globulaire moyen des agneaux

Dans le tableau 42 sont présentées les variations du VGM en fonction de l'âge et de la saison des agneaux de la zone A. Les valeurs moyennes du VGM des agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 32.95 et 36.20 fl, celles de "2" entre 32.75 et 34.63 fl, et enfin celles de "3" varient entre 31.65 et 33.43 fl.

Dans la zone B, les variations du VGM en fonction de l'âge et de la saison sont indiquées dans le tableau 43. Les valeurs moyennes des agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 32.53 et 37.90 fl, celles de "2" entre 31.53 et 35.54 fl et celles de "3" entre 31.34 et 33.07 fl.

Dans les deux zones A et B, on remarque que les valeurs du VGM des agneaux des trois tranches d'âge (tableaux 42 et 43) sont dans l'intervalle physiologique proposé par *Sylvie et al.* (1982) et *Susan et Aiello* (2002) situé entre 28 et 40 fl.

**Tableau 42 :** Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des agneaux de la zone A

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (fl)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (fl)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (fl)
Hiver	32.95 ± 1.23 <sup>d*</sup>	33.13 ± 0.76	33.43 ± 1.49
Printemps	34.55 ± 3.82	34.19 ± 0.80 <sup>c**</sup>	32.18 ± 0.76
Eté	36.20 ± 2.63 <sup>a*</sup>	32.75 ± 2.04	31.65 ± 1.99 <sup>b*</sup>
Automne	32.98 ± 2.84	34.63 ± 2.76	32.04 ± 1.31

\* P<0.05 \*\* P<0.01

a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)

b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)

c : différence entre les agneaux (3 à 4 mois Vs 4 à 6 mois)

d : différence (Hiver Vs Eté)

**Tableau 43** : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des agneaux de la zone B

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (fl)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (fl)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (fl)
Hiver	32.53 ± 2.43 <sup>d**</sup>	31.53 ± 1.39 <sup>g**</sup>	31.34 ± 0.59
Printemps	33.11 ± 3.55 <sup>e*</sup>	35.26 ± 1.60 <sup>c*</sup>	33.07 ± 0.34 <sup>g**c*</sup>
Eté	37.90 ± 0.93 <sup>a*</sup>	34.03 ± 2.94	31.40 ± 1.36 <sup>b***</sup>
Automne	32.78 ± 3.15 <sup>f*</sup>	35.54 ± 0.74 <sup>c*h**</sup>	32.60 ± 2.69

\* P<0.05 \*\* P<0.01 \*\*\*P<0.001

a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
 b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
 c : différence entre les agneaux (3 à 4 mois Vs 4 à 6 mois)  
 d : différence (Hiver Vs Eté)  
 e : différence (printemps Vs Eté)  
 f : différence (Eté Vs Automne)  
 g : différence (Hiver Vs printemps)  
 h : différence (Hiver Vs Automne)

#### Selon l'âge :

##### • Pour la zone A :

En été, les valeurs du VGM des agneaux des tranches d'âges "1" sont significativement élevées (P<0.05) par rapport à celles des agneaux des tranches d'âge "2" et "3". Au printemps, les valeurs du VGM des agneaux de la tranche d'âge "2" sont significativement élevées (P<0.01) par comparaison avec celles de la tranche d'âge "3"

##### • Pour la zone B :

Les valeurs du VGM obtenues pour les agneaux de la tranche d'âge "1" en été sont significativement élevées par rapport à celles des agneaux des tranches d'âge "2" et "3" et les degrés de signification sont respectivement (P<0.05) et (P<0.001). En automne la valeur moyenne du VGM des agneaux de la tranche d'âge "2" est supérieure à celle des agneaux de la tranche d'âge "3", et la différence est significative (P<0.05).

**\*Selon la saison :****• Pour la zone A :**

La différence entre les valeurs moyennes saisonnières du VGM est significative que pour les agneaux de la tranche d'âge "1" avec des valeurs significativement élevées ( $P < 0.05$ ) en été par rapport à l'hiver.

**• Pour la zone B :**

La valeur moyenne du VGM des agneaux de la tranche d'âge "1" en été est significativement élevée à ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle du printemps et de l'automne et à ( $P < 0.01$ ) si on la compare avec celle de l'hiver. Les valeurs obtenues en hiver pour les agneaux de la tranche d'âge "2" sont significativement inférieures ( $P < 0.05$ ) à celles du printemps et de l'automne. Pour ce qui concerne le VGM des agneaux de la tranche d'âge "3" la valeur moyenne obtenue au printemps est significativement élevée à ( $P < 0.05$ ) par rapport à celles de l'hiver et de l'été.

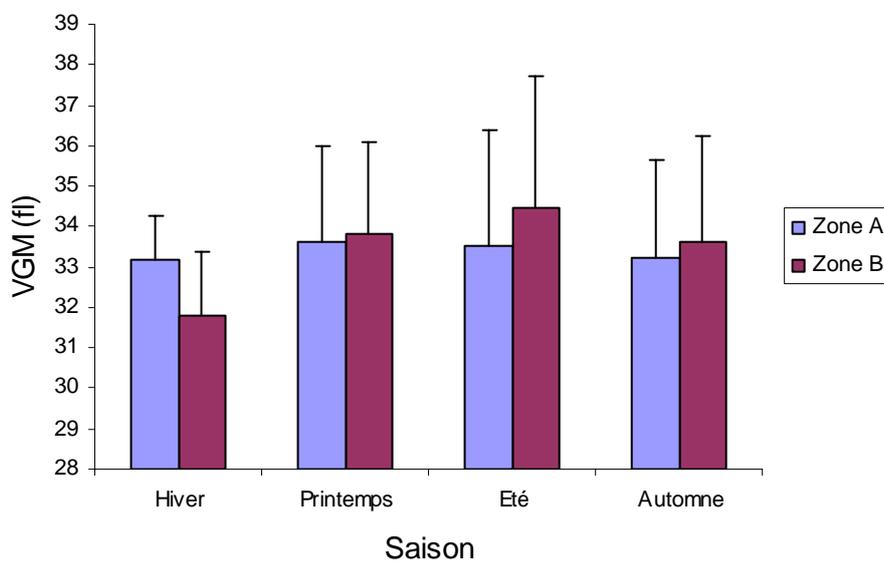
La figure (17) montre généralement des valeurs du VGM plus élevées au printemps pour la zone A et en été dans la zone B, les valeurs les plus basses sont celles obtenues en hiver pour les deux zones A et B.

On remarque à partir du tableau 44 que la différence entre les valeurs du VGM des deux zones A et B est significative ( $P < 0.05$ ) en hiver pour les agneaux des tranches d'âge "2" et "3" avec des valeurs supérieures chez les agneaux de la zone A. La valeur du VGM des agneaux de la tranche d'âge 3 au printemps est significativement basse ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle des agneaux de la zone B. Globalement si on compare les valeurs du VGM des deux zones on remarque qu'elles sont supérieures chez les agneaux de la zone B sauf en hiver où on trouve l'inverse (figure 17).

**Tableau 44** : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des agneaux des zones A et B

Zone	Age	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (fl)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (fl)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (fl)
	Saison			
<b>Zone A</b>	Hiver	32.95 ± 1.23	33.13 ± 0.76*	33.43 ± 1.49*
	Printemps	34.55 ± 3.82	34.19 ± 0.80	32.18 ± 0.76*
	Eté	36.20 ± 2.63	32.75 ± 2.04	31.65 ± 1.99
	Automne	32.98 ± 2.84	34.63 ± 2.76	32.04 ± 1.31
<b>Zone B</b>	Hiver	32.53 ± 2.43	31.53± 1.39	31.34 ± 0.59
	Printemps	33.11 ± 3.55	35.26 ± 1.60	33.07 ± 0.34
	Eté	37.90 ± 0.93	34.03 ± 2.94	31.40 ± 1.36
	Automne	32.78 ± 3.15	35.54 ± 0.74	32.60 ± 2.69

\* P<0.05



**Figure17** : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des agneaux des deux zones A et B

### b) Le volume globulaire moyen des Brebis

Le tableau 45 révèle les variations du VGM des brebis de la zone (A) en fonction de l'âge et de la saison. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 32.60 et 34.78 fl et celles des brebis en fin de gestation sont entre 31.39 et 35.08 fl.

Les variations saisonnières du VGM des brebis de la zone B sont exposées dans le tableau 46. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 33.38 et 35.50 fl et celles des brebis en fin de gestation sont entre 32.23 et 34.51 fl.

Les résultats des tableaux 45 et 46 montrent que les valeurs du VGM des brebis dans les deux stades de gestation sont dans l'intervalle physiologique proposé par *Sylvie et al. (1982)* et *Susan et Aiello (2002)* situé entre 28 et 40 fl.

**Tableau 45** : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des brebis de la zone A

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) (fl)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (fl)
Hiver	32.6 ± 1.30 <sup>b*</sup>	31.39 ± 1.37
Printemps	34.78 ± 1.81 <sup>a*</sup>	32.23 ± 1.89 <sup>e*</sup>
Eté	32.60 ± 0.98 <sup>c*</sup>	33.50 ± 2.09
Automne	33.97 ± 1.44	35.08 ± 1.86 <sup>d**</sup>

\* P<0.05 \*\* P<0.01  
 a : différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)  
 b : différence (Hiver Vs Printemps)  
 c : différence (Printemps Vs Eté)  
 d : différence (Hiver Vs Automne)  
 e : différence (Printemps Vs Automne)

**Tableau 46** : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des brebis de la zone B

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) (fl)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (fl)
Hiver	33.68 ± 2.47	32.23 ± 0.86
Printemps	33.38 ± 1.18	33.25 ± 1.34
Eté	34.25 ± 2.11	34.51 ± 2.36
Automne	35.50 ± 1.91*	32.58 ± 1.08

\* P<0.05

**\*Selon le stade de gestation****• Pour la zone A :**

Le VGM des brebis en début de gestation est significativement élevé ( $P < 0.05$ ) par comparaison avec celui des brebis en fin de gestation et cela au printemps.

**• Pour la zone B :**

En automne la valeur du VGM est significativement ( $P < 0.05$ ) élevée chez les brebis en premier stade de gestation par rapport à celle des brebis en deuxième stade.

**\*Selon la saison****• Pour la zone A :**Le premier stade de gestation :

La valeur moyenne du VGM obtenue au printemps est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle de l'hiver et de l'été.

Le deuxième stade de gestation

En automne la valeur moyenne du VGM est significativement élevée à ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle du printemps et à ( $P < 0.01$ ) par comparaison avec celle de l'hiver.

**• Pour la zone B :**

Entre les valeurs moyennes obtenues dans les quatre saisons et dans chacun des deux stades de gestation Il n'y a pas de différence significative.

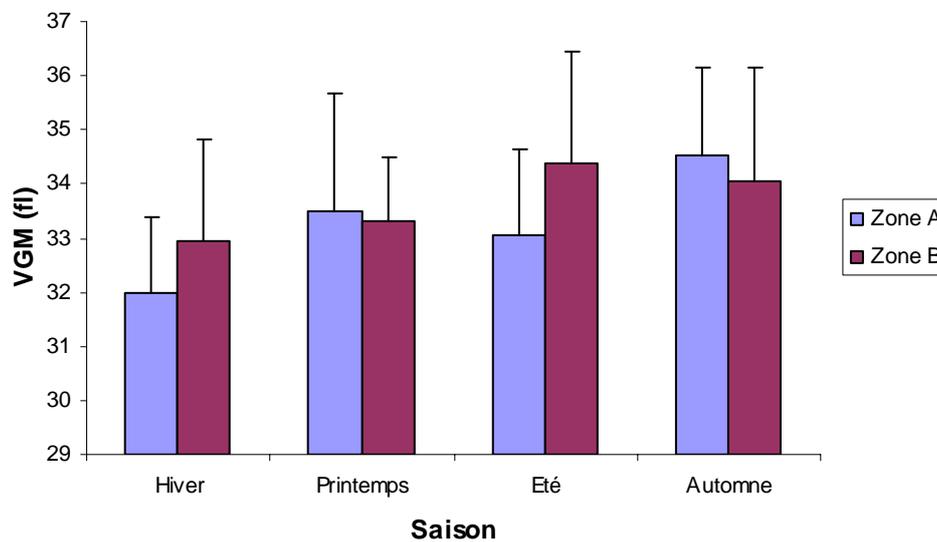
Les valeurs saisonnières les plus élevées du VGM sont obtenues en automne pour les brebis de la zone (A) et en été pour celles de la zone (B). Et les valeurs les plus basses sont obtenues en hiver pour les deux zones (figure18).

Les valeurs du VGM les plus élevées sont pas constamment trouvées dans la même zone elles fluctuent d'une saison à l'autre à la faveur de l'une des deux zones A et B (figure18). La différence entre les valeurs des deux zones est significative ( $P < 0.05$ ) qu'en automne pour les brebis en deuxième stade de gestation (tableau 47).

**Tableau 47** : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des brebis des zones A et B

Zone	Stade de gestation	Début de gestation (moyenne±écartype) (fl)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (fl)
	Saison		
<b>Zone A</b>	Hiver	32.6 ± 1.30	31.39 ± 1.37
	Printemps	34.78 ± 1.81	32.23 ± 1.89
	Eté	32.60 ± 0.98	33.50 ± 2.09
	Automne	33.97 ± 1.44	35.08 ± 1.86*
<b>Zone B</b>	Hiver	33.68 ± 2.47	32.23 ± 0.86
	Printemps	33.38 ± 1.18	33.25 ± 1.34
	Eté	34.25 ± 2.11	34.51 ± 2.36
	Automne	35.50 ± 1.91	32.58 ± 1.08

\* P<0.05



**Figure18** : Variations saisonnières du volume globulaire moyen (fl) des brebis des deux zones A et B

### 3-1-4-2 Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (CCMH)

#### a) Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine des agneaux

Les variations de la CCMH en fonction de l'âge et de la saison des agneaux de la zone A sont annoncées dans le tableau 48. Les valeurs moyennes des agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 27.35 et 31.55 g/dl, celles de "2" entre 30.32 et 33.48 g/dl et celles de "3" entre 30.50 et 34.40 g/dl.

Dans le tableau 49 sont indiquées les variations de la CCMH en fonction de l'âge et de la saison dans la zone B. Les valeurs moyennes de la CCMH des agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 31.02 et 33.04 g/dl, celles de "2" entre 31.48 et 34.42 g/dl, et enfin celles de "3" varient entre 31.34 et 35.35 g/dl.

On note que les valeurs de la CCMH dans les deux zones A et B, (tableaux 48 et 49) sont généralement dans l'intervalle physiologique (29-35 g/dl) cité par *Coles (1979)* concernant la CCMH normale des ovins sauf pour les agneaux de la tranche d'âge "1" de la zone A en hiver et en été, les valeurs sont un peu inférieures. Les valeurs des agneaux de la zone B sont aussi dans l'intervalle proposé par *Kramer (2000)* situé entre 31 et 34 g/dl, pour la zone A à l'exception des valeurs de l'hiver qui sont légèrement basse le reste des valeurs obtenues chez les agneaux des tranches d'âge "2" et "3" est compris dans l'intervalle.

**Tableau 48 :** Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des agneaux de la zone A

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (g/dl)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (g/dl)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (g/dl)
Hiver	27.35 ± 1.64	30.32 ± 2.16 <sup>a*</sup>	30.50 ± 1.07 <sup>b**</sup>
Printemps	31.55 ± 2.06 <sup>c**</sup>	33.48 ± 1.06 <sup>c*</sup>	32.73 ± 2.20
Eté	28.40 ± 2.30 <sup>e*</sup>	32.43 ± 1.90 <sup>a*</sup>	33.82 ± 2.30 <sup>b**f*</sup>
Automne	29.78 ± 1.40 <sup>d*</sup>	30.75 ± 3.75	34.40 ± 0.88 <sup>b***d***</sup>

\* P<0.05 \*\* P<0.01 \*\*\*P<0.001 a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
 b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
 c : différence (Hiver Vs Printemps)  
 d : différence (Hiver Vs Automne)  
 e : différence (Printemps Vs Été)  
 f : différence (Hiver Vs Été)

**Tableau 49** : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des agneaux de la zone B

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (g/dl)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (g/dl)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (g/dl)
Hiver	32.78 ± 4.61	31.48± 1.36	31.34 ± 2.13 <sup>c*</sup>
Printemps	31.02 ± 2.77	32.54 ± 2.05	34.30 ± 0.89 <sup>a*</sup>
Eté	31.18 ± 3.09	33.39 ± 3.27	35.35 ± 1.69 <sup>a*d*</sup>
Automne	33.04 ± 2.64	34.42 ± 2.27 <sup>b*</sup>	34.32 ± 0.79 <sup>b*</sup>

\* P<0.05  
a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
b : différence (Hiver Vs Automne)  
c : différence (Hiver Vs Printemps)  
d : différence (Hiver Vs Eté)

#### \*Selon l'âge

##### • Pour la zone A :

Dans la tranche d'âge "2" les valeurs de la CCMH sont significativement supérieures (P<0.05) à celles des agneaux de la tranche d'âge "1" et cela en hiver et en été. Entre les tranches d'âge "1" et "3" les différences sont hautement significatives (P<0.01) en hiver et en été et très significatives (P<0.001) en automne (avec des valeurs supérieures chez les agneaux de la tranche d'âge "3").

##### • Pour la zone B :

Les valeurs de la CCMH des agneaux de la tranche d'âge "1" sont significativement inférieures (P<0.05) à celles des agneaux de la tranche d'âge "3" au printemps et en été.

#### \*Selon la saison

##### • Pour la zone A :

Pour les agneaux de la tranche d'âge "1" les valeurs de la CCMH en hiver sont significativement inférieures à celles de l'automne et du printemps et les degrés de signification sont respectivement : (P<0.05) et (P<0.01). Dans la tranche d'âge "2" la valeur moyenne de la CCMH est significativement élevée (P<0.05) au printemps par rapport à celle de l'hiver. Pour ce qui concerne les agneaux de la tranche d'âge "3", les

valeurs obtenues en hiver sont significativement inférieures à celles de l'été et de l'automne et les degrés de signification sont respectivement : ( $P < 0.05$ ) et ( $P < 0.001$ ).

• **Pour la zone B :**

Dans la tranche d'âge "2" la valeur moyenne de la CCMH en automne est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle de l'hiver. Les valeurs obtenues en hiver chez les agneaux de la tranche d'âge "3" sont significativement ( $P < 0.05$ ) inférieures à celles du printemps, de l'été et de l'automne.

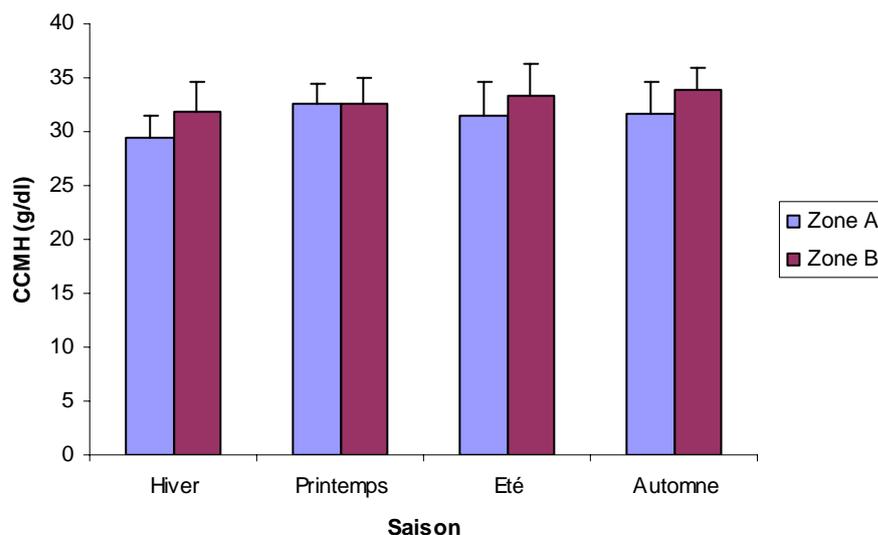
Les valeurs saisonnières générales sont proches les unes des autres mais la plus élevée est celle du printemps pour les agneaux de la zone A et celle de l'automne pour ceux de la zone B. Les valeurs les plus basses sont celles obtenues en hiver pour les deux zones A et B figure (19).

Globalement les valeurs de la CCMH de la zone B sont légèrement supérieures à celles de la zone A (figure 19) et les différences entre les deux zones sont significatives ( $P < 0.05$ ) en hiver et en automne chez les agneaux de la tranche d'âge "1" (tableau 50).

**Tableau 50** : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des agneaux des deux zones A et B

Zone	Age	2 à 3 mois	3 à 4 mois	4 à 6 mois
	Saison	(moyenne±écartype) (g/dl)	(moyenne±écartype) (g/dl)	(moyenne±écartype) (g/dl)
<b>Zone A</b>	Hiver	27.35 ± 1.64	30.32 ± 2.16	30.50 ± 1.07
	Printemps	31.55 ± 2.06	33.48 ± 1.06	32.73 ± 2.20
	Eté	28.40 ± 2.30	32.43 ± 1.90	33.82 ± 2.30
	Automne	29.78 ± 1.40	30.75 ± 3.75	34.40 ± 0.88
<b>Zone B</b>	Hiver	32.78 ± 4.61*	31.48 ± 1.36	31.34 ± 2.13
	Printemps	31.02 ± 2.77	32.54 ± 2.05	34.30 ± 0.89
	Eté	31.18 ± 3.09	33.39 ± 3.27	35.35 ± 1.69
	Automne	33.04 ± 2.64*	34.42 ± 2.27	34.32 ± 0.79

\*  $P < 0.05$



**Figure19 :** Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des agneaux des deux zones A et B

#### **b) Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine des Brebis**

Le tableau 51 énonce les variations de la CCMH des brebis de la zone A en fonction de l'âge et de la saison. Les valeurs obtenues pour les brebis en premier stade de gestation sont entre 31.55 et 34.16 g/dl et celles des brebis en deuxième stade de gestation sont entre 29.13 et 30.88 g/dl.

Pour la zone B les variations saisonnières de la CCMH des brebis sont énoncées dans le tableau 52. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 33.15 et 34.67g/dl et celles des brebis en fin de gestation sont entre 31.43 et 33.51 g/dl.

On note en observant les résultats des tableaux 51 et 52 que la CCMH des brebis des deux zones est comprise dans l'intervalle physiologique proposé par *Coles (1979)* et qui est situé entre 29 et 35 g/dl. On constate également que toutes les valeurs obtenues pour les brebis de la zone B et celles des brebis en début de gestation de la zone A sont dans la fourchette (31et34 g/dl) indiquée par *Kramer (2000)* pour la CCMH normale des ovins, en revanche celles des brebis en fin de gestation de la zone A sont légèrement inférieures.

**Tableau 51** : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des brebis de la zone A

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)
Hiver	34.16 ± 0.64***	29.58 ± 1.37
Printemps	32.09 ± 3.17	29.13 ± 3.08
Eté	33.00 ± 1.20	30.88 ± 2.73
Automne	31.55 ± 4.13	30.49 ± 3.68

\*\*\* P&lt;0.001

**Tableau 52** : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des brebis de la zone B

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)
Hiver	33.15 ± 2.57	33.51 ± 0.87
Printemps	34.59 ± 2.39	31.43 ± 2.41
Eté	34.16 ± 1.35*	31.54 ± 2.05
Automne	34.67 ± 0.59*	33.48 ± 0.61

\* P&lt;0.05

**\*Selon le stade de gestation****• Pour la zone A :**

En hiver la valeur moyenne de la CCMH des brebis en premier stade de gestation est significativement (P<0.001) élevée par comparaison avec celle des brebis en deuxième stade de gestation.

**• Pour la zone B :**

Les brebis en début de gestation ont généralement des valeurs de CCMH plus élevées que celles en fin de gestation et la différence est significative (P<0.05) en été et en automne.

**\*Selon la saison**

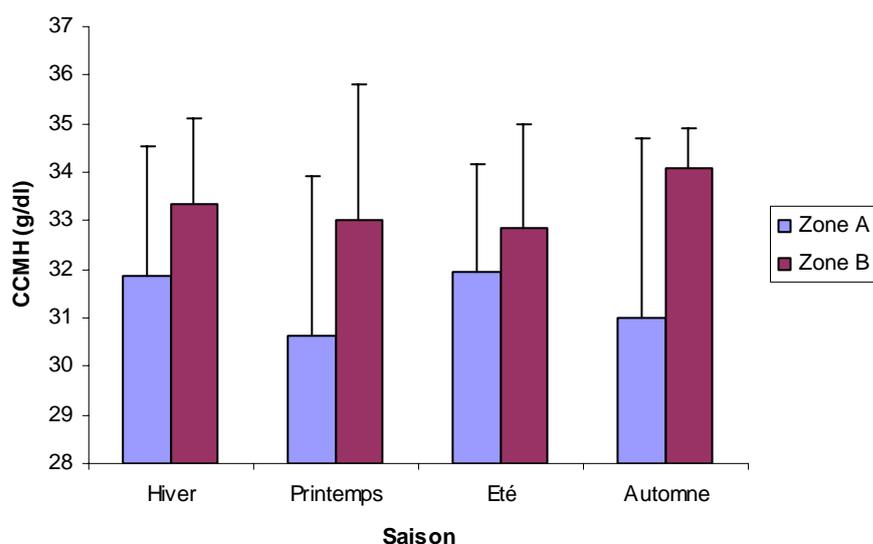
Entre les quatre saisons il n'y a pas de différence significative entre les valeurs de la CCMH et cela dans les deux zones A et B.

Les brebis de la zone B ont des valeurs de CCMH constamment élevées par rapport à celles de la zone A (figure20). La différence entre les valeurs des deux zones est significative ( $P < 0.01$ ) qu'en hiver pour les brebis en deuxième stade de gestation (tableau 53).

**Tableau 53** : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des brebis des zones A et B

Zone	Stade de gestation	Début de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (g/dl)
	Saison		
<b>Zone A</b>	Hiver	34.16 ± 0.64	29.58 ± 1.37
	Printemps	32.09 ± 3.17	29.13 ± 3.08
	Eté	33.00 ± 1.2	30.88 ± 2.73
	Automne	31.55 ± 4.13	30.49 ± 3.68
<b>Zone B</b>	Hiver	33.15 ± 2.57	33.51 ± 0.87**
	Printemps	34.59 ± 2.39	31.43 ± 2.41
	Eté	34.16 ± 1.35	31.54 ± 2.05
	Automne	34.67 ± 0.59	33.48 ± 0.61

\*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$



**Figure20** : Variations saisonnières de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (g/dl) des brebis des deux zones A et B

A partir de l'étude des paramètres hématologiques il ressort globalement que les valeurs obtenues pour tous les paramètres sont dans les normes physiologiques trouvées dans la bibliographie.

Le nombre de globules rouges, la concentration en hémoglobine et l'hématocrite connaissent une amélioration avec l'avancement de l'âge des agneaux et au contraire ils diminuent avec la progression de la gestation. La comparaison entre les deux zones montre que le nombre de globules rouges et les valeurs de l'hématocrite sont plus élevés dans la zone A que dans la zone B. Pour la concentration en hémoglobine et la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine les valeurs sont supérieures chez les ovins de la zone B. Cependant les différences entre les valeurs des deux zones sont généralement non significatives.

Finalement on peut conclure à partir des résultats obtenus dans les deux zones que les ovins ne sont pas anémiques.

## 3-2 Cuprémies des ovins des deux zones A et B

### 3-2-1 Cuprémies des agneaux

Le tableau 54 indique l'évolution en fonction de l'âge et de la saison de la cuprémie des agneaux de la zone "A". Les cuprémies moyennes de la tranche d'âge "1" sont entre 69.38 et 77.89  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  celles de "2" entre 78.53 et 86.97  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  et enfin celles de "3" entre 79.45 et 90.99  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ . On remarque que les résultats obtenus, pour les trois tranches d'âge sont généralement dans l'intervalle des valeurs normales de la cuprémie chez les ovins citées par *Blood et Henderson (1976)* (70-130  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ), aussi ils sont proches des valeurs de *Beck, 1961 cité par Underwood, (1977)* (80-120  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ) sauf pour la tranche d'âge "1" dont les résultats sont un peu inférieurs.

Le tableau 55 présente l'évolution en fonction de l'âge et de la saison de la cuprémie des agneaux de la zone "B". Les cuprémies moyennes de la tranche d'âge "1" sont entre 72.90 et 81.40  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ , celles de "2" entre 80.77 et 94.58  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  et celles de "3" entre 85.93 et 97.70  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ . Ces résultats sont dans la fourchette citée par *Blood et Henderson, (1976)* (70-130  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ), et aussi ils sont compris dans l'intervalle proposé par *Beck, 1961 cité par Underwood, (1977)* (80-120  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ) et cela pour les trois tranches d'âge.

**\*Selon l'âge****• Pour la zone A :**

La comparaison entre les tranches d'âge montre des valeurs significativement élevées ( $P < 0.05$ ) chez les agneaux de la tranche d'âge "2" par rapport à celles de la tranche d'âge "1" au printemps en été et en automne et il y a même une différence hautement significative ( $P < 0.01$ ) en hiver. Entre les tranches d'âges "1" et "3" les valeurs sont significativement élevées ( $P < 0.05$ ) chez les agneaux de la tranche d'âge "3" par rapport à celles de la tranche d'âge "1" et cela en toutes les saisons.

**• Pour la zone B :**

Les agneaux de la tranche d'âge "2" ont des valeurs de cuprémie significativement élevées ( $P < 0.05$ ) par rapport à celles de la tranche d'âge "1" et cela en toutes les saisons. Pour les agneaux de la tranche d'âge "3" les valeurs de la cuprémie sont significativement élevées ( $P < 0.05$ ) par comparaison avec celles de la tranche d'âge "1" en hiver, au printemps, en été et il y a même une différence hautement significative ( $P < 0.01$ ) en automne.

**Tableau 54 :** Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ ) des agneaux de la zone A

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ )	3 à 4 mois (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ )	4 à 6 mois (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ )
Hiver	69.38 $\pm$ 2.14 <sup>a**</sup>	78.53 $\pm$ 3.01 <sup>c*</sup>	79.45 $\pm$ 7.57 <sup>b*</sup>
Printemps	77.89 $\pm$ 5.76 <sup>c*</sup>	86.63 $\pm$ 7.92 <sup>a*</sup>	90.99 $\pm$ 12.50 <sup>b*c*</sup>
Eté	72.18 $\pm$ 7.14 <sup>a*</sup>	81.44 $\pm$ 3.35	83.30 $\pm$ 6.12 <sup>b*</sup>
Automne	75.83 $\pm$ 3.95 <sup>a* d*</sup>	86.97 $\pm$ 6.45 <sup>d*</sup>	88.19 $\pm$ 12.03 <sup>b*</sup>

\*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$  \*\*\*  $P < 0.001$  a: différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
 b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
 c : différence (Hiver Vs Printemps)  
 d : différence (Hiver Vs Automne)

**Tableau 55** : Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ ) des agneaux de la zone B

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ )	3 à 4 mois (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ )	4 à 6 mois (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ )
Hiver	72.90 $\pm$ 3.13 <sup>a*</sup>	80.77 $\pm$ 6.51	85.93 $\pm$ 9.96 <sup>b*</sup>
Printemps	81.40 $\pm$ 3.73 <sup>a*c**</sup>	94.58 $\pm$ 9.42 <sup>c*</sup>	97.70 $\pm$ 16.01 <sup>b*</sup>
Été	76.33 $\pm$ 4.56 <sup>a*</sup>	85.34 $\pm$ 5.96	88.31 $\pm$ 6.41 <sup>b*</sup>
Automne	80.33 $\pm$ 3.2 <sup>a*d**</sup>	89.25 $\pm$ 6.27	93.80 $\pm$ 5.67 <sup>b**</sup>

\*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$  \*\*\*  $P < 0.001$  a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
 b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
 c : différence (Hiver Vs Printemps)  
 d : différence (Hiver Vs Automne)

A partir des tableaux 54 et 55 on remarque que les cuprémies des agneaux des deux zones A et B connaissent une amélioration continue avec l'âge. Ces résultats sont en accord avec ceux de Maach et al. (2000) qui a suivi l'évolution spontanée de la cuprémie des agneaux en fonction de l'âge, et a trouvé qu'elle augmente avec l'avancement de l'âge de l'agneau. L'augmentation de la cuprémie avec l'âge pourrait être considérée comme une réponse physiologique à l'augmentation accrue des besoins en cuivre du jeune animal suite à une croissance intense (Lamand, 1977). Ainsi durant la croissance les exigences en oligo-éléments des animaux augmentent (Grace et Clark, 1991).

Les agneaux de la tranche d'âge "1" (2 à 3 mois) dans les deux zones A et B ont une cuprémie inférieure à celle des agneaux des autres tranches d'âge "2" et "3". En effet durant la période 1 à 3 mois l'agneau nouveau né reste tributaire de ses réserves accumulées lors de la gestation au sein de sa mère, et du lait maternel (Maach et al. 2000) qui étant physiologiquement pauvre en cuivre : le lait de brebis contient en moyenne seulement 200  $\mu\text{g}/\text{Kg}$  (Flynn et Power, 1985 cité par Grace et Clark, 1991).

A partir de l'âge de 3 à 4 mois les agneaux des deux zones A et B atteignent en moyenne des cuprémies plasmatiques supérieures à la limite de carence indiquée par (Lamand, 1978a) : 70  $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ . Ceci pourrait être lié au fait que les agneaux à cet âge commencent à brouter de l'herbe et donc à se constituer leurs propres réserves en cuivre.

**\*Selon la saison****• Pour la zone A :**

Du tableau 54 on remarque que dans les trois tranches d'âge "1", "2", "3" les valeurs moyennes de la cuprémie au printemps sont significativement élevées ( $P < 0.05$ ) par rapport à celles de l'hiver. Les valeurs moyennes de la cuprémie en automne sont significativement élevées ( $P < 0.05$ ) par comparaison avec celles de l'hiver et cela pour les tranches d'âge "1" et "2".

**• Pour la zone B :**

A partir du tableau 55 on peut constater que la cuprémie moyenne est significativement élevée ( $P < 0.01$ ) au printemps par rapport à celle de l'hiver et cela pour la tranche d'âge "1" et il y a une différence significative ( $P < 0.05$ ) entre les valeurs du printemps et de l'hiver pour les agneaux de la tranche d'âge "2".

La cuprémie moyenne des agneaux de la tranche d'âge "1" est significativement élevée ( $P < 0.01$ ) en automne par comparaison avec celle de l'hiver.

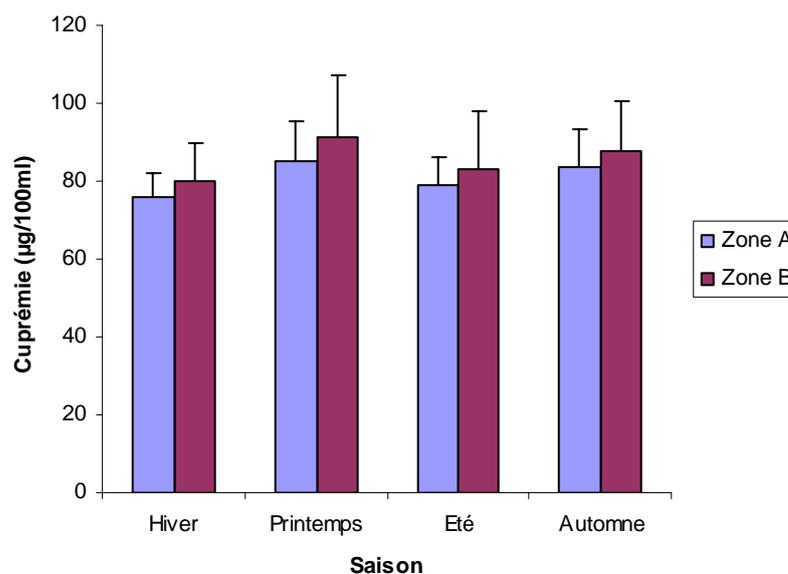
Le fait que les agneaux des deux zones A et B disposent de cuprémies moyennes élevées au printemps et en automne, par rapport à celles de l'hiver et de l'été pourrait être rapporté à l'élévation des teneurs en cuivre des fourrages prélevés des deux zones au printemps et en automne comparativement avec les autres saisons. En effet la composition des végétaux varie avec la saison : les concentrations en oligo-éléments des végétaux s'élèvent avec l'avancement de la saison, ainsi la teneur en cuivre de l'herbe passe de 6 ppm lors du premier pâturage de fin d'hiver à 8 ppm au dernier pâturage d'automne (*Coïc et Tendille, 1971*).

Dans le tableau 56 nous avons présenté l'évolution de la cuprémie des agneaux des zones A et B en fonction de l'âge et de la saison. Nous remarquons d'abord que les agneaux de la zone B disposent de valeurs moyennes de cuprémie constamment supérieures à celles des agneaux de la zone A (figure 21), avec une cuprémie moyenne générale de  $80.89 \pm 8.45 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$  pour la zone A et  $85.55 \pm 9.87 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$  pour la zone B. Le fait que les agneaux de la zone B disposent d'une cuprémie supérieure à celle des agneaux de la zone A pourrait être attribué à la richesse relative en cuivre des fourrages des parcours de la zone B :  $10.11 \text{ mg}/\text{Kg Ms}$  par rapport à ceux de la zone A :  $6.78 \text{ mg}/\text{Kg Ms}$ . Cette différence dans les teneurs en cuivre des fourrages est due aux variations des espèces végétales entre les deux zones, ce qui influe sur le statut minéral des animaux suggérant une différence même si elle est non significative sur le plan statistique, entre les teneurs en cuivre plasmatiques des agneaux des deux sites A et B considérés dans cette étude. En outre, on remarque que les agneaux des tranches "2" et "3" des

deux sites atteignent une moyenne de cuprémie plasmatique supérieure à la limite de carence. Ceci est tout à fait normal pour les agneaux du site B puisque ils broutent de l'herbe dans une zone où la moyenne des teneurs en cuivre de l'alimentation est suffisante pour couvrir les besoins en cet oligo-élément. En revanche, pour les agneaux du site A : comme la moyenne générale des teneurs en cuivre des aliments est inférieure à la limite de carence, les agneaux de cette zone auraient peut être une meilleure rétention du cuivre par rapport à ceux de la zone B, c'est ce qui leur a permis d'avoir une cuprémie supérieure à la limite de carence.

**Tableau 56** : variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ) des agneaux des deux zones A et B

Zone	Age	2 à 3 mois (moyenne $\pm$ écartype)	3 à 4 mois (moyenne $\pm$ écartype)	4 à 6 mois (moyenne $\pm$ écartype)
	Saison	( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ )	( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ )	( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ )
<b>Zone A</b>	Hiver	69.38 $\pm$ 2.14	78.53 $\pm$ 3.01	79.45 $\pm$ 7.57
	Printemps	77.89 $\pm$ 5.76	86.63 $\pm$ 7.92	90.99 $\pm$ 12.50
	Eté	72.18 $\pm$ 7.14	81.44 $\pm$ 3.35	83.30 $\pm$ 6.12
	Automne	75.83 $\pm$ 3.95	86.97 $\pm$ 6.45	88.19 $\pm$ 12.03
<b>Zone B</b>	Hiver	72.90 $\pm$ 6.65	80.77 $\pm$ 7.43	85.93 $\pm$ 11.68
	Printemps	81.40 $\pm$ 13.77	94.58 $\pm$ 16.94	97.70 $\pm$ 16.01
	Eté	76.33 $\pm$ 22.18	85.34 $\pm$ 12.74	88.31 $\pm$ 15.77
	Automne	80.33 $\pm$ 11.33	89.25 $\pm$ 15.33	93.80 $\pm$ 9.44



**Figure 21** : Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu\text{g}/100\text{ml}$ ) des agneaux des deux zones A et B

### 3-2-2 Cuprémies des brebis

Les variations saisonnières de la cuprémie des brebis de la zone A sont regroupées dans le tableau 57. Les cuprémies moyennes saisonnières des brebis en début de gestation sont entre 80.46 et 89.08  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  et celles des brebis en fin de gestation sont entre 67.65 et 73.88  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ . On remarque que les valeurs obtenues chez les brebis en premier stade de gestation sont dans l'intervalle des valeurs normales de *Lamand (1978a)* (80-120  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ) en revanche celles des brebis en deuxième stade de gestation sont un peu inférieures.

Le tableau 58 représente les variations saisonnières de la cuprémie des brebis de la zone B. les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 86.13 et 96.13  $\mu\text{g}/100\text{ml}$  et celles des brebis en fin de gestation entre 70.05 et 76.37  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ . A partir des résultats on peut dire que les cuprémies moyennes saisonnières des brebis en début de gestation restent dans la fourchette des valeurs physiologiques citées par *Beck, 1961 cité par Underwood (1977)* (80-120  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ) tandis que celles des brebis en fin de gestation sont inférieures à ces valeurs.

**Tableau 57 :** Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ) des brebis de la zone A

Saison \ Stade de Gestation	Début de gestation (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ )	Fin de gestation (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ )
Hiver	80.46 $\pm$ 2.77 <sup>a***</sup>	67.65 $\pm$ 1.90
Printemps	89.08 $\pm$ 1.31 <sup>a***b***</sup>	73.88 $\pm$ 4.54 <sup>b*</sup>
Eté	82.88 $\pm$ 1.92 <sup>d***</sup>	71.14 $\pm$ 3.09 <sup>a***</sup>
Automne	88.2 $\pm$ 2.69 <sup>c**e**</sup>	72.67 $\pm$ 6.05 <sup>a***</sup>

\*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$  \*\*\*  $P < 0.001$  a : différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)

b : différence entre (Hiver Vs Printemps)

c : différence (Hiver Vs Automne)

d : différence (printemps Vs été)

e : différence (été Vs automne)

**Tableau 58** : Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ ) des brebis de la zone B

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ )	Fin de gestation (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ )
Hiver	86.13 $\pm$ 1.34 <sup>b***</sup>	70.05 $\pm$ 3.12 <sup>a***</sup>
Printemps	96.13 $\pm$ 1.34 <sup>a***d***</sup>	76.37 $\pm$ 4.96 <sup>b*</sup>
Été	88.81 $\pm$ 1.68 <sup>f*d***</sup>	72.53 $\pm$ 2.3 <sup>a***f*</sup>
Automne	93.66 $\pm$ 2.69 <sup>c**e*</sup>	75.24 $\pm$ 5.01 <sup>a***</sup>

\* P<0.05 \*\* P<0.01 \*\*\* P<0.001 a : différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)

b : différence entre (Hiver Vs Printemps)

c : différence (Hiver Vs Automne)

d : différence (printemps Vs été)

e : différence (été Vs automne)

f : différence (hiver Vs été)

#### \*Selon le stade de gestation

##### • Pour la zone A :

La comparaison entre les deux stades de gestation (tableau 57) montre des valeurs significativement élevées (P<0.001) chez les brebis en début de gestation par rapport à celles en fin de gestation et cela dans les quatre saisons.

##### • Pour la zone B :

A partir des résultats du tableau 58 on remarque qu'il y a une différence très significative (P<0.001) entre les cuprémies des deux classes de brebis avec des valeurs supérieures chez les brebis en début de gestation et cela en toutes les saisons.

On remarque à partir des tableaux 57 et 58 que les cuprémies moyennes saisonnières des brebis en début de gestation dans les deux zones A et B sont supérieures à celles des brebis en fin de gestation. En effet le stade physiologique de l'animal influe sur le statut cuprique (*Ahmed e al. 2001*). Ainsi les concentrations élevées en cuivre obtenues chez les brebis en début de gestation comparativement à celles des brebis en fin de gestation sont associées à l'élévation du taux d'une enzyme la "céruloplasmine" en réponse à l'augmentation des œstrogènes (*U.S. Environmental Protection Agency, 1980 ; Alebic-Juretic et Frkovic, 2005*).

Les cuprémies moyennes saisonnières des brebis en deuxième stade de gestation sont inférieures à celles des brebis en premier stade de gestation, mais ces valeurs basses restent généralement supérieures à la limite de carence. En effet la cuprémie décroît lors de la gestation (*Paragon, 1984*) et cela pourrait être dû à l'augmentation des besoins en cuivre durant cette période (*Gooneratne et al., 1989*) puisque le stade physiologique de l'animal impose les différentes demandes en éléments minéraux (*Ahmed et al. 2001*). Durant la gestation la concentration du cuivre augmente progressivement dans le foie du fœtus chez les bovins et ovins et diminue dans le foie de la mère (*Gooneratne et al., 1989*), et comme la concentration du cuivre sanguin dépend de la quantité de 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 (*Lamand, 1977 ; Shen et al., 2005*).

**\*Selon la saison**

**• Pour la zone A :**

Le premier stade de gestation :

La cuprémie moyenne des brebis en hiver est significativement basse ( $P < 0.001$ ) par rapport à celle du printemps et entre l'hiver et l'automne la différence est hautement significative ( $P < 0.01$ ). En été la cuprémie est significativement basse à ( $P < 0.001$ ) par rapport à celle du printemps et à ( $P < 0.01$ ) comparativement à celle de l'automne.

Le deuxième stade de gestation :

La cuprémie moyenne du printemps est supérieure à celle de l'hiver, et la différence est significative ( $P < 0.05$ ).

**• Pour la zone B :**

\*Le premier stade de gestation :

La cuprémie moyenne des brebis au printemps est significativement élevée ( $P < 0.001$ ) par rapport à celle de l'hiver et de l'été. En automne la cuprémie moyenne est significativement élevée ( $P < 0.01$ ) par rapport à celle de l'hiver et la différence est significative ( $P < 0.05$ ) par comparaison avec celles de l'été. La cuprémie moyenne en été est supérieure à celle de l'hiver et la différence est significative ( $P < 0.05$ ).

\*Le deuxième stade de gestation :

La cuprémie moyenne en hiver est basse par rapport à celle du printemps et de l'été et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ).

En comparant les cuprémies moyennes saisonnières on trouve que généralement dans les zones A et B les valeurs sont plus élevées au printemps et en automne qu'en été et en hiver. Ces variations peuvent être liées à l'alimentation c'est-à-dire aux "apports" puisque

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*). Donc on pourrait dire que les cuprémies des brebis étudiées sont en relation avec les teneurs en cuivre des aliments consommés, puisque les teneurs en cuivre les plus élevées des fourrages récoltés à partir des deux zones sont également obtenus au printemps pour la zone B et en automne pour la zone A même si il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les teneurs saisonnières générales des fourrages.

L'évolution en fonction du stade de gestation et de la saison de la cuprémie des brebis des deux zones A et B est consigné dans le tableau 59. On observant les cuprémies on constate que celles des brebis de la zone B sont constamment supérieures à celles de la zone A (figure 22) mais les différences sont significatives seulement pour les brebis en début de gestation et le degré de signification est le suivant : significatif en automne ( $P < 0.05$ ), hautement significatif en hiver et en été ( $P < 0.01$ ) et très significatif au printemps ( $P < 0.001$ ).

Le fait que les brebis de la zone B disposent d'une cuprémie supérieure à celle des brebis de la zone A pourrait être lié à la richesse relative en cuivre des fourrages des parcours de la zone B et cette différence des teneurs en cuivre des fourrages est due probablement aux variations des espèces végétales entre les deux zones. En effet le taux de cuivre consommé sur un pâturage varie considérablement et dépend des espèces végétales présentes et de la saison (*Meziane, 2001*) et comme conséquence à ces variations il y a différence entre les teneurs en cuivre plasmatiques des brebis des deux zones A et B.

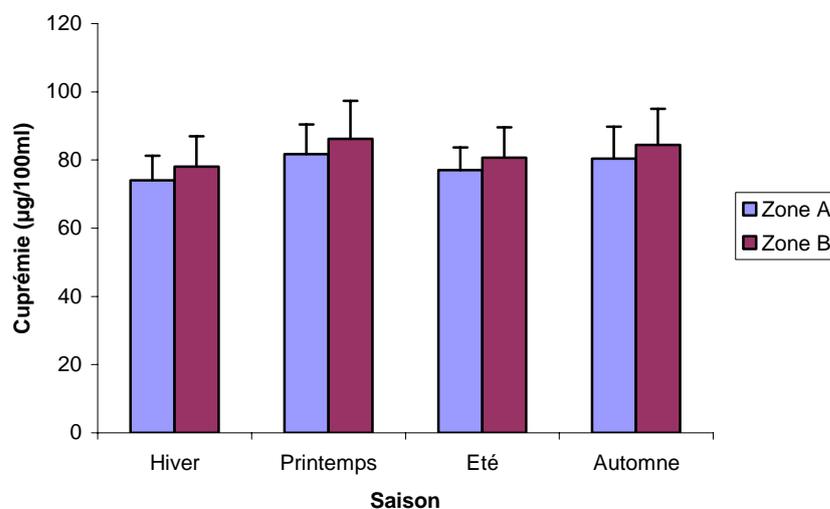
Les cuprémies moyennes générales sont  $78.24 \pm 8.09 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$  et  $82.36 \pm 9.79 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$  respectivement dans les zones A et B. Ces deux valeurs sont supérieures à la limite de carence mais restent faibles pour des femelles en période de gestation. Ceci pourrait 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 loin d'enrichir le fourrage diminue proportionnellement la digestibilité de ceux apportés par la plante (*Lamand, 1978a*). 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*). En outre, la présence de certaines substances qui interfèrent avec le cuivre et pouvant diminuer sa disponibilité (*Riffard, 1988*) ainsi que son passage dans la circulation sanguine (*Quiroz-Rocha et Bouda, 2001*). Certains minéraux en excès limitent l'absorption du cuivre comme le calcium, le soufre et le cadmium, d'autres empêchent sa bioutilisation ex : cobalt, molybdène (*Riffard, 1988*). Ces facteurs sont ajoutés à la faible teneur en cuivre des fourrages de la zone A ( $6.78$

mg/ Kg Ms) qui est au dessous de la limite de carence, et en absence d'apports supplémentaires en cuivre surtout dans ce stade physiologique critique, il y a une baisse des cuprémies des brebis de la zone A et cela est en accord avec *Gengelbach al. (1994)* et qui a trouvé que lors de la gestation et en absence de supplémentation, il y a une baisse rapide du taux de cuivre plasmatique ainsi que l'activité de la ceruloplasmine chez des génisses.

**Tableau 59 :** Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ) des brebis des deux zones A et B

Zone	Stade de gestation	Début de gestation (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ )	Fin de gestation (moyenne $\pm$ écartype) ( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ )
	Saison		
<b>Zone A</b>	Hiver	80.46 $\pm$ 2.77	67.65 $\pm$ 1.90
	Printemps	89.08 $\pm$ 1.31	73.88 $\pm$ 4.54
	Eté	82.88 $\pm$ 1.92	71.14 $\pm$ 3.09
	Automne	88.20 $\pm$ 2.69	72.67 $\pm$ 6.05
<b>Zone B</b>	Hiver	86.13 $\pm$ 1.34 <sup>**</sup>	70.05 $\pm$ 3.12
	Printemps	96.13 $\pm$ 1.34 <sup>***</sup>	76.37 $\pm$ 4.96
	Eté	88.81 $\pm$ 1.68 <sup>**</sup>	72.53 $\pm$ 2.34
	Automne	93.66 $\pm$ 2.69 <sup>*</sup>	75.24 $\pm$ 5.01

\* P<0.05 \*\* P<0.01 \*\*\* P<0.001



**Figure 22 :** Variations saisonnières de la cuprémie ( $\mu\text{g}/100\text{ml}$ ) des brebis des deux zones A et B

### 3-3 Teneurs en cuivre et zinc dans la laine des ovins des deux zones A et B

Les phanères présentent l'avantage d'une conservation exceptionnelle 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 du cheveu (poil ou 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 cuprique des ovins en complément des analyses de sang et des aliments des mêmes animaux, on a évalué également la teneur en zinc dans la laine. Les échantillons de laine avant d'être analysés sont lavés afin d'éliminer la partie contaminante d'origine externe et de garder uniquement la fraction d'origine interne.

#### 3-3-1 Teneurs en cuivre

##### 3-3-1-1 Teneurs en cuivre dans la laine des agneaux

Le tableau 60 indique l'évolution en fonction de l'âge et de la saison des teneurs en cuivre dans la laine des agneaux de la zone A. Les teneurs moyennes chez les agneaux de la tranche d'âge "1" sont comprises entre 5.96 et 6.52 ppm, celles de "2" entre 7.91 et 9.05 ppm, et enfin celles de "3" entre 8.08 et 9.56 ppm.

On remarque que les résultats obtenus pour les deux tranches d'âge "2" et "3" sont généralement dans l'intervalle physiologique proposé par *Lamand (1978a)* pour le cuivre dans les phanères et qui est situé entre 8 et 15 ppm aussi ils se situent dans la fourchette (8.3 – 13.3 ppm) proposée par *Cunningham et Hogan (1958) cité par Solaiman et al. (2001)*. Pour les agneaux de la tranche d'âge "1" les résultats sont au dessous des valeurs physiologiques proposées par les auteurs suscités.

L'évolution des teneurs en cuivre dans la laine des agneaux de la zone B en fonction de l'âge et de la saison est présentée dans le tableau (61). Les valeurs moyennes obtenues chez les agneaux de la tranche d'âge "1" sont entre 6.15 et 6.73 ppm, celles de "2" entre 8.23 et 9.32 ppm et enfin celles de "3" entre 8.98 et 9.68 ppm. Ces résultats montrent que les valeurs obtenues chez les agneaux des tranches d'âge "2" et "3" sont dans les intervalles physiologiques rapportés par *Lamand (1978a) et Cunningham et Hogan (1958) cité par Solaiman et al. (2001)* qui sont respectivement de 8 à 15 ppm et de 8.3 à 13.3 ppm. En revanche les valeurs des agneaux de la tranche d'âge "1" sont inférieures aux intervalles.

**Tableau 60** : Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des agneaux de la zone A

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (ppm)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (ppm)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (ppm)
Hiver	5.96 ± 2.05	8.82 ± 1.25 <sup>a*</sup>	9.54 ± 1.67 <sup>b*</sup>
Printemps	6.01 ± 1.89	7.91 ± 1.44	8.08 ± 0.62 <sup>b*</sup>
Eté	6.52 ± 1.35	9.05 ± 1.55 <sup>a*</sup>	9.56 ± 1.53 <sup>b*</sup>
Automne	6.24 ± 1.28	8.45 ± 2.31	9.09 ± 1.75 <sup>b*</sup>

\* P<0.05 a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)

b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)

**Tableau 61** : Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des agneaux de la zone B

Age \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (ppm)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (ppm)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (ppm)
Hiver	6.73 ± 1.46	9.32 ± 0.83 <sup>a*</sup>	9.68 ± 1.59 <sup>b*</sup>
Printemps	6.69 ± 1.69	8.23 ± 1.29	8.98 ± 1.75
Eté	6.15 ± 1.60	9.12 ± 0.78 <sup>a**</sup>	9.62 ± 1.08 <sup>b**</sup>
Automne	6.59 ± 0.99	9.17 ± 0.58 <sup>a**</sup>	9.43 ± 1.41 <sup>b**</sup>

\* P<0.05 \*\* P<0.01 a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)

b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)

#### \*Selon l'âge

##### •Pour la zone A :

Du tableau 60 il ressort que la teneur moyenne en cuivre dans la laine des agneaux de la tranche d'âge "2" est élevée par rapport à celle des agneaux de la tranche d'âge "1" et les différences sont significatives (P< 0.05) en hiver et en été. Entre les tranches d'âge "1" et "3" les valeurs sont élevées chez les agneaux de la tranche d'âge "3" et les différences sont significatives (P<0.05) au cours des quatre saisons.

**• Pour la zone B :**

Le tableau 61 nous montre que les agneaux de la tranche d'âge "2" ont des teneurs en cuivre dans la laine plus élevées par comparaison avec celles des agneaux de la tranche d'âge "1" et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) en hiver et hautement significatives ( $P < 0.01$ ) en été et en automne. Les agneaux de la tranche d'âge "3" ont des teneurs supérieures à celles des agneaux de la tranche d'âge "1", et les différences sont significatives ( $P < 0.05$ ) en hiver et hautement significatives ( $P < 0.01$ ) en été et en automne.

A partir des résultats rapportés dans les tableaux 60 et 61 on remarque que les teneurs en cuivre dans la laine des agneaux des deux zones A et B connaissent une amélioration continue avec l'âge. Ceci pourrait être lié à l'augmentation accrue des besoins en cuivre du jeune animal suite à une croissance intense (*Lamand, 1977*).

Les agneaux de la tranche d'âge "1" (2 à 3 mois) dans les deux zones A et B ont des teneurs en cuivre dans la laine un peu basse par rapport à celles des tranches d'âge "2" et "3". Cela peut être dû au fait que les agneaux à cet âge restent dépendant de deux sources de cuivre : les réserves accumulées lors de la gestation au sein de leur mère et le lait maternel (*Maach et al., 2000*). A partir de l'âge 3 à 4 mois les teneurs en cuivre dans la laine des agneaux des deux zones sont supérieures à la limite de carence proposée par *Lamand (1978a)* : 7 ppm. Ceci peut être attribué au fait que les agneaux commencent à constituer leurs propres réserves en cuivre en broutant de l'herbe.

**\*Selon la saison**

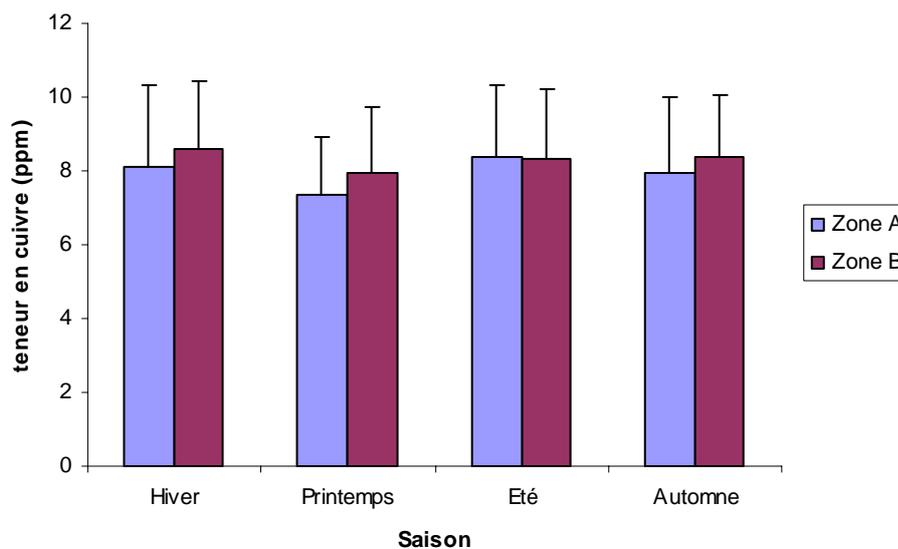
Il n'y a pas de différence significative entre les valeurs des quatre saisons et cela pour les deux zones A et B.

Les résultats de la cuprémie des agneaux des deux zones A et B discutés précédemment sont élevés au printemps et en automne suivant ainsi les teneurs en cuivre des fourrages qui étaient également élevées en ces deux saisons. En revanche ce n'est pas le cas pour les teneurs en cuivre de la laine qui apparaissent indépendantes de celles des fourrages puisque les valeurs maximales ont été obtenues en été et en hiver pour la zone A, en hiver et en automne pour la zone B. Cela pourrait être rapporté au fait que la croissance continue du poil ou de la laine permet de retracer l'histoire de l'exposition individuelle et permettant ainsi d'établir le profil de consommation à long terme alors que les analyses de sang sont valables que pour un temps très court (*Lamand et al., 1990*).

Le tableau 62 représente les variations des teneurs en cuivre dans la laine des agneaux des zones A et B en fonction de l'âge et de la saison. On observant les résultats, on remarque que les teneurs obtenues chez les agneaux de la zone B sont constamment supérieures à celles des agneaux de la zone A sauf en été (figure23) mais la différence entre les valeurs est non significative. La teneur moyenne générale de la zone A est de  $7.94 \pm 1.62$  ppm alors que celle de la zone B est de  $8.32 \pm 1.46$  ppm. Le fait que les agneaux de la zone B disposent de teneurs en cuivre dans la laine supérieures à celles des agneaux de la zone A pourrait être rapporté à la richesse relative en cuivre des fourrages des parcours de la zone B par rapport à ceux de la zone A. En effet la composition du cheveu (poil ou laine) est supposée être le reflet du statut minéral en une longue période (*Lamand et al., 1990* ). Ainsi les teneurs en cuivre déterminées dans la laine nous donnent une idée générale sur les suffisances ou non des apports en cuivre tout au long de la pousse de la laine.

**Tableau 62** : Variations saisonnières de la teneur en cuivre dans la laine (ppm) des agneaux des deux zones A et B

Zone	Age	2 à 3 mois	3 à 4 mois	4 à 6 mois
	Saison	(moyenne±écartype) (ppm)	(moyenne±écartype) (ppm)	(moyenne±écartype) (ppm)
<b>Zone A</b>	Hiver	$5.96 \pm 2.05$	$8.82 \pm 1.25$	$9.54 \pm 1.67$
	Printemps	$6.01 \pm 1.89$	$7.91 \pm 1.44$	$8.08 \pm 0.62$
	Eté	$6.52 \pm 1.35$	$9.05 \pm 1.55$	$9.56 \pm 1.53$
	Automne	$6.24 \pm 1.28$	$8.45 \pm 2.31$	$9.09 \pm 1.75$
<b>Zone B</b>	Hiver	$6.73 \pm 1.46$	$9.32 \pm 0.83$	$9.68 \pm 1.59$
	Printemps	$6.69 \pm 1.69$	$8.23 \pm 1.29$	$8.98 \pm 1.75$
	Eté	$6.15 \pm 1.60$	$9.12 \pm 0.78$	$9.62 \pm 1.08$
	Automne	$6.59 \pm 0.99$	$9.17 \pm 0.58$	$9.43 \pm 1.41$



**Figure 23 :** Variations saisonnières de la teneur en cuivre dans la laine (ppm) des agneaux des deux zones A et B

### 3-3-1-2 Teneurs en cuivre dans la laine des Brebis

Les variations saisonnières des teneurs en cuivre dans la laine des brebis de la zone A sont présentées dans le tableau 63. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 8.45 et 9.30 ppm alors que celles des brebis en fin de gestation sont entre 7.99 et 8.59 ppm.

Le tableau 64 indique les variations saisonnières des teneurs en cuivre de la laine des brebis de la zone B. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 8.64 et 9.62 ppm et celles des brebis en fin de gestation sont entre 7.76 et 8.97 ppm.

L'intervalle physiologique proposé par *Lamand (1978a)* pour le cuivre dans les phanères se situe entre 8 et 15 ppm. Alors que pour *Martin et Aitken (1991)* les teneurs adéquate en cuivre dans la laine sont entre 2.8 et 10 ppm. Nos résultats montrent que les valeurs des brebis dans les deux stades de gestation et dans les deux zones A et B restent globalement dans les intervalles proposés par les auteurs suscités.

**Tableau 63 :** Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des brebis de la zone A

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) (ppm)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (ppm)
Hiver	9.12 ± 1.66	8.38 ± 1.41
Printemps	8.50 ± 1.34	8.18 ± 0.51
Eté	9.30 ± 1.15	8.59 ± 1.10
Automne	8.45 ± 0.50	7.99 ± 1.03

**Tableau 64 :** Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des brebis de la zone B

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) (ppm)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (ppm)
Hiver	8.64 ± 1.12	8.41 ± 1.01
Printemps	9.25 ± 0.57 <sup>a**</sup>	7.76 ± 0.60
Eté	9.62 ± 0.53	8.97 ± 0.98 <sup>b*</sup>
Automne	9.07 ± 0.98	8.22 ± 1.15

\* P<0.05 \*\* P<0.01 a : différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)  
b : différence (printemps Vs été)

**\*Selon le stade de gestation**

**• Pour la zone A :**

La comparaison entre les deux stades de gestation montre des valeurs légèrement supérieures chez les brebis en début de gestation mais sans différence statistiquement significative.

**• Pour la zone B :**

A partir des résultats présentés dans le tableau 64 on remarque que les valeurs obtenues pour les brebis du premier stade de gestation sont un peu élevées par rapport à celles du deuxième stade, et la différence n'est significative (P<0.01) qu'au printemps.

On remarque à partir des tableaux 63, 64 que les teneurs moyennes saisonnières en cuivre dans la laine des brebis en début de gestation sont légèrement supérieures à celles des brebis en

fin de gestation, cependant cette différence entre ces deux classes de brebis n'est significative que dans la zone B et seulement en une saison. Les valeurs un peu basses des brebis en deuxième stade de gestation sont peut être dues à l'utilisation du cuivre pour satisfaire les besoins accrus du fœtus en particulier au deuxième stade de gestation. 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*).

#### **\*Selon la saison**

##### **• Pour la zone A :**

Entre les valeurs saisonnières et dans les deux stades de gestation il n'y a pas de différence significative.

##### **• Pour la zone B :**

Chez les brebis en deuxième stade de gestation, la teneur moyenne du cuivre dans la laine en été est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle du printemps.

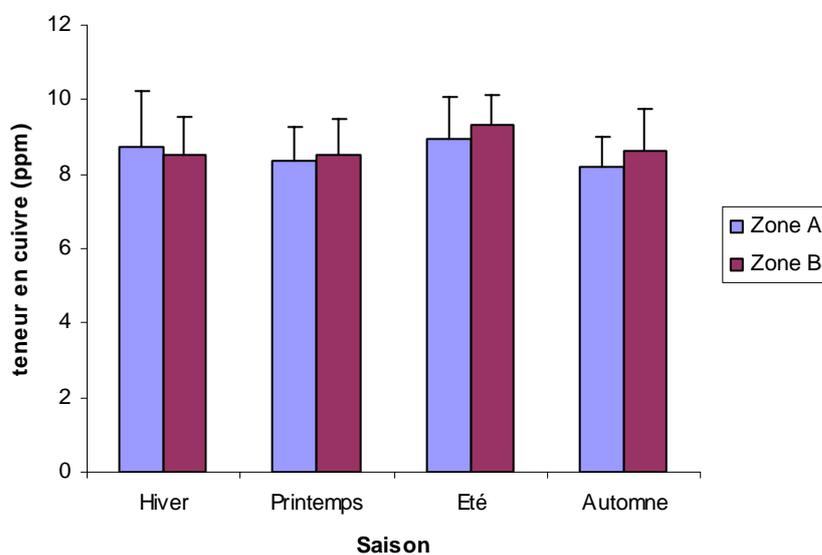
On observant les résultats dans les tableaux 63 et 64 ainsi que la figure (24), on trouve que dans chacune des deux zones A et B les valeurs sont plus élevées en hiver et en été. Cela ne signifie pas que les apports cupriques de l'animal sont supérieurs en hiver et en été par rapport à ceux de l'automne et du printemps, puisque les teneurs moyennes en cuivre des fourrages obtenues dans cette étude sont un peu plus élevées au printemps et en automne. Par contre les mêmes résultats reflètent probablement le profil de consommation de l'animal tout au long de la période de pousse de la laine qui inclue même les saisons précédentes. 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 accumulé les métaux durant de longues périodes (*ASTDR, 2001*) il permet de retracer l'histoire de l'exposition (*Goullé et kintz, 1996*).

A partir du tableau 65 on constate que les teneurs en cuivre dans la laine des brebis de la zone B sont supérieures à celles de la zone A au printemps, en été et en automne et le contraire pour l'hiver (figure 24) mais sans différences statistiquement significatives entre les valeurs. Les teneurs moyennes générales sont de  $8.67 \pm 0.67$  ppm pour les brebis de la zone A et  $8.74 \pm 0.72$  ppm pour celles de la zone B.

Le fait que les teneurs en cuivre dans la laine des brebis de la zone B sont légèrement supérieures à celles des brebis de la zone A pourrait être lié à l'élévation des apports en cuivre des brebis de la zone B par rapport à ceux des brebis de la zone A puisque les fourrages récoltés de la zone B sont relativement plus riches en cuivre que ceux de la zone A.

**Tableau 65 :** Variations saisonnières de la teneur en cuivre de la laine (ppm) des brebis des deux zones A et B

Zone	Stade de gestation	Début de gestation (moyenne±écartype) (ppm)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (ppm)
	Saison		
<b>Zone A</b>	Hiver	9.12 ± 1.66	8.38 ± 1.41
	Printemps	8.50 ± 1.34	8.18 ± 0.51
	Eté	9.30 ± 1.15	8.59 ± 1.10
	Automne	8.45 ± 0.50	7.99 ± 1.03
<b>Zone B</b>	Hiver	8.64 ± 1.12	8.41 ± 1.01
	Printemps	9.25 ± 0.57	7.76 ± 0.60
	Eté	9.62 ± 0.53	8.97 ± 0.98
	Automne	9.07 ± 0.98	8.22 ± 1.15



**Figure 24 :** Variations saisonnières de la teneur en cuivre dans la laine (ppm) des brebis des deux zones A et B

### 3-3-2 Teneurs en zinc

#### 3-3-2-1 Teneurs en zinc dans la laine des agneaux

Le tableau (66) présente les variations en fonction de l'âge et de la saison des teneurs en zinc dans la laine des agneaux de la zone A. Les teneurs moyennes chez les agneaux de la tranche d'âge 1 sont entre 72.88 et 77.03 ppm, celles de 2 sont comprises entre 90.93 et 99.95 ppm, et enfin celles de 3 entre 94 et 100.76 ppm. Ces résultats montrent que les valeurs obtenues chez les agneaux des trois tranches d'âge sont inférieures à l'intervalle physiologique proposé par Lamand (1978a) pour le zinc dans les phanères et qui se situe entre 120 et 200 ppm

Les variations en fonction de l'âge et de la saison des teneurs en zinc dans la laine des agneaux de la zone B sont indiquées dans le tableau 67. Les teneurs moyennes chez les agneaux de la tranche d'âge 1 sont entre 73.47 et 82.27 ppm, celles de 2 entre 92.83 et 101.99 ppm et enfin celles de 3 entre 94.43 et 102.68 ppm. On remarque que les résultats obtenues pour les agneaux des trois tranches d'âge se situent au dessous de l'intervalle physiologique rapporté par Lamand (1978a) : 120 à 200 ppm.

**Tableau 66 :** Variations saisonnières de la teneur en zinc de la laine (ppm) des agneaux de la zone A

Âge \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (ppm)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (ppm)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (ppm)
Hiver	77.03 ± 4.9	99.95 ± 1.91 <sup>a***c*</sup>	99.37 ± 3.78 <sup>b***</sup>
Printemps	74.83 ± 6.39	90.93 ± 7.97 <sup>a**</sup>	94.27 ± 10.17 <sup>b**</sup>
Été	71.58 ± 2.74	98.34 ± 4.37 <sup>a***</sup>	100.76 ± 3.26 <sup>b***</sup>
Automne	72.88 ± 2.93	91.81 ± 8.28 <sup>a**</sup>	94.00 ± 9.44 <sup>b**</sup>

\* P<0.05 \*\* P<0.01 \*\*\* P<0.001 a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
c : différence (Hiver Vs Printemps)

**Tableau 67** : Variations saisonnières de la teneur en zinc de la laine (ppm) des agneaux de la zone B

Âge \ Saison	2 à 3 mois (moyenne±écartype) (ppm)	3 à 4 mois (moyenne±écartype) (ppm)	4 à 6 mois (moyenne±écartype) (ppm)
Hiver	82.27 ± 10.78	101.99 ± 3.74 <sup>a**</sup>	102.68 ± 4.34 <sup>b**</sup>
Printemps	73.47 ± 3.07	92.83 ± 7.43 <sup>a**d*</sup>	94.43 ± 8.23 <sup>b**</sup>
Été	78.73 ± 1.99 <sup>c*</sup>	100.37 ± 5.66 <sup>a***</sup>	96.49 ± 8.24 <sup>b**</sup>
Automne	74.59 ± 8.54	93.51 ± 9.10 <sup>a*</sup>	101.35 ± 6.21 <sup>b**</sup>

\* P<0.05 \*\* P<0.01 \*\*\* P<0.001 a : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 3 à 4 mois)  
b : différence entre les agneaux (2 à 3 mois Vs 4 à 6 mois)  
c : différence (Printemps Vs Été)  
d : différence (Printemps Vs Hiver)

#### \*Selon l'âge

##### • Pour la zone A :

Le tableau 66 nous montre que les agneaux de la tranche d'âge "2" ont des teneurs en zinc dans la laine plus élevées par comparaison avec celles des agneaux de la tranche d'âge "1" et les différences sont hautement significatives (P<0.01) au printemps, et en automne et très significatives (P< 0.001) en hiver et en été. Les agneaux de la tranche d'âge "3" ont des teneurs supérieures à celles des agneaux de la tranche d'âge "1", et les différences sont hautement significatives (P<0.01) au printemps et en automne, et très significatives (P<0.001) en hiver et en été.

##### • Pour la zone B :

Du tableau 67 il ressort que la teneur moyenne en zinc dans la laine des agneaux de la tranche d'âge "2" est élevée par rapport à celle des agneaux de la tranche d'âge "1" et les différences sont significatives (P<0.05) en automne, hautement significatives (P<0.01) en hiver et au printemps et très significatives (P<0.001) en été. Entre les tranches d'âge "1" et "3" les valeurs sont élevées chez les agneaux de la tranche d'âge "3" et les différences sont hautement significatives (P< 0.01) dans les quatre saisons.

A partir des tableaux 66 et 67, on remarque que les teneurs en zinc dans la laine des agneaux des deux zones A et B sont généralement en amélioration continue avec l'évolution de

l'âge. Et ce n'est pas le cas pour les agneaux de la troisième tranche d'âge de la zone A en hiver qui ont des valeurs légèrement inférieures à celles des agneaux de la tranche d'âge "2", la même chose en été pour les agneaux de la zone B mais il faut noter que les différences ne sont pas significatives sur le plan statistique. L'amélioration des teneurs en zinc dans la laine des agneaux avec l'âge pourrait être due aux mêmes raisons évoquées pour l'amélioration des teneurs en cuivre dans la laine avec l'avancement de l'âge à savoir la croissance continue des jeunes animaux ainsi qu'à leur passage d'une vie dépendante de la mère à une vie libre sur pâturage.

**\*Selon la saison :**

**• Pour la zone A :**

A partir du tableau 66 on peut voir que la teneur moyenne en zinc dans la laine des agneaux de la tranche d'âge "2" est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) en hiver par rapport à celle du printemps.

**• Pour la zone B :**

Du tableau 67 on note que dans la première tranche d'âge la valeur moyenne des teneurs en zinc dans la laine en été est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle du printemps. Pour la tranche d'âge "2" la valeur est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) en hiver par rapport à celle du printemps.

En général on remarque que les teneurs en zinc dans la laine des agneaux des deux zones A et B sont plus élevées en hiver et en été par rapport au printemps et à l'automne.

Le tableau 68 représente les variations des teneurs en zinc dans la laine des agneaux des zones A et B en fonction de l'âge et de la saison. On observant les résultats, on remarque que les teneurs moyennes générales obtenues chaque saison chez les agneaux de la zone B sont légèrement supérieures à celles des agneaux de la zone A (figure 25). Mais la différence est significative ( $P < 0.01$ ) seulement pour les agneaux de la première tranche d'âge en été. La teneur moyenne générale en zinc dans la laine des agneaux de la zone A est de 88.81 ppm alors que celle de la zone B est de 91.06 ppm. Cette élévation des teneurs chez les agneaux de la zone B même légère pourrait être rapportée à la richesse relative en zinc des fourrages de cette zone par rapport à ceux de la zone A.

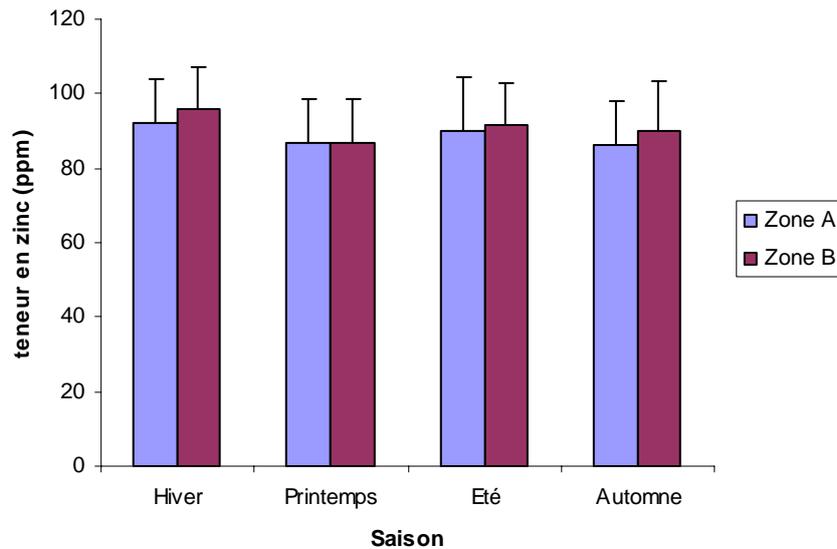
On remarque que les valeurs du zinc dans les deux zones sont inférieures à l'intervalle physiologique proposé par *Lamand (1978a)* : 120 à 200 ppm. Ce fait peut être dû à une carence

en zinc dans l'alimentation. En effet les valeurs moyennes générales des teneurs en zinc dans les aliments des ovins des deux zones A et B sont au dessous de la limite de carence pour les animaux qui est de 45 mg/Kg Ms (*Lamand, 1978a*) et les valeurs sont respectivement  $31.20 \pm 8.74$  mg/Kg Ms et  $37.30 \pm 13.30$  mg/Kg Ms dans la zone A et B. Il faut noter que ces deux valeurs représentent une moyenne générale de la teneur en zinc de la majorité des aliments consommés par les animaux dans chacune des deux zones, cependant les fourrages inclus ne sont pas tous carencés. De ce fait on peut dire aussi que la carence est peut être due à d'autres facteurs comme les différents types d'interactions entre les éléments minéraux, exemple l'inhibition de l'absorption intestinale du zinc par le fer ou par le cuivre (*Solomonos et al., 1983*) ou encore 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*).

**Tableau 68** : Variations saisonnières de la teneur en zinc dans la laine (ppm) des agneaux des deux zones A et B

Zone	Age	2 à 3 mois	3 à 4 mois	4 à 6 mois
	Saison	(moyenne±écarty) (ppm)	(moyenne±écarte) (ppm)	(moyenne±écartye) (ppm)
<b>Zone A</b>	Hiver	77.03 ± 4.9	99.95 ± 1.91	99.37 ± 3.78
	Printemps	74.83 ± 6.39	90.93 ± 7.97	94.27 ± 10.17
	Eté	71.58 ± 2.74	98.34 ± 4.37	100.76 ± 3.26
	Automne	72.88 ± 2.93	91.81 ± 8.28	94.00 ± 9.44
<b>Zone B</b>	Hiver	82.27 ± 10.78	101.99 ± 3.74	102.68 ± 4.34
	Printemps	73.47 ± 3.07	92.83 ± 7.43	94.43 ± 8.23
	Eté	78.73 ± 1.99**	100.37 ± 5.66	96.49 ± 8.24
	Automne	74.59 ± 8.54	93.51 ± 9.10	101.35 ± 6.21

\*\* P<0.01



**Figure 25 :** Variations saisonnières de la teneur en zinc dans la laine (ppm) des agneaux des deux zones A et B

### 3-3-2-2 Teneurs en zinc dans la laine des brebis :

Les variations saisonnières des teneurs en zinc dans la laine des brebis de la zone A sont présentées dans le tableau 69. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 93.06 et 105.28 ppm et celles des brebis en fin de gestation sont entre 90.01 et 95.54 ppm.

Le tableau 70 indique les variations saisonnières des teneurs en zinc de la laine des brebis de la zone B. Les valeurs obtenues pour les brebis en début de gestation sont entre 99.53 et 111.29 ppm et celles des brebis en fin de gestation sont entre 93.23 et 97.33 ppm.

L'intervalle physiologique proposé par *Lamand (1978a)* pour le zinc dans les phanères se situe entre 120 et 200 ppm. Nos résultats montrent que les valeurs des brebis dans les deux stades de gestation et dans les deux zones A et B sont inférieures à cet intervalle.

**Tableau 69** : Variations saisonnières de la teneur en zinc de la laine (ppm) des brebis de zone A

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) (ppm)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (ppm)
Hiver	99.07 ± 9.19	95.54 ± 4.59
Printemps	93.22 ± 7.96	93.90 ± 9.47
Eté	105.28 ± 9.89 <sup>a*</sup>	89.32 ± 7.08
Automne	93.06 ± 3.89 <sup>b*</sup>	90.01 ± 4.26

\* P<0.05 a: différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)  
b: différence (été Vs automne )

**Tableau 70** : Variations saisonnières de la teneur en zinc de la laine (ppm) des brebis de la zone B

Stade de gestation Saison	Début de gestation (moyenne±écartype) (ppm)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (ppm)
Hiver	99.53 ± 16.03	94.78 ± 6.94
Printemps	102.79 ± 12.93	93.23 ± 10.21
Eté	111.29 ± 9.06 <sup>a*</sup>	97.33 ± 7.21
Automne	100.15 ± 11.16	94.45 ± 13.54

\* P<0.05 a: différence entre les brebis (début de gestation Vs fin de gestation)

#### \*Selon le stade de gestation

##### • Pour la zone A :

La comparaison entre les deux stades de gestation montre des valeurs légèrement supérieures chez les brebis en début de gestation sauf au printemps, et la différence est significative (P<0.05) seulement en été (tableau 69).

##### • Pour la zone B :

A partir des résultats présentés dans le tableau 70, on remarque que les valeurs obtenues pour les brebis du premier stade de gestation sont un peu élevées par rapport à celles du deuxième stade, mais la différence est significative seulement en été et le degré de signification est (P<0.05).

On remarque à partir des tableaux 69, 70 que dans les deux zones A et B les teneurs en zinc dans la laine 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 zinc et en autres minéraux pour satisfaire les besoins de ou des fœtus durant cette période critique. En effet le stade physiologique de l'animal impose les différentes demandes en éléments minéraux (*Ahmed et al., 2001*).

**\*Selon la saison**

**• Pour la zone A :**

Le premier stade de gestation :

La teneur moyenne en zinc dans la laine des brebis en été est significativement élevée ( $P < 0.05$ ) par rapport à celle de l'automne.

Le deuxième stade de gestation :

Il n'y a aucune différence significative entre les différentes valeurs du zinc dans la laine entre les quatre saisons

**• Pour la zone B :**

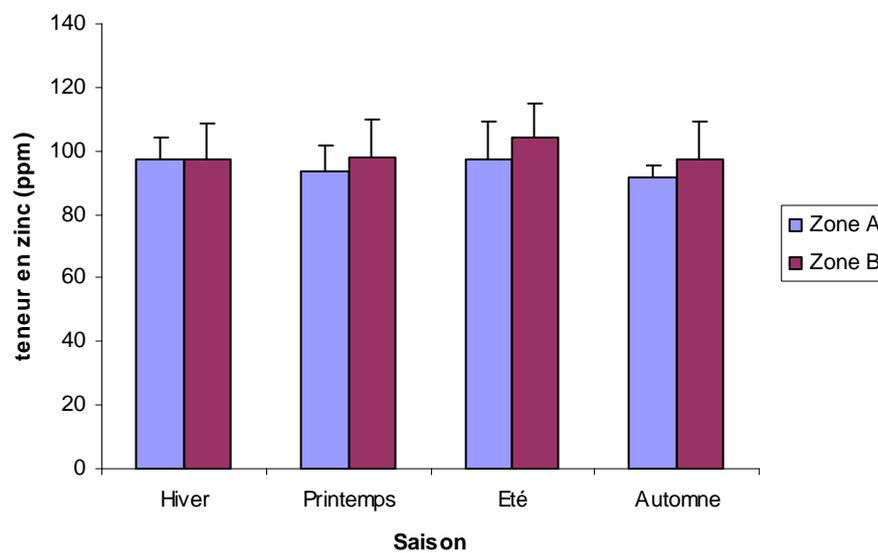
Il n'y a aucune différence significative entre les différentes valeurs des quatre saisons que ce soit pour le premier ou le deuxième stade de gestation.

On observant les résultats dans les tableaux 69 et 70, on trouve que les valeurs moyennes les plus élevées pour les brebis en premier stade de gestation sont obtenues en été dans les deux zones et pour celles en deuxième stade de gestation c'est la valeur obtenue en hiver qui est élevée dans la zone A, et celle de l'été pour la zone B.

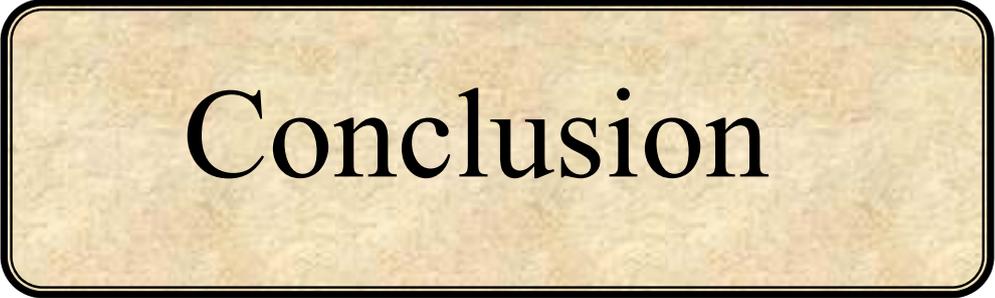
A partir du tableau 71 et de la figure (26) on constate que les teneurs en zinc dans la laine des brebis de la zone B sont supérieures à celles de la zone A sauf en hiver mais les différences entre les valeurs des deux zones sont statistiquement non significatives.

**Tableau 71** : variations saisonnières de la de la teneur en zinc de la laine (ppm) des brebis des deux zones A et B

Zone	Stade de gestation	Début de gestation (moyenne±écartype) (ppm)	Fin de gestation (moyenne±écartype) (ppm)
	Saison		
<b>Zone A</b>	Hiver	99.07 ± 9.19	95.54 ± 4.59
	Printemps	93.22 ± 7.96	93.90 ± 9.47
	Eté	105.28 ± 9.89	89.32 ± 7.08
	Automne	93.06 ± 3.89	90.01 ± 4.26
<b>Zone B</b>	Hiver	99.53 ± 16.03	94.78 ± 6.94
	Printemps	102.79 ± 12.93	93.23 ± 10.21
	Eté	111.29 ± 9.06	97.33 ± 7.21
	Automne	100.15 ± 11.16	94.45 ± 13.54



**Figure26** : Variations saisonnières de la teneur en zinc dans la laine (ppm) des brebis des deux zones A et B.



Conclusion

## **CONCLUSION**

Il ressort de l'analyse des résultats que les teneurs en cuivre au niveau du sol dans les zones ciblées par l'étude sont dans les fourchettes des normes physiologiques rapportées par différentes sources bibliographiques, avec des valeurs légèrement plus élevées dans la plaine (Ouyoun El Assafer) par comparaison avec celles de la montagne. La même tendance a été observée pour les teneurs cupriques des aliments récoltés localement avec des concentrations cupriques proches des limites de carence pour la région d'Arris.

Les faibles concentrations cupriques pédologiques et alimentaires de la région d'Arris sont aussi confirmées par les valeurs minimales de la cuprémie chez les ovins qui y vivent. Cette tendance se retrouve dans les données relatives au dosage du cuivre dans la laine des ovins de cette même région.

Il ressort donc que le statut cuprique du sol-végétal-animal de la région montagneuse d'Arris est proche de la limite inférieure des normes physiologiques sans toutefois atteindre le seuil critique capable d'en faire une zone d'ataxie enzootique ovine (hypocrosis enzootica). Nos résultats confirment les travaux réalisés par d'autres auteurs quant à l'adoption de l'utilisation du dosage du cuivre dans la laine du mouton comme une méthode complémentaire fiable et pratique pour déterminer le statut cuprique d'une zone donnée.

# Références bibliographiques

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**1-Abdel-Mageed, A.B., Oehme, F.W., 1990.**

Areview of biochemical roles, toxicity and interactions of zinc, copper and iron : II. Copper.  
Vet. Hum. Toxicol. **32** : 230-234.

**2-Ablain, F., 2002.**

Rôle des activités lombriciennes sur la redistribution des éléments traces métalliques issues de boue de station d'épuration dans un sol agricole.

Thèse Doctorat, Univ. Renne, 148 P.

**3-Afri-Mehennaoui, F.Z., Mehennaoui, S., 2004.**

Comparaison de trois techniques d'extraction pour la détermination des éléments traces métalliques dans les sédiments de l'oued Rhumel et son affluent l'oued boumerzoug zone urbaine. (Constantine)

Sciences & Technologie, **21** :29-38.

**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-Ait Ali, N., Pilar bernal, M., Ater, M., 2004.**

Tolerance and bioaccumulation of cadmium by Phragmites australis grown in the presence of elevated concentrations of cadmium, copper and zinc.

Aquatic Botany, **80**: 163-176.

**6-Al-Busadah, K., 2004.**

Blood and his function in camel.

Science and Technology, **70** : 24-28.

**7-Alebic-Juretic, A., Frkovic, A., 2005.**

Plasma copper concentrations in pathological pregnancies.

J.Trace Elem.Med.Biol.**191** :191-194.

**8-Allison, N., Evan, S., Mc Donald, R.K., 1989.**

When pets ingest zinc, how likely is zinc toxicosis ?

Veterinary medicine, **84**: 777-779.

**9-Alloway, B.J., Tills, A.R., 1984.**

Copper deficiency in world crops.  
Outlook Agric. **13**: 32-42.

**10-Amboulou, D., lamand, M., Rayssiguier, Y., 1977.**

Chopping versus grinding and pelleting of Hay : effect on availability of trace elements (Cu, Zn, and Mn) and major elements (Ca, P, and Mg).  
Ann. Rech. Vet. **8**: 1-6.

**11-Andrews, G.A., Smith, J.E., 2000.**

Iron Metabolism.

In : «Schalm's Veterinary Hematology, 5<sup>th</sup> edition».

Feldman, B.F; Zinkl, J.G.; Jain, N.C. editors.

Lippincott williams and wilkins, Philadelphia, U.S.A. 129-134

**12-ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2001.**

Air Analysis Panel Discussion : Exploring the state of the science. June. 12-13.

Summary Report Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division, of Health Assessment and Consultation and Division of Health Education and Promotion. Atlanta, Georgia.

([WWW.atsdr.cdc.gov/HAC/hair-analysis/](http://WWW.atsdr.cdc.gov/HAC/hair-analysis/)).

**13-Aubert, H., Pinta, M., 1971.**

Les éléments trace dans le sol.

Ed. ORSTOM. Paris, 104 P.

**14-Aurousseau, B., Durand, D., Gruffat, D., 2004.**

Contrôle des phénomènes oxydatifs pendant la gestation chez les monogastriques et les ruminants.

INRA. Prod. Anim. **17**: 339-354.

**15-Baboula, A., 1992.**

L'étude de la nutrition en oligo-éléments du blé dur.

Thèse d'Ingénieur en Agronomie, INA. Alger, 50 P.

**16-Baize, D., 2000.**

Guide des analyses en pédologie : choix, expression, présentation, interprétation.

Edition, INRA. Paris, 257 P.

**17-Baruthio, F., 1991.**

Toxicologie des éléments traces essentiels.

In : «les oligo-éléments en médecine et biologie»

Chappuis, P. Coord.

Ed SFERETE, Lavoisier Tec et Doc. & Médicale Internationale, 213-310.

**18-Bernier, C., Godin, B., Groulx, E., 1997.**

Intoxication chronique au cuivre chez les moutons.

Revue de Toxicologie Vétérinaire, MEV. 2030. Univ. Montreal, Fac. Med. Vet.

5-14.

**19-Blood, D. C., Henderson, J. A., 1976.**

Médecine Vétérinaire, 2<sup>ème</sup> édition.

Vigot Frères Editeurs, Paris, 1077 P.

**20-Bourelier, P.H., Berthelin, J., 1998.**

Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leurs gestion.

Académie des Sciences, Lavoisier Technique et Documentation, Paris, 440 P.

**21-Bowland, J.P., Braude, R., Chamberlain, A.G., Glascock, R.F., Mitchell, K.G., 1961.**

The absorption, distribution and excretion of labelled copper in young pigs given different quantities, as sulphate or sulphide, orally or intravenously.

Br. J. Nut. 15 : 59-72.

**22-Branas, J., 1984.**

Histoire et fonctions du cuivre dans la viticulture de qualité.

Progrès Agricoles et Viticole, 22 : 521-523.

**23-Bremner, I., 1987.**

Involvement of metallothionein in hepatic metabolism of copper.

J. Nutr. 117 : 19-29.

**24-Bremner, I., Beattie, J.H., 1995.**

Copper and zinc metabolism in health and disease: speciation and interactions.

Proceeding of the Nutrition Society, 54: 489-499.

**25-Brugère-Picoux, J., 2004.**

Manuel pratique – Maladies des moutons 2<sup>ème</sup> édition.

Edition France Agricole, Paris, 287 P.

**26-Buckley, W.T., 2000.**

Trace elements dynamics

In : «Farm animal metabolism and nutrition» D'Mello, J.P.F.

CABI. publishing, Edinburgh, UK. 161-182.

**27-Calvet, R., 2003.**

Le sol propriétés et fonctions tome I : Constitution, Structure, Phénomènes aux interfaces.

Ed. France Agricole, Paris, 455 P.

**28-Caussy, D., Gochfeld, M., Gurzau, E., Neagu, C., Ruedel, H., 2003.**

Lessons from case studies of metals : investigating exposure, bioavailability, and risk.

Ecotoxicology and Environmental Safety, 56: 45-51.

**29-Chaignon, V., 2001.**

Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par des fongicides.

Thèse Doctorat de l'Université de Droit, d'Economie et des Sciences, Univ, Aix-Marcelle, 183P.

**30-Chappuis, P. Coord., 1991.**

Les oligo-éléments en médecine et biologie.

Lavoisier Tec& Doc. Editions Médicales Internationales, Paris, 653 P.

**31-Coïc, Y., Coppenet, M., 1989.**

Les oligo-éléments en agriculture et élevage incidence sur la nutrition humaine.

Ed. INRA. Paris, 114 P.

**32-Coïc, Y., Tendille, C., 1971.**

Causes connues des variations quantitatives des oligo-éléments dans les végétaux.

Ann. Alim. 25 : 25-131.

**33-Coles, E.H., 1979.**

Le laboratoire en clinique vétérinaire.

Editions Vigot, Paris, 641 p.

**34-Conseil supérieur d'hygiène publique de France, 1996.**

Plomb, cadmium et mercure dans l'alimentation : évaluation et gestion du risque.

Editions TEC. & DOC. Paris, 237 p

**35-Coppenet, M., Juste, C., 1979.**

Oligo-éléments indispensables à la vie des plantes, phénomènes de toxicité. Extrait de pédologie : constituants et propriétés du sol.  
Edition Masson, Paris, 408-415

**36-Cote, M., 1979.**

Mutations rurales en Algérie (le cas des hautes plaines de l'est).  
Ed. O.P.U. Alger, 136 P.

**37-Cousins, R.J., 1985.**

Absorption, transport, and hepatic metabolism of copper and zinc: special reference to metallothionein and ceruloplasmin.  
Physiol. Rev. 65 : 238-309.

**38-Craplet, C., Thibier, M., 1980.**

Le mouton : Productions- Reproduction- Génétique- Alimentation- Maladies, Tome IV 4<sup>ème</sup> édition.  
Edition, Vigot, Paris, 575 P.

**39-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.

**40-Cymbaluk, N.F., Smart, M.E., 1993.**

Areview of possible metabolic relations of copper to equine bone disease.  
Equine Vet. J. Supp. 16: 19-26.

**41-Day, J.P., Boland, T.M., Crosby, T.F., 2006.**

The effects of plastic slatted floor or straw bedding on performance, liver weight and liver copper concentrations in intensively reared lambs.  
Livestock Science, 100: 270-275.

**42-Deluisa, A., Giandon, P., Aichner, M., Bortolami, P., Bruna, L., Lupetti, A., Nardelli, F., Stringari, G., 1996.**

Copper pollution in Italian vineyard soils.  
Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27 : 1537-1548.

**43-Dupont, P., 1986.**

Les oligo-éléments : leurs comportements dans le sol et cultivars.  
Bull. Tech. Inf n°16 , 20 p.

**44-Duthil, J., 1973.**

Eléments d'écologie et d'agronomie, Tome III.  
Edition, J. B. Ballière, Paris, 635 p.

**45-Eliard, J.L., 1979.**

Manuel d'agriculture générale, base de la production végétale.  
Edition, J. B. Ballière, Paris, 344 p.

**46-Elmer, P., 1994.**

Analytical methods for atomic absorption spectrometry.  
The Perkin Elmer Corporation, USA. 300 P.

**47-Etienne, P., Godard, C., 1970.**

Climatologie.  
Ed. Armond Colin, Paris, 357 P.

**48-FAO., 1975.**

Manuel of methods of analysis for heavy metals in aquatic environment research. Part I :  
method for detection, measurement and monitoring of water pollution.  
FAO. Fisheries Technical Paper N° 137, United Nations.

**49-Favier, A., Arnaud, J., Fauve., 1986.**

Le zinc en médecine et biologie.  
Ed. Médicales Internationales, 301 P.

**50-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.

**51-Flandysz, J., 1993.**

Some toxic and essential trace metals in cattle from the northern part of Poland.  
The Science of The Total Environment, **136** : 177-191.

**52-Gengelbach, G.P., Spears, J.W., 1998.**

Effects of dietary copper and Molybdenum on copper status, cytokine production, and humoral  
immune response of calves.  
Journal of Dairy Science, **81** : 3286-3292.

**53-Gengelbach, G.P., Ward, J.D., Spears, J.W., 1994.**

Effect of dietary copper, Iron and Molybdenum on growth and copper status of beef cows and calves.

Journal Anim. Sci. 72 : 2722-2727.

**54-Gengelbach, G.P., Ward, J.D., Spears, J.W., Brown, T.T., 1997.**

Effects of copper deficiency and copper deficiency coupled high dietary iron or molybdenum on phagocytic cell function and response of calves to a respiratory disease challenge.

J. Anim. Sci. 75 : 1112-1118

**55-Godin, M., Feinkert, M.H., Ducauze, C.J., 1985.**

Medeling of soil contamination by air-borne lead and cadmium around several emission sources.

Environ. Pollut. 10 : 97-114.

**56-Gooneratne, S.R., Buckley, W.T., Christensen, D.A., 1989.**

Review of copper deficiency and metabolism in ruminants.

Can. J. Anim. Sci. 69 : 819-845.

**57-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.

**58-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

**59-Graham, T.W., 1991.**

Trace element deficiencies in cattle.

Vet. Clin. North Am : Food Anim. Pract. 7 : 153-215.

**60-Gurzau, E.S., Neagu, C., Gurzau, A.E., 2003.**

Essential metals –case study on iron

Ecotoxicology and Environmental safety, 56 : 190-200.

**61-Halls, D.J., Fell, G.S., Dunbar, P.M., 1981.**

Determination of copper in urine by graphite furnace atomic absorption spectrometry.

Clin. Chim. Acta. 114 : 12-27

**62-He, Z.L., Yang,X.E., Stoffella, P.J., 2005.**

Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment.  
Biology and Medecine of Trace Elements, **19** : 125-140.

**63-Heinritzi, K., 1992.**

Les intoxications chez le porc.  
Revue, Méd. Vét. **143** : 233-240.

**64-Horn, N., Tümer, Z., 1999.**

Molecular genetics of intracellular copper transport.  
Journal of Trace Elements in Experimental Medicine, **12** : 297-313.

**65-Houot et Tarallo,, 1991.**

Le cuivre In : les oligo-éléments en médecine et biologie.  
Coord P, Chappuis, Ed. SFERETE, Lavoisier Tec et Doc & Ed Médicales  
Internationales, 459-498.

**66-Houpert, P., Mehennaoui, S., Ferderspiel, B., Kolf-clauw, M.,  
Joseph-Enriquez, B., Milhaud, G., 1997.**

Transfer of cadmium from feed to ewe food production variations in transfer induced  
by lead and zinc  
Environ. Sci. **5** : 127-138.

**67-Howell, J., Gawthorne, J. M., 1987.**

Copper in animals and man.  
CRC press, New York, 125 P.

**68-Jamieson, S., Allcfort, R., 1950.**

Copper pine of calves.  
British Journal of Nutrition, **4** : 16-31.

**69-Jarrige, R., 1988.**

Alimentation des bovins ovins et caprins.  
Ouvrage collectif –INRA. Edition, Paris, 476 P.

**70-Jarrige, R., Martin-Rosset, W., 1984.**

Le cheval, reproduction, sélection, alimentation, exploitation.  
Edition, INRA. Publication, Paris, 689 P.

**71-Jean-Blain, C., 2002.**

Introduction à l'alimentation des animaux domestiques.  
Edition, Médicales Internationales, 424 P.

**72-Jiang, L.Y., Yang, X.E., He, Z.L., 2004.**

Growth response and phytoextraction of copper at different levels in soils by *Elsholtzia splendens*.  
*Chemosphere*, **55** : 1179-1187.

**73-John-Martin, S., 1998.**

Empoisonnement chronique au cuivre chez les ovins.  
Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales, Ontario.  
[http : // www.omafra.gov.on.ca](http://www.omafra.gov.on.ca)

**74-Jondreville, C., Revy, P.S., Jaffrezic, A., Dourmad, J.Y., 2002.**

*INRA Prod. Anim.*, **15** : 247-265.

**75-Kies, C., Umoren, J., 1989.**

Inhibitors of copper bioutilization : fibre, lead, phytate and tannins.  
*Adv. Exp. Med. Biol.* **258** : 81-93.

**76-Kolb, E., 1975.**

Physiologie des animaux domestiques.  
Edition Vigôt Frères, Paris, 974 p.

**77-Kouremenou, D.E., Artemis, D., Papoutsis, J., Spiliopoulou, C., 2006.**

Copper and zinc concentration in serum of healthy greek adults.  
*Sci. Total Environ.* **15** : 76-81.

**78-Kramer, J. W., 2000.**

Normal Hematology of Cattle, Sheep and Goats.  
In : «Schalm's Veterinary Hematology, 5<sup>th</sup> edition».  
Feldman, B.F; Zinkl, J.G.; Jain, N.C. editors.  
Lippincott williams and wilkins, Philadelphia, U.S.A. 1075-1084 .

**79-Kuypers, B., 2003.**

Alimentation en cuivre chez les équidés : implication dans la prévention des affections ostéo-articulaires du poulain.  
Thèse Méd. Vét. ENV.d' Alfort, 118 P.

**80-Lachance, J., Charbonneau, R.P., Tremblay, A., 1997.**

Intoxication cuprique chronique.

Note de toxicologie clinique vétérinaire. MEV 2030, Univ. Montreal. Fac.Med. Vet.

**81-Laffite, R., 1939.**

Etude géologique de l'Aures.

Edition, cart. Geol. Al. 434 P.

**82-Lamand, M., 1977.**

Carence en oligo-éléments

In : «Le veau : Anatomie- Physiologie- Elevage- Alimentation- Production- Pathologie»,  
Mornet, M.; Espinasse, J., et collaborateurs.

Maloine, S.A.E. Editeur, Paris, 407-412.

**83-Lamand, M., 1978a.**

Les oligo-éléments.

Dalfoz, Ed. Paris, 78 P.

**84-Lamand, M., 1978b.**

Minéraux. Oligo-éléments

In : Alimentation des ruminants.

Edition, INRA. Publication, 143-159.

**85-Lamand, M., 1991.**

Les oligo-éléments dans la biosphère.

In : «Les oligo-éléments en médecine et biologie»

Chappuis, P. Coord.

Lavoisier, Tec et Doc. Ed. Médicales Internationales, 460-468.

**86-Lamand, M., Levieux, D., 1981.**

Effects of infection on plasma levels of copper and zinc in ewes.

Ann. Rech. Vet. 12: 133-136.

**87-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.

**88-Laven, R.A., Livesey, C.T., 2006.**

An evaluation of the effect of clotting and processing of blood samples on the recovery of copper from bovine blood.

The Veterinary Journal, **171** : 295-300.

**89-Leberton, P., Henry, A., Garnier, C., 2002.**

Carence en cuivre dans un troupeau mixte bovins/ovins.

Le Point Vét. **231** : 56-58.

**90-Ledieu, D., 2003.**

Hémogramme rouge.

Encyclopédie Vétérinaire, Editions Scientifiques et Médicales Elsevier, Biologie Clinique, 0050.

**91-Lopez-Alonso, M., Benedito, J.L., Miranda, M., Castillo, C., Hernandez, J.R. Shore, R.F., 2000.**

Arsenic, cadmium, lead, copper, and zinc in cattle from Galicia, NW Spain.

The Science of the Total Environment, **246** : 237-248.

**92-Lopez-Alonso, M., Prieto, F., Miranda, M., Castillo, C., Hernandez, J.R., Benedito, J.L., 2005.**

Intracellular distribution of copper and zinc in liver of copper-exposed cattle from northwest Spain.

The Veterinary Journal, **170** : 332-338.

**93-Lorgue, G., 1984.**

L'intoxication par le cuivre chez les ovins.

Centre National d'Informations Toxicologiques Vétérinaires, Notes de Toxicologie Vétérinaire, ENV. Lyon, **2** : 157-161.

**94-Loué, A., 1993.**

Les oligo-éléments en agriculture.

Agric. Nathan, Paris, 339p.

**95-Lukkari, T., Aatsinki, M., Väisänen, A., Haimi, J., 2005.**

Toxicity of copper and zinc assessed with three different earthworm tests.

Applied Soils Ecology, **30** : 133-146.

**96-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.

**97-Martin, W.B., Aitken, I.D., 1991.**

Diseases of sheep, 2<sup>ème</sup> edition.

Blackwell Scientific Publication, London, 418 P.

**98-Martinez, J., 1994.**

Nutrient accumulation in soil from intensive pig slurry applications.

Animal waste management. FAO. REUR. Technical Series, **34**: 129-135.

**99-Mc Dowell, L.R., 1992.**

Minerals in animal and human nutrition.

San Diego Academic Press, 524 P

**100-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.

**101-Mercer, J.F.B., 2001.**

The molecular basis of copper-transport diseases.

Trends in Molecular Medicine, **7** : 64-69.

**102-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 Sétifien.

Thèse de Doctorat, Constantine, 162 p.

**103-Milhaud, G., Mehennaoui, S., 1988.**

Indicators of lead and cadmium exposure In cattle : I- Results in polluted area.

Vet. Hum. Toxicol. **30** : 513-517.

**104-Milhaud, G., Pinault, L., Parent, B., 1979.**

Résultats d'observations effectuées sur des bovins élevés dans une zone polluée par des émissions industrielles de plombs, zinc et cadmium.

Rec. Méd. Vét. **155** : 955-962.

**105-Mills, C.F., 1985.**

Dietary interactions involving the trace elements.

Ann. Rev. Nut. **5**: 173-193.

**106-Miranda, M., Lopez-Alonso, M., Castillo, C., Hernandez, J., Benedito, J.L., 2005.**

Effects of moderate pollution on toxic and trace metal levels in calves from a polluted area of northern Spain.

Environment International, **31** : 543-548.

**107-Mitchell, G.A., Bingham, F.T., 1978.**

Yield and metal composition of lettuce and wheat grown on soils amended with sewage sludge enriched with cadmium, copper, nickel and zinc.

Journal of Environmental Quality, **7**: 165-171.

**108-Mitchell, R.L., 1974.**

Trace elements problems on Scottish soils.

Neth. J.Agric.Sci. **22**: 295-304.

**109-Nazifi, S., Rategh, S., 2005.**

Haemoglobin, copper, ceruloplasmin and iron in adult Caspian miniature horses.

Revue Méd.Vét. **156** : 50-52.

**110-N'Pouna, H., 1982.**

Etat de quelques oligo-éléments (Fe,Mn,Zn,Cu) dans certains types de sols du Hodna (W. de M'Sila).

Thèse d'Ingénieur en Agronomie, INA. Alger, 118 P.

**111-O'Dell, B.L., 1981.**

Roles for iron and copper in connective tissue biosynthesis.

Philos. Trans. R. Soc. London, **294**: 91-104.

**112-Office fédérale de l'environnement, des forêts et du paysage, 1996.**

Protection des sols et génie civil. L'environnement pratique, Berne.

**113-Olkowski, A.A., Gooneratne, S.R., Christensen, D.A., 1990.**

Effects of diets of high sulphur content and varied concentrations of copper, molybdenum and thiamine on in vitro phagocytic and candidacidal activity of neutrophils in sheep.

Research in veterinary science, **48**: 82-86.

**114-Osweiller, G.D., 1996.**

Toxicology.

NVMS. Williams & Wilkins, Philadelphia, 491 P.

**115-Pallauf, J., Rimbach, G., 1997.**

Nutritional significance of phytic acid and phytase.  
Arch. Anim. Nutr. 50: 301-319.

**116-Papanikolaou, G., Pantopoulos, K., 2005.**

Iron metabolism and toxicity.  
Toxicology and Applied Pharmacology, 202: 199-211.

**117-Paragon, B.M., 1984.**

Alimentation minérale de la vache laitière.  
Edition, ENV. Alfert, France, 67 P.

**118-Pedro, G., Delmas, A.B., 1970.**

Les principes géochimiques de la distribution des éléments traces dans les sols.  
Ann. Agr. 21 : 483-518.

**119-Percival, S.S., 1998.**

Copper and immunity.  
Am. J. Clin. Nutr. 67: 1064-1068.

**120-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.

**121-Perigaud, S., 1971.**

Liaisons carencielles entre sols, végétaux et animaux.  
Ann. Nut. Alim. 25 : 327-378.

**122-Pilon, M., Abdel-Ghany, S.E., Cohu, C.M., Gogolin, K.A., Ye, H., 2006.**

Copper cofactor delivery in plant cells.  
Current opinion in plant biology, 9 : 1-8.

**123-Poulik, M.D., Weiss, M.L., 1975.**

Ceruloplasmin In : Putnam, F.W. The plasmaproteins.  
Academic Press, 2 : 80-91.

**124-Pouliquen, H., Douart, M., 1998.**

Intoxication des ruminants par le cuivre.  
Le Point Vétérinaire, Numéro Spécial : Toxicologie des Ruminants, 29 : 14-19.

**125-Pousset, J., 2000.**

Engrais vert et fertilité des sols.  
Editions Agridécisions, Paris, 287 p.

**126-Powell, J.J., Jugdaohsingh, R.J., Thompson, R.P.H., 1999.**

The regulation of mineral absorption in the gastrointestinal tract.  
Proc. Nut. Soc. 58: 147-153.

**127-Quiroz-Rocha, G.F., Bouda, J., 2001.**

Fisiopatología de las deficiencias de cobre en ruminantes y su diagnóstico.  
Vet. Mex. 32: 289-296.

**128-Quiroz-Rocha, G.F., Bouda, J., Ochoa, L.N., Ferreyra, C.S., Castillo-Mata, D.A., 2003.**

Comparison of serum ceruloplasmin and copper with liver copper as indicators of body copper status in discarded cows.  
Vet. Mex. 34: 143-148.

**129-Ragnarsdottir, K.V., Hawkins, D.P., 2006.**

Bioavailable copper and manganese in soils from Iceland and their relationship with scrapie occurrence in sheep.  
Journal of Geochemical Exploration, 88: 228-234.

**130-Revy, P.S., Jondreville, C., Dourmad, J.Y., Nys, Y., 2003.**

Le zinc dans l'alimentation du porc : oligo-élément essentiel et risque potentiel pour l'environnement.  
INRA. Prod. Anim. 16: 3-18.

**131-Riffard, J., 1988.**

Le cuivre et les ruminants 1<sup>ère</sup> partie : métabolisme, rôle épidémiologique des carences.  
Edition du Point Vétérinaire, 20: 905-911.

**132-Rivière, R., 1978.**

Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. 2<sup>ème</sup> édition.  
Edition Maison Alfort, Paris, 527 p.

**133-Robbins, C.T., 1983.**

Wildlife feeding and nutrition.  
Academic Press, 54-56.

**134-Robert, M., Juste, C., 1999.**

Enjeux environnementaux et industriels – Dynamique des éléments traces dans l'écosystème sol.

In : «Spéciation des métaux dans le sol»

Les Cahiers du Club Crin, Paris, 15-37.

**135-Rodier, J., 1984.**

Analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 7<sup>ème</sup> édition.

Ed. Dunod, Paris, 1365 P.

**136-Rousselet, F., 1991.**

Les oligo-éléments

In : «Les oligo-éléments en médecine et biologie».

Chappuis, P. Coord.

Ed. Lavoisier Tec. & Doc. Médicales Internationales, Paris, 1-6.

**137-Roy, T., 1986.**

La complémentation minérale dans l'alimentation du cheval.

Thèse Méd. Vét. ENV. Alfort.

**138-Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, N.P.B., 1995.**

Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plant.

Biotechnologie, **13** : 468-474.

**139-Sanchez, W., Palluel, O., Meunier, L., Coquery, M., Porcher, J. M.,**

**Aït-Aïssa, S., 2005.**

Copper- induced oxidative stress in three- spined stickleback : relation ship with hépatic métal levels.

Environmental Toxicology and Pharmacology, **19** : 177-183.

**140-Sassenou, I., Afifi, R., Benbelbarhdadi, I., Aouragh, A., Benazzouz, M., Essaid, A.E., Sebti, M.F., 1996.**

La maladie de Wilson, à propos de 4 cas.

Médecine du Maghreb, **60** : 21-24.

**141-Saylor, W.W., Leach, R.M., 1980.**

Intracellular distribution of copper and zinc in sheep: effect of age and dietary levels of the metals.

Journal of Nutrition, **110**: 448-459.

**142-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.

**143-Sillanpää, M., 1979.**

Les éléments traces dans les sols, et en agriculture.  
FAO. Ed. 84 P.

**144-Smart, M.E., Cymbaluk, N.F., Christensen, 1992.**

A review of copper status of cattle in Canada and recommendations for supplementation.  
Can. Vet. J. **33**: 163-170.

**145-Snedeker, S.M., Greger, J.L., 1983.**

Metabolism of zinc, copper and iron as affected by dietary protein, cysteine and histidine.  
J. Nutrition, **113** : 644-652.

**146-Soltner, D., 1999.**

Alimentation des animaux domestiques, 21<sup>ème</sup> édition.  
Editions Collection Sciences et Techniques Agricoles, 176 P.

**147-Souci, Farhman , Kraut , (2000).**

La composition des aliments – Tableaux des valeurs nutritives.  
CRC. Press, 12-26.

**148-Strain, J.J., 1994.**

Newer aspects of micronutrients disease: copper.  
Proc. Nutr. Soc. **53** : 583-598.

**149-Susan, E., Aiello, B.S., 2002.**

Le manuel vétérinaire Merck. 8<sup>ème</sup> édition.  
Edition Merck & CO. INC. Whitehouse Station, N.J. U.S.A. 2297 P.

**150-Swarup, D., Patra, R.C., Naresh, R., Kumar, P., Shekhar, P., Balagatharathilagar, M., 2005.**

Lowered blood copper and cobalt contents in goats reared around lead –zinc smelter.  
Small Ruminant Research, Short communication , 5 p.

**151-Sylvie, M., Sayn, M.J., Benoit, E., Garnier, F., Delatour, P., 1982.**

Valeurs usuelles en biochimie clinique vétérinaire.  
Laboratoire de biochimie, ENV. Lyon, France, 64 p.

**152-Tassabehji, N., 2003.**

The effect of copper deficiency and toxicity on the tumor suppressor protein p53.  
Thèse Master en science, Univ. Florida, 53P.

**153-Telfer, S.B., Kendall, N.R., Illingworth, D.V., Mackenzie, A.M., 2003.**

Copper deficiency or molybdenum toxicity ? Diagnosis and treatment requires a new perspective.  
Cattle Practice, **11**: 189-192.

**154-Tembo, B.D., Sichilongo, K., Cernak, J., 2006.**

Distribution of copper, lead, cadmium and zinc concentrations in soils around kabwe town in Zambia.  
Chemosphere, **63** : 497-501.

**155-Thornton, I., 1981.**

Geochemical aspects of the distribution and forms of the heavy metals in soils.  
In : «Effect of heavy metal pollution on plants metal in the environment.  
Leep, N.W.  
Applied Sci. Publ. London and New Jersey, **2** : 1-34.

**156-Thornton, I., 2002.**

Geochemistry and the mineral nutrition of agricultural livestock and wildlife.  
Applied geochemistry, **17** : 1017-1028.

**157-Thornton, I., Plant, J., 1980.**

Regional geochemical mapping and health in the United Kingdom.  
Journal of the Geological Society, **137** : 575-586.

**158-Tremblay, A., 1997.**

Intoxication au plomb chez les bovins.  
Toxicologie clinique vétérinaire, MEV 2030, 84 P.

**159-Underwood, E.J., 1977.**

Copper  
In : «Trace elements in human and animal nutrition» 4<sup>th</sup> edition.  
Academic Press, London, 56-82.

**160-Underwood, E.J., 1981.**

The mineral nutrition of livestock.  
CAB. Edition, England, 180 P.

**161-Underwood, E.J., Suttle, N. F., 1999.**

Copper

In : «The mineral nutrition of livestock» ,3<sup>rd</sup> edition.

CAB. International, London, 283-342.

**162-U.S. Environmental Protection Agency, 1980.**

Ambient water quality for copper.

Office of Water Regulations and standards, Criteria and standards Division, Washington, DC.

Publ. NO. PB 81-117475.

**163-Vallee, B.L., Falchuk, KH., 1993.**

The biochemical basis of zinc physiology.

Physiolo. Rev. 73: 79-118.

**164-Wild, A., 1996.**

Soils and the environment. An introduction.

Cambridge low Price Editions, UK. 287 P.

**165-Wolter, R., 1996.**

Alimentation du cheval. 2<sup>ème</sup> édition.

Edition France Agricole, Paris, 320 P.

**166-Yang, X.E., Long, X.X., Ye, H.B., He, Z.L., Calvert, D.V., Stoffella, P.J., 2004.**

Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new zn-hyperaccumulating plant species (Sedum afredii hance).

Plant soil, 259: 181-189.

# Annexes

**Tableau N°I : Teneur en cuivre et zinc des aliments des ovins des deux zones en Hiver**

NOM DE L'ALIMENT	ARRIS		OYOUN EL ASSAFER	
	Cu	Zn	Cu	Zn
<i>Agopyrum repens</i>	5,87	24,05	7,64	24,15
<i>Hordeum murinum</i>			6,66	23,75
<i>Malva silvestris</i>			12,25	46,34
<i>Chrysantenum cornarium</i>			15,16	58,62
<i>Taraxacum officinale</i>	9,44	40,84	9,89	53,37
<i>Raphanus raphanistrus</i>			13,25	42,27
<i>Papaver rhoeas</i>			9,34	31,34
<i>Juniperus oxycedrus</i>	4,27	27,74		
<i>Juniperus phoenicea</i>	5,00	30,17		
<i>Artemisia herba alba</i>	9,81	40,75		
<i>Thymus vulgaris</i>	9,36	44,67		
Paille	4,42	15,83	6,47	19,87
Foin d'avoine	6,56	23,94	8,20	25,20
Orge	4,30	26,15	5,55	31,00

**Tableau N°II : Teneur en cuivre et zinc des aliments des ovins des deux zones au printemps**

NOM DE L'ALIMENT	ARRIS		OUYOUN EL ASSAFER	
	Cu	Zn	Cu	Zn
<i>Agopyrum repens</i>	6,35	23,5	8,25	25,50
<i>Hordeum murinum</i>			6,45	23,37
<i>Malva silvestris</i>			16,33	52,50
<i>Chrysantenum cornarium</i>			17,25	62,50
<i>Sonchus oleraceus</i>	7,60	32,50	11,96	44,74
<i>Taraxacum officinale</i>	9,67	41,45	11,60	57,46
<i>Raphanus raphanistrus</i>			14,88	46,66
<i>Papaver rhoeas</i>			10,00	34,43
<i>Juniperus oxycedrus</i>	4,35	29,36		
<i>Juniperus phoenicea</i>	5,45	31,50		
<i>Artemisia herba alba</i>	10,60	40,50		
Thymus vulgaris	8,63	45,90		
Paille	4,25	16,46	6,87	20,40
Foin d'avoine	6,87	24,35	8,81	25,61
Orge	4,65	27,45	5,38	31,43

**Tableau N°III : Teneur en cuivre et zinc des aliments des ovins des deux zones en été**

NOM DE L'ALIMENT	ARRIS		OUYOUN EL ASSAFER	
	Cu	Zn	Cu	Zn
<i>Agopyrum repens</i>	6,43	25,17	7,78	25,22
<i>Hordeum murinum</i>			6,25	23,00
<i>Malva silvestris</i>			13,50	47,94
<i>Chrysantenum cornarium</i>			15,24	58,51
<i>Sonchus oleraceus</i>	7,21	31,90	10,26	41,32
<i>Taraxacum officinale</i>	9,74	41,00	10,45	53,22
<i>Raphanus raphanistrus</i>			13,30	43,34
<i>Papaver rhoeas</i>			8,69	33,00
<i>Juniperus oxycedrus</i>	4,47	28,87		
<i>Juniperus phoenicea</i>	5,20	31,17		
<i>Artemisia herba alba</i>	9,54	39,50		
Thymus vulgaris	8,21	43,00		
Paille	4,41	16,00	6,67	20,40
Foin d'avoine	6,72	24,20	8,67	25,51
Orge	4,32	27,42	5,43	31,30

**Tableau N°IV : Teneur en cuivre et zinc des aliments des ovins des  
deux zones en Automne**

NOM DE L'ALIMENT	ARRIS		OUYOUN EL ASSAFER	
	Cu	Zn	Cu	Zn
<i>Agopyrum repens</i>	6,74	25,32	8,00	25,45
<i>Hordeum murinum</i>			6,4	23,56
<i>Malva silvestris</i>			15,50	51,57
<i>Chrysantenum cornarium</i>			16,80	60,50
<i>Sonchus oleraceus</i>	7,77	34,36	12,35	42,6
<i>Taraxacum officinale</i>	9,96	41,70	10,75	55,35
<i>Raphanus raphanistrus</i>			14,69	45,00
<i>Papaver rhoeas</i>			9,86	33,50
<i>Juniperus oxycedrus</i>	4,64	29,16		
<i>Juniperus phoenicea</i>	5,30	31,52		
<i>Artemisia herba alba</i>	10,72	43,45		
<i>Thymus vulgaris</i>	9,67	47,34		
Paille	4,36	16,55	6,90	20,44
Foin d'avoine	6,84	24,43	8,79	25,54
Orge	4,54	27,66	5,35	31,46

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

### **Résumé :**

L'étude effectuée sur des ovins vivant dans deux zones à relief différent "montagne" et "plaine" dans la région de BATNA, a pour objectif de déterminer leur niveau nutritionnel cuprique en évaluant les teneurs en cuivre dans la chaîne sol – plante - animal par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Cette étude comparative détaillée a permis l'investigation de l'influence de certains facteurs physiologiques tels que : l'âge, le stade de gestation et la saison.

Les résultats obtenus révèlent que les teneurs en cuivre dans le sol, les aliments ainsi que dans le plasma et la laine des ovins sont généralement plus élevées dans la plaine que dans la zone montagneuse, cependant la différence n'est significative qu'entre les valeurs des aliments.

**Mots clés :** Cuivre, Sol, Plantes fourragères, Ovins, Cuprémie, Laine, Spectrophotométrie d'absorption atomique.

### **Abstract :**

The study realized on alive sheep in two different area "mountain" end "plain" in BATNA region, aims to determinate their copper nutritional level, within evaluation of copper contents in the chain soil – plant – animal by atomic absorption spectrophotometry. A Detailed comparative study has be conducted in order to investigate the influence of age, stage of pregnancy and season.

The results obtained reveal that contents of copper in the soil, in the aliments in the same way as in the plasma and the wool of the sheep are generally higher in the flat country than in the mountainous zone, and however the difference is significant only between the values of aliments.

**Keys words:** Copper, Soil, Plants, Sheep, Wool, Plasma copper, Atomic absorption Spectrophotometry

### **الملخص:**

إن الدراسة المنجزة على أغنام في منطقتين مختلفتين من حيث التضاريس احدهما جبلية وأخرى هضابية بمنطقة باتنة، هدفها تحديد مستواهم الغذائي من النحاس؛ وذلك بتقييم تركيز النحاس في الحلقة الممتلئة في التربة، النبات، الحيوان استعانة بالتحليل الطيفي باستخدام الامتصاص الذري. هذه الدراسة القائمة على المقارنة المفصلة سمحت باستطلاع تأثير بعض العوامل الفيزيولوجية كالسن، مرحلة الحمل، و الفصل.

النتائج المحصل عليها في هذه الدراسة تبين أن تركيز النحاس في كل من التربة، الغذاء و كذا في مصل و صوف الأغنام مرتفع في المنطقة الهضابية بالمقارنة مع المنطقة الجبلية، لكن هذا الاختلاف لا يظهر بصفة واضحة إلا بين القيم المحصل عليها في الغذاء.

**الكلمات المفتاحية:** النحاس، التربة، النبات، الأغنام، النحاس في البلازما، الصوف، التحليل الطيفي باستخدام الامتصاص الذري.