

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE BATNA 1 -BATNA-  
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES  
ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES



THESE

*Pour l'obtention du diplôme de*

DOCTORAT EN SCIENCES

*Filière*  
*Sciences Vétérinaires*

*Option*  
*Nutrition*  
*Présentée Par :*

*Arab Hadda*

THEME

**Les facteurs nutritionnels et antinutritionnels des  
fourrages destinés aux ruminants**

**JURY**

Président	: Meziane	Toufik	Grade	Université
Examineur	: Mekroud	Abdessalam	Prof	Batna 1
Examineur	: Deghnouche	Kahramen	Prof	Constantine 1
Examineur	: Chachoua	Ilhem	MC	Biskra
Rapporteur	: Haddi	Mohamed-Laid	MC	Batna 1
Co-rapporteur	: Mehennaoui	Smail	Prof	Constantine 1
			Prof	Batna 1

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2017-2018

*"Il ne faut pas penser à l'objectif à atteindre,  
il faut seulement penser à avancer. C'est ainsi,  
à force d'avancer, qu'on atteint ou qu'on double  
ses objectifs sans même s'en apercevoir"*

***B. Werber, La Révolution des Fourmis.***

*"Toutes les batailles de la vie nous enseignent quelque  
chose, même celles que nous perdons"*

***Paulo Coelho***

*À tous ceux qui me sont chers.*

*À Hocine*

*À Ahmed Mehdi*

*À Amina*

## Remerciements

Ce travail de thèse a été réalisé au sein du laboratoire de recherche : Environnement Santé et Productions Animales (ESPA) du département Vétérinaire, sous la direction des professeurs *Haddi Mohamed Laid* et *Mehennaoui Smail*.

J'exprime ma gratitude à Monsieur le professeur *Haddi Mohamed Laid*, qui m'a confié ce projet de recherche, m'a orienté et m'a largement aidé par ses conseils pertinents, judicieux et sa rigueur rédactionnelle, tout en m'accordant une grande liberté intellectuelle.

Je remercie également le professeur *Mehennaoui Smail*, d'avoir co-dirigé ce travail avec une grande rigueur scientifique. Je lui exprime mes vifs remerciements pour son soutien et sa présence à chaque moment de ma thèse et pour ses grandes qualités humaines.

Mes sincères remerciements vont également aux membres du jury de thèse pour le temps consacré à la lecture et à l'évaluation de ce travail.

Je suis très honorée que le professeur *Meziane Toufik* ait accepté de présider le jury. Je lui exprime ma gratitude pour sa disponibilité et de m'avoir fourni une documentation précieuse pour la rédaction de ma thèse.

Je remercie également le professeur *Mekroud Abdessalam*, Dr *Deghnouche Kahramen* et Dr *Chachoua Ilhem* d'avoir eu l'amabilité d'accepter de juger ce travail. Veuillez recevoir ici toute ma reconnaissance.

Mes remerciements s'adressent aussi aux collègues Dr *Boudaoud Amine* et Dr *Dekhinat Said*, pour toute leur aide et leur disponibilité.

Je remercie Dr *Sellaoui Sassia* pour ses précieux conseils et son soutien. Je tiens également à remercier mes collègues de l'institut des Sciences Vétérinaires et Agronomiques pour leur soutien et leurs encouragements.

Mes remerciements s'adressent aussi à *Boufedda Nadia*, *Laamidi Farid*, *Bendaikha Abdelwahab* et *Titaouine Nadir* pour leur encouragement au cours de ces années.

Enfin, je n'oublie pas de remercier du fond du cœur ma chère maman, mes sœurs, mon frère, à toute ma famille et ma belle-famille.

## Avant-Propos

Ce présent travail de thèse entre dans le cadre des projets de recherche sur la thématique relative à l'évaluation de la valeur nutritive des principaux fourrages destinés aux ruminants en zones arides et semi-arides. Les différents axes développés ont fait l'objet de Magister dont les intitulés sont les suivants :

- **Arab H., 2006.** Evaluation de la valeur nutritive des principaux fourrages des zones arides et semi-aride. Université de Batna, 134 p.
- **Yaakoub F., 2006.** Evaluation "in vitro" de la dégradation des principaux fourrages des zones arides. Université de Batna. 152 p.

De plus les travaux ont été valorisés par des articles (national et internationaux) dont les intitulés sont les suivants :

- **Haddi M. L., Arab H., Yacoub F., Hornick J. L., Rollin F., Mehennaoui S., 2009.** Seasonal changes in chemical composition and *in vitro* gas production of six plants from Eastern Algerian arid regions. *Livestock Research for Rural Development*, 21, 4. 11 p.
- **Arab H., Haddi M.L., Mehennaoui S., 2009.** Evaluation de la valeur nutritive par la composition chimique des principaux fourrages des zones arides et semi-arides en Algérie. In : *Sciences et Technologies*, C, 30. p. 50-58.
- **Arab H., Haddi M.L., Mehennaoui S., 2016a.** *Atriplex halimus*: halophyte plant as potential forage for ruminants in the arid area of South-East Algeria. In: *Options Méditerranéennes*, A, no. 114, Ecosystem service and socio-economic benefits of Mediterranean grasslands, 87-90.
- **Arab H., Haddi M.L., Boudaoud A., Mehennaoui S., 2016b.** Seasonal variation of Cu, Zn, Mn and Fe levels in soil and *Atriplex halimus* in arid zones of South-East Algeria. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical*, ISSN: 0975-8585, 7 (6): 1727-1733.
- **Arab H., Haddi M.L., Mehennaoui S., 2017.** Evaluation of Macro-mineral Concentration in Soil and *Atriplex halimus* from South East of Algeria in Relation to Ruminants Requirements. *Global Veterinaria*, ISSN : 1992-6197, 18 (6) : 399-405.

Les articles sont rassemblés en annexe 2.

Dans le dernier axe de recherche nous nous sommes focalisés sur l'étude du statut minéral de l'arbuste halophyte "*Atriplex halimus*" et du sol sur lequel il pousse, en effectuant des prélèvements mensuels et saisonniers afin d'obtenir les résultats les plus représentatifs possibles.

Au cours du temps, le protocole a été plus affiné avec le souci d'étudier les éléments minéraux essentiels (majeurs et mineurs) ainsi que deux éléments traces métalliques comme facteurs antinutritionnels dans le sol et l'arbuste objet de notre étude.

A notre connaissance et à l'heure actuelle, aucune étude publiée n'a été répertoriée relative à la détermination des éléments minéraux essentiels (Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn et Fe) et des métaux lourds (Cd et Pb) comme facteurs antinutritionnels dans le sol et dans l'*Atriplex halimus* de la région aride située à la localité d'El-Haouche au Sud-Est de Biskra.

A travers ce préambule, nous attirons l'attention du lecteur que le titre, le plus adéquat au contenu de la thèse serait :

**" Etude du profil minéral des fourrages destinés aux ruminants en zones arides : cas d'*Atriplex halimus*"**

Au lieu de

**" Les facteurs nutritionnels et antinutritionnels des fourrages destinés aux ruminants".**

## Table des matières

Remerciements	
Avant-Propos	
Table des matières	I
Liste des abréviations	V
Liste des tableaux	VI
Liste des figures	IX
Introduction Contexte, problématique et objectifs	1

### PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

#### Chapitre I : Les éléments minéraux chez les ruminants

I. 1 Importance et répartition dans l'organisme	6
I. 2 Les éléments minéraux majeurs	6
I. 2. 1 Le calcium	7
I. 2. 2 Le phosphore	8
I. 2. 3 Le magnésium	9
I. 2. 4 Le sodium et le chlore	11
I. 2. 5 Le potassium	12
I. 3 Les oligo-éléments essentiels chez les ruminants	15
I. 3. 1 Le cuivre	15
I. 3. 2 Le zinc	17
I. 3. 3 Le manganèse	19
I. 3. 4 Le fer	20
I. 4 Les oligo-éléments toxiques chez les ruminants	23
I. 4. 1 Le cadmium	24
I. 4. 2 Le plomb	25

#### Chapitre II : les ressources fourragères et place de l'*Atriplex halimus* dans les parcours fourragers des ruminants dans les régions arides de l'Algérie

II. 1 Notion et état de parcours fourrager	27
II. 2 L'élevage des ruminants en Algérie	27
II.2.1 Conduite d'élevage	28
II. 2.2 Contraintes de la conduite d'élevage	29
II. 3 Problématique des régions arides et semi-arides en Algérie	30
II. 3.1 Représentation des régions arides et semi-arides	30
II. 3.2 Le climat	30
II. 3.3 La végétation	30

II. 4 Actions des contraintes naturelles sur les ressources fourragères	33
II.5 Les halophytes et les différentes formes de stress	34
II.5.1 Particularité des halophytes	34
II.5.2 Caractéristiques de l'halophyte <i>Atriplex halimus</i>	35
II. 6 Nutrition des végétaux	40
II. 6.1 Mécanisme d'absorption de l'eau par les plantes	40
II. 6.2 Intérêts des éléments minéraux chez la plante	41
II. 7 Les métaux lourds et leurs effets sur les végétaux	43
II. 7.1. Définition des métaux lourds	43
II. 7.2. Les métaux lourds : oligoéléments ou éléments toxiques	43
<b>Chapitre III : Caractéristiques générales de la région d'étude</b>	
III. 1 Situation géographique	45
III. 2 Relief	46
III. 3 Pédologie	46
III. 4 Hydrographie	46
III. 5 Le couvert végétal	46
III.5.1 Les ressources fourragères dans la région d'El Haouche	47
III. 6 Données climatiques	47
III. 6.1 Précipitation	48
III. 6.2 Température	50
III. 6.3 Le vent	51
III. 7 Synthèse climatique	51

## **DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE**

### **Chapitre I : Matériel et méthodes**

I. 1 Protocole expérimental 1	52
I. 1.1 Matériel et méthodes	52
I. 1. 2 Analyses statistiques	56
I. 2 Protocole expérimental 2	56
I. 2.1 Nature et rythme des prélèvements	56
I. 2. 2 Matériel et méthodes	57
I. 2. 3 Analyses statistiques	61

### **Chapitre II : Présentation des résultats**

II. 1 Etude expérimentale I	62
II.1.1 Comparaison des concentrations en éléments minéraux essentiels dans les différentes parties anatomiques (feuilles-tiges) de l' <i>Atriplex halimus</i>	62

II.1.1.1 Les macroéléments	62
II.1.1.2 Les oligoéléments	64
II. 1. 2 Teneurs moyennes des minéraux dans les cinq fractions des feuilles et des tiges	65
II.1.2.1 Les macroéléments	65
II.1.2.2 Les oligoéléments	71
II.1.3 Etude des corrélations entre les différents éléments minéraux (majeurs et mineurs) chez <i>Atriplex halimus</i>	74
II. 1. 4 Les teneurs du cadmium et du plomb dans les différentes parties de l' <i>Atriplex halimus</i>	78
II.2 Etude expérimentale II	79
II.2.1 Les teneurs moyennes en matière sèche, matière minérale et matière organique de l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> plante entière	80
II. 2.2 Les teneurs moyennes de la matière sèche, matière minérale et de la matière organique dans les feuilles de l'arbuste <i>Atriplex halimus</i>	81
II. 2.3 Les teneurs moyennes en matière sèche, matière minérale et en matière organique dans les tiges de l'arbuste <i>Atriplex halimus</i>	82
II. 2.4 Les teneurs moyennes des minéraux dans l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> plante entière	83
II.2.4.1 Les macroéléments	83
II.2.4.2 Les oligoéléments	84
II. 2.5 Détermination des teneurs en macroéléments et en oligoéléments dans les feuilles et les tiges de l' <i>Atriplex halimus</i> en fonction des saisons	85
II. 2.6 Détermination des teneurs du plomb (Pb) et du cadmium (Cd) dans l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> durant l'automne et l'hiver	89
II. 2.7 Les caractéristiques physico-chimiques et les composants minéraux du sol	90
II.2.8 Etude des taux moyens de la matière sèche, humidité, matière minérale, matière organique et du pH du sol au cours des quatre saisons	91
II.2.9 Etude des teneurs moyennes des macroéléments et des oligoéléments dans le sol	92
II.2.10 Etude des corrélations entre les différents éléments minéraux (majeurs et mineurs) mesurés dans le sol et dans <i>Atriplex halimus</i>	94
II.2.11 Comparaison des teneurs moyennes du plomb et du cadmium dans le sol au cours de l'automne et de l'hiver	97
<b>Chapitre III : Discussion des résultats</b>	
III.1 Discussion du protocole expérimental	99
III.1.1 Le choix de la région d'étude, <i>Atriplex halimus</i> , nature des prélèvements et des analyses effectuées	99

III.1.2 Choix des méthodes d'analyses	104
III.1.3 Discussion des résultats de la première étude expérimentale	104
III. 1.4 Discussion des résultats de la deuxième étude expérimentale	122
III. 1.4.1 Paramètres étudiés dans <i>Atriplex halimus</i>	122
III. 1.4.2 Les paramètres physico-chimiques étudiés dans le sol	127
III. 1.4.3 Les teneurs en minéraux essentiels et non essentiels (Cd et Pb) dans le sol	131
III. 1.4.4 Etude des corrélations entre les minéraux du sol et ceux de l' <i>Atriplex halimus</i>	138
<b>Conclusion générale et perspectives</b>	<b>139</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>144</b>
<b>ANNEXES</b>	
<b>RESUMES</b>	

## Liste des abréviations

**ADF:** Acid detergent fiber  
**ADL:** Acid detergent lignin  
**°C :** Degrés Celsius  
**Ca:** Calcium  
**CB:** Cellulose brute  
**Cd:** Cadmium  
**cm:** Centimètre  
**Cu :** Cuivre  
**DMS :** Digestibilité de la matière sèche  
**ETM :** Éléments en traces métalliques  
**Fe :** Fer  
**GPS :** Global Positioning System  
**g/j :** Gramme par jour  
**h :** Heure  
**ha :** Hectare  
**j :** Jour  
**K :** Potassium  
**kg :** kilogramme  
**LOI :** Loss on ignition (perte au feu)  
**MAT :** Matière azotée totale  
**MF :** Matière fraîche  
**Mg :** Magnésium  
**mg :** Milligramme  
**ml :** Millilitre  
**mm :** Millimètre  
**MM :** Matière minérale  
**µm :** Micromètre  
**mmol/L :** Milimole par litre  
**Mn :** Manganèse  
**MO :** Matière organique  
**MS :** Matière sèche  
**MSI :** Matière sèche ingérée  
**N :** Normalité  
**Na:** Sodium  
**NDF:** Neutral detergent fiber  
**nm:** Nanomètre  
**NRC:** national research council  
**P:** Phosphore  
**Pb:** Plomb  
**PC:** Poids corporel  
**pH :** Potentiel hydrogène  
**ppm :** Partie par million  
**PV:** Poids vif  
**S :** Soufre  
**UF :** Unité fourragère  
**Zn :** Zinc

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Teneurs en éléments minéraux dans un organisme de mammifère	7
<b>Tableau 2 :</b> Les besoins en minéraux recommandés chez les ruminants exprimés en g/kg MS.	13
<b>Tableau 3 :</b> Apports recommandés en minéraux chez la vache laitière haute productrice	13
<b>Tableau 4 :</b> Recommandations d'apport minimal et seuil maximal en différents éléments essentiels et non essentiels chez les bovins	14
<b>Tableau 5 :</b> Equations pratiques de calcul des besoins en éléments minéraux majeurs absorbables	15
<b>Tableau 6 :</b> Implication du cuivre dans les principaux systèmes enzymatiques	16
<b>Tableau 7 :</b> Principales implications du zinc dans les systèmes enzymatiques	18
<b>Tableau 8 :</b> Principales implications du manganèse dans les systèmes enzymatiques	20
<b>Tableau 9 :</b> Apports recommandés en oligo-éléments et seuil de carence et toxicité chez les ruminants (en mg/kg MS ration)	23
<b>Tableau 10 :</b> Variation des teneurs en Cd et en Pb dans les organes en fonction de leurs teneurs dans le régime alimentaire chez les bovins et les ovins	26
<b>Tableau 11 :</b> Concentration en éléments traces dans les parties aériennes de plantes (mg/kg MS)	44
<b>Tableau 12 :</b> Espèces inventoriées et leurs fréquences dans la région d'El Haouche	49
<b>Tableau 13 :</b> Températures moyennes mensuelles (1992-2012)	50
<b>Tableau 14 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) des éléments minéraux majeurs (g/kg MS) et valeurs du rapport Ca/P, des feuilles et des tiges d' <i>Atriplex halimus</i> des dix campagnes d'échantillonnage	62
<b>Tableau 15 :</b> Teneurs mensuels du rapport Ca/P des feuilles et des tiges d' <i>Atriplex halimus</i>	63
<b>Tableau 16 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) des oligo-éléments (mg/kg MS) des feuilles et des tiges de l' <i>Atriplex halimus</i>	64
<b>Tableau 17 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) des minéraux majeurs (g/kg MS) dans les différentes fractions des feuilles d' <i>Atriplex halimus</i>	66
<b>Tableau 18 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) des minéraux majeurs (g/kg MS) dans les différentes fractions des tiges d' <i>Atriplex halimus</i>	66
<b>Tableau 19 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) des oligo-éléments dans les feuilles de l' <i>Atriplex halimus</i> au cours de l'année (2002-2003)	71

<b>Tableau 20 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) des oligo-éléments dans les tiges de l' <i>Atriplex halimus</i> au cours de l'année (2002-2003)	71
<b>Tableau 21 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) et valeurs extrêmes du cadmium et du plomb dans <i>Atriplex halimus</i> : plante entière, feuilles et tiges	79
<b>Tableau 22 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) de la matière sèche, humidité, matière minérale, matière organique exprimées en (% MS) dans l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> plante entière	80
<b>Tableau 23 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) de la MS, humidité, matière minérale et matière organique exprimées en (% MS) dans l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> plante entière	81
<b>Tableau 24 :</b> Teneurs moyennes en MS, humidité, MM et en matière organique exprimées en (% MS) dans les tiges de l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> en fonction de la saison	82
<b>Tableau 25 :</b> Comparaison des teneurs moyennes en MS, humidité, matière minérale et matière organique exprimés en (% MS) dans les tiges et les feuilles de l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> en fonction de la saison	83
<b>Tableau 26 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) en macroéléments (g/kg MS), et du rapport Ca/P dans l' <i>Atriplex halimus</i> plante entière en fonction des quatre saisons (automne, hiver, printemps et été)	84
<b>Tableau 27 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) des oligo-éléments (mg/kg MS) dans l' <i>Atriplex halimus</i> plante entière en fonction des quatre saisons (automne, hiver, printemps et été)	85
<b>Tableau 28 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) et variabilité des éléments minéraux majeurs et mineurs des feuilles et des tiges de l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> au cours de l'automne	86
<b>Tableau 29 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) et variabilité des éléments minéraux majeurs et mineurs des feuilles et des tiges de l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> au cours de l'hiver	87
<b>Tableau 30 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) et variabilité des éléments minéraux majeurs et mineurs des feuilles et des tiges de l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> au cours du printemps	88
<b>Tableau 31 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) et variabilité des éléments minéraux majeurs et mineurs des feuilles et des tiges de l'arbuste <i>Atriplex halimus</i> au cours de l'été	89
<b>Tableau 32 :</b> Les teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) et les valeurs extrêmes du plomb et du cadmium (mg/kg MS) dans les feuilles et les tiges de l' <i>Atriplex halimus</i>	89
<b>Tableau 33 :</b> Granulométrie du sol de la région Essaada	90

<b>Tableau 34 :</b> Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) et valeurs extrêmes du phosphore assimilable du sol au cours de la saison d'hiver	90
<b>Tableau 35 :</b> Les teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) en MS, humidité, MM, MO (exprimés en % MS) et du pH du sol en fonction des saisons	92
<b>Tableau 36 :</b> Les teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) des éléments minéraux majeurs (Ca, Mg, Na et K) exprimés en g/kg MS et mineurs exprimés en mg/kg MS pour le Cu, Zn, Mn et en g/kg MS pour le fer dans le sol	94
<b>Tableau 37 :</b> Les teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) et valeurs extrêmes du plomb et du cadmium( mg/kg MS ) dans le sol	98

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : La séquence des changements biocliniques conduisant à l'apparition des signes cliniques du déficit en fer	21
<b>Figure 2</b> : L'absorption du fer est fonction des besoins de l'organisme chez le rat et diminue progressivement avec l'augmentation de l'apport alimentaire	22
<b>Figure 3</b> : Mécanismes de résistance et d'adaptation des plantes au différents stress liés à l'environnement	35
<b>Figure 4</b> : Rameau feuillu d' <i>Atriplex halimus</i>	36
<b>Figure 5</b> : Représentation de l' <i>Atriplex halimus</i> poussant dans la région Murcia de l'Espagne : <i>subsp. Schweinfurthi</i> (gauche) and <i>halimus</i> (droite)	37
<b>Figure 6</b> : <i>Atriplex halimus</i> (a) associée avec d'autres halophytes <i>Tamarix africana</i> (b) et <i>Salsola vermiculata</i> (c)	38
<b>Figure 7</b> : Les étapes du métabolisme photosynthétique chez les plantes qui empruntent la voie dite en C <sub>4</sub>	39
<b>Figure 8</b> : Aspect d'une feuille d' <i>Atriplex lentiformis</i> traitée par 5 g/l NaCl, portant des trichomes gonflés de sels	40
<b>Figure 9</b> : Représentation générale des différentes parties des racines des plantes	41
<b>Figure 10</b> : Localisation de la région d'El Haouche dans la wilaya de Biskra	45
<b>Figure 11</b> : Le couvert végétal (photo a et photo b) de la région d'El Haouche	48
<b>Figure 12</b> : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de Biskra au cours de la période : 1992-2012	50
<b>Figure 13</b> : Variations des températures mensuelles moyennes, minimales et maximales de la station de Biskra : 1992-2012	51
<b>Figure 14</b> : Localisation des sites d'échantillonnage au niveau de la zone d'étude : Etude expérimentale 1 (site 3) et étude expérimentale 2 (site 1 et 2)	52
<b>Figure 15</b> : Mode de fractionnement de l' <i>Atriplex halimus</i>	54
<b>Figure 16</b> : Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) en minéraux majeurs (g/kg MS) des feuilles et des tiges d' <i>Atriplex halimus</i> des dix campagnes	63
<b>Figure 17</b> : Teneurs mensuelles du rapport Ca/P des feuilles et des tiges de l' <i>Atriplex halimus</i>	64
<b>Figure 18</b> : Teneurs moyennes ( $\pm$ écart-type) en éléments minéraux mineurs (mg/kg MS) des feuilles et des tiges d' <i>Atriplex halimus</i> des dix campagnes	65

<b>Figure 19 :</b> Teneurs moyennes en Ca (g/kg MS) des cinq fractions d' <i>Atriplex halimus</i> des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements	67
<b>Figure 20 :</b> Teneurs moyennes en P (g/kg MS) des cinq fractions d' <i>Atriplex halimus</i> des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements	67
<b>Figure 21 :</b> Teneurs moyennes du rapport phosphocalcique (Ca/P) des cinq fractions d' <i>Atriplex halimus</i> des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements	68
<b>Figure 22 :</b> Teneurs moyennes en Mg (g/kg MS) des cinq fractions d' <i>Atriplex halimus</i> des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements	69
<b>Figure 23 :</b> Teneurs moyennes en Na (g/kg MS) des cinq fractions d' <i>Atriplex halimus</i> des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements	70
<b>Figure 24 :</b> Teneurs moyennes en K (g/kg MS) des cinq fractions d' <i>Atriplex halimus</i> des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements	70
<b>Figure 25 :</b> Teneurs moyennes en Cu (mg/kg MS) des cinq fractions d' <i>Atriplex halimus</i> des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements	72
<b>Figure 26 :</b> Teneurs moyennes en Zn (mg/kg MS) des cinq fractions d' <i>Atriplex halimus</i> des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements	73
<b>Figure 27 :</b> Teneurs moyennes en Mn (mg/kg MS) des cinq fractions d' <i>Atriplex halimus</i> des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements	73
<b>Figure 28 :</b> Teneurs moyennes en Fe (mg/kg MS) des cinq fractions d' <i>Atriplex halimus</i> des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements	74
<b>Figure 29 :</b> Corrélation entre le calcium et le phosphore (a) et entre le calcium et le magnésium (b) de l' <i>Atriplex halimus</i>	75
<b>Figure 30 :</b> Corrélation entre le calcium et le sodium (a) et entre le calcium et le potassium (b) de l' <i>Atriplex halimus</i>	76
<b>Figure 31 :</b> Corrélation entre le magnésium et le phosphore (a) et entre le magnésium et le sodium (b) de l' <i>Atriplex halimus</i>	76
<b>Figure 32 :</b> Corrélation entre le magnésium et le potassium (a) et entre le sodium et le potassium (b) de l' <i>Atriplex halimus</i>	76
<b>Figure 33 :</b> Corrélation entre le phosphore et le sodium (a) et entre le phosphore et le potassium (b) de l' <i>Atriplex halimus</i>	77
<b>Figure 34 :</b> Corrélation entre le zinc et le cuivre (a) et entre le manganèse et le cuivre (b) de l' <i>Atriplex halimus</i>	77
<b>Figure 35 :</b> Corrélation entre le fer et le cuivre (a) et entre le fer et le zinc (b) de l' <i>Atriplex halimus</i>	78
<b>Figure 36 :</b> Corrélation entre le manganèse et le zinc (a) et entre le fer et le manganèse(b) de l' <i>Atriplex halimus</i>	78

**Figure 37 :** Représentation de la corrélation des macroéléments du sol et ceux de l'*Atriplex halimus*. a : corrélation Ca sol-Ca *Atriplex halimus* ; b : corrélation Mg sol-Mg *Atriplex halimus* ; c : corrélation Na sol- Na *Atriplex halimus* ; d : corrélation K sol- K *Atriplex halimus* 96

**Figure 38 :** Représentation de la corrélation des oligoéléments du sol et ceux de l'*Atriplex halimus*. e : corrélation Cu sol- Cu *Atriplex halimus* ; f : corrélation Zn sol-Zn *Atriplex halimus* ; g : corrélation Mn sol-Mn *Atriplex halimus* ; h : corrélation Fe sol- Fe *Atriplex halimus* 97

## **Introduction**

### **Contexte, problématique et objectifs**

La production en agriculture est un système qui intègre deux composantes : production végétale et production animale. Ces dernières sont en effet très étroitement liées et ce en offrant, chacune à l'autre les matières nécessaires pour sa production.

L'élevage des ruminants domestiques est une activité essentiellement économique, l'éleveur dans son intérêt vise à avoir une meilleure rentabilité.

Pour cela, il doit maîtriser **l'alimentation** qui contrôle l'expression du potentiel génétique et conditionne conjointement la productivité, la reproductivité et la santé de l'animal, qui toutes les trois déterminent la rentabilité (**Wolter, 1997**).

A cet égard, l'alimentation représente la principale composante de la production animale ; elle est considérée comme le moyen le plus important pour l'amélioration des performances zootechniques des ruminants, qui doivent recevoir tous les éléments nutritifs essentiels en quantités optimales.

Par ailleurs, plusieurs facteurs sont impliqués et largement responsables des situations de carence tels que : l'intensification de l'élevage, l'instabilité du climat, l'utilisation des fertilisants et les caractéristiques du sol qui influencent la biodisponibilité de ces nutriments.

Nourrir convenablement un ruminant consiste à lui garantir un apport d'azote, d'énergie, d'eau à volonté, des minéraux et des vitamines et sans oublier un minimum de fibres, de manière à assurer ses besoins d'entretien et de production.

Les fourrages constituent l'aliment de base pour les ruminants qui en tirent 90 à 95 % de leur nourriture et ils couvrent entre 70 à 80 % des besoins énergétiques de cette catégorie d'animaux (**Jarrige et al., 1995**). Les fourrages constituent la totalité de la ration des ruminants, qui sont généralement complétés par d'autres aliments plus riches en énergie et / ou en protéines tels que les concentrés achetés le plus souvent par l'éleveur.

Chaque aliment est caractérisé par sa valeur nutritive (valeur énergétique, valeur azotée, teneurs en minéraux, en vitamines...) et son ingestibilité qui exprime la quantité volontairement ingérée par l'animal (**Kamoun, 2008**).

La nutrition minérale des ruminants domestiques constitue un aspect de l'alimentation animale dont les conséquences peuvent être lourdes pour les performances zootechniques et l'état sanitaire des animaux (**Meschy, 2010**).

La nutrition des animaux au pâturage est une interaction complexe entre le sol, la plante et l'animal **(Arab et al., 2016b)**.

La composition minérale d'un fourrage résulte de l'action combinée de plusieurs facteurs : le stade de végétation de la plante, son appartenance botanique et elle est aussi fonction des teneurs en éléments minéraux du sol. La disponibilité des éléments minéraux pour les plantes est en relation directe avec les caractéristiques pédologiques et agronomiques du sol (pH, humidité, le taux de la matière organique...) et aussi elle est liée à l'efficacité de la captation racinaire et la migration de l'élément concerné vers la partie aérienne **(Meschy et Guéguen, 1995)**.

Dans les régions arides et semi-arides, les parcours fourragers représentent une importante réserve alimentaire utilisée par les ruminants **(Ammar et al., 2005)**, en période de disette alimentaire, en particulier pendant les sécheresses sévères.

En Algérie, les changements climatiques deviennent de plus en plus contraignants pour la croissance et le développement des plantes notamment dans les zones semi-arides et arides **(Higazy et al., 1995 ; Belkohdja et Bidai, 2004)**. De même, les surfaces destinées au pâturage en zones arides ont continuellement diminué au cours de ces dernières années **(Nedjimi, 2010)**. Par conséquent, l'irrégularité et la rareté des ressources alimentaires posent un problème majeur auquel l'élevage des ruminants fait face dans ces régions.

Ce bouleversement résulte de plusieurs facteurs indissociables tels que le surpâturage, l'augmentation des besoins alimentaires à court terme et la mise en culture incontrôlée des zones à vocation pastorale **(Nedjimi et al., 2013)**. Ce qui engendre un appauvrissement et une perte du sol et une dégradation de la couverture végétale.

Les périodes intermittentes de sécheresse extrême contribuent également à cette dégradation et favorisent la désertification **(Nedjimi et Guit, 2012)**. Le fort ensoleillement et la faible pluviométrie font accumuler les sels dissous, en surface **(Maalem, 2011)**, ce qui peut rendre les terres impropres à la production végétale.

La combinaison des contraintes naturelles, sécheresse et salinité modifie la stabilité de l'écosystème. Sous ces conditions, la physiologie des plantes est perturbée, certaines espèces spontanées ont disparu, d'autres sont menacées de disparition **(Gupta et al., 1990)**.

Les arbustes fourragers constituent un élément de stabilité dans l'alimentation des petits ruminants et peuvent même valoriser des terres marginales inutilisables en agriculture traditionnelle.

Les halophytes sont des plantes naturellement tolérantes aux sels solubles et poussent aussi bien dans un environnement salin qu'en conditions normales (**Malcolm et al., 2003**). Elles représentent la limite supérieure des capacités adaptatives des végétaux vasculaires à la salinité (**Nedjimi et al., 2013**), et elles constituent une approche prometteuse pour la réhabilitation et la valorisation des zones marginales et peu propices à la majorité des cultures destinées directement à l'alimentation humaine (**Weber et al., 2007 ; Nedjimi, 2012**).

Dans les régions arides du Sud-Est Algérien, c'est l'élevage des petits ruminants et aussi du dromadaire qui domine. L'alimentation de ces animaux est constituée d'une part par les plantes annuelles qui poussent à la suite des pluies et disparaissent quelques semaines après et d'autre part par les arbustes qui sont présents toute l'année avec un cycle de croissance très lent, avec un supplément en paille d'orge ou de blé dur (**Haddi, 1999**).

La plante fourragère *Atriplex halimus* constitue un excellent fourrage pour le cheptel, notamment en période de disette, dotée d'une biomasse aérienne et racinaire assez importante (**Le Houérou, 2000 ; Abbad et al., 2004**). Cette plante possède en effet des capacités pour maintenir un potentiel hydrique interne bas sous la contrainte saline du milieu créant une pression de turgescence suffisante (**Belkhodja et Bidai, 2007**).

La majeure partie des études réalisées sur *Atriplex halimus* en Algérie porte sur l'impact du stress salin sur les paramètres physiologiques, biochimiques et nutritionnels de cet arbuste (**Baba Sidi-Kaci, 2010 ; Brinis, 2010**), et sur sa résistance vis à vis des différentes concentrations des sels solubles (**Nedjimi, 2010 ; Maalem, 2011**), et aussi sur son utilisation dans la réhabilitation du sol des régions arides (**Belkhodja et Benaldj, 2007**).

Les recherches qui se sont focalisées sur l'action du Cd (**Nedjimi, 2009**) et du Pb (**Babou, 2014**) sur la croissance pondérale et la réduction des pigments chlorophylliens et les teneurs en minéraux de cet arbuste ont été discutées essentiellement *in vitro*.

Peu d'études ont évoqué la détermination des teneurs physiologiques en éléments minéraux majeurs et mineurs et en métaux lourds (Cd et Pb) dans cet arbuste et son environnement.

Ainsi, la présente étude porte d'une part sur l'évaluation du statut minéral en éléments minéraux essentiels de l'arbuste *Atriplex halimus* et du sol sur lequel il pousse au Sud-Est de Biskra et d'autre part sur l'évaluation du taux du cadmium et du plomb comme facteurs antinutritionnels.

Nos travaux sont orientés vers la détermination des teneurs en éléments minéraux majeurs (calcium, phosphore, magnésium, sodium et potassium) et mineurs (cuivre, zinc, manganèse et fer). Cette détermination permet d'évaluer les apports (déficits ou excès) pour les ruminants qui consomment cette plante fourragère.

Dans ce contexte, les objectifs de ce travail sont de contribuer à une meilleure connaissance :

- Des teneurs en éléments minéraux majeurs et mineurs dans l'arbuste *Atriplex halimus* d'une part, et de celle du sol d'autre part ;
- Des apports en élément minéraux fournis aux ruminants qui consomment ce fourrage ;
- Des niveaux naturels et/ou même toxiques des éléments non essentiels (Cd et Pb) du sol et leur translocation vers la plante étudiée.

L'organisation de notre travail s'effectue de la façon suivante :

- ✓ Une première étude expérimentale a consisté en une évaluation des minéraux essentiels et non essentiels (Cd et Pb) des différentes fractions (feuilles et tiges) de l'arbuste *Atriplex halimus* pendant dix campagnes au cours d'une année (2002-2003). Ceci permettrait de connaître les variations mensuelles des éléments essentiels et non essentiels.
- ✓ Une deuxième étude expérimentale est basée essentiellement sur la détermination saisonnière (quatre saisons) des mêmes éléments minéraux dans le même arbuste et dans le sol sur lequel il pousse au cours de la période (2014-2015). La relation entre les teneurs en ces nutriments dans le sol et dans la plante est étudiée.

Notre manuscrit s'articule en deux parties :

La première partie comporte une **synthèse bibliographique**, qui vise à rappeler l'importance des éléments minéraux essentiels et les besoins recommandés chez les ruminants. Cette partie décrit ensuite les éléments non essentiels (Cd et Pb) et leurs effets sur la santé des ruminants.

Une synthèse relative à la description de l'arbuste *Atriplex halimus*, sa répartition, ses caractéristiques physiologiques et son potentiel fourrager pour les ruminants a été effectuée. Un aperçu sur les caractéristiques générales de la région d'étude conclut cette synthèse.

La deuxième partie englobe trois chapitres : le premier décrit la section **Matériel et Méthodes**, où sont présentés l'échantillonnage et le mode de prélèvement effectués ainsi que les différentes méthodes et techniques utilisées.

Les **Résultats et leur discussion** sont rassemblés respectivement dans le chapitre II et III. Cette partie illustre les résultats obtenus lors des deux protocoles expérimentaux mis en œuvre au cours de deux périodes différentes. Les teneurs mensuelles et saisonnières en

minéraux essentiels et non essentiels (Cd et Pb) de l'arbuste et du sol sont présentées et discutées, ainsi que les caractéristiques physico-chimiques du sol de la zone d'étude.

Ensuite **une conclusion** de notre étude mettra en exergue les caractéristiques nutritionnelles en minéraux essentiels majeurs et mineurs de l'arbuste *Atriplex halimus*, ainsi que les différentes parties anatomiques (feuilles, tiges et fractions). Une relation est établie entre l'apport minéral du sol et celui prélevé par la plante fourragère objet de notre étude. Les éléments non essentiels (Cd et Pb) sont proches des teneurs naturelles et donc ne peuvent être nocifs pour l'animal consommant cet arbuste.

Enfin, seront présentées les différentes **Perspectives** relatives à l'intérêt de l'arbuste halophyte *Atriplex halimus* dans les régions arides et son utilisation dans la réhabilitation des sols dégradés dans ces régions.

**PREMIERE PARTIE : SYNTHESE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

## Chapitre I : Les éléments minéraux chez les ruminants

### I. 1 Importance et répartition dans l'organisme :

Les éléments minéraux sont indispensables à la vie de l'homme et de l'animal. Ils sont essentiels dans la réalisation des différentes fonctions biologiques vitales. Une vingtaine d'éléments sont considérés comme indispensables, et une quinzaine présentent un réel intérêt en nutrition animale (**Underwood et Suttle, 1999**). Ils représentent 3 à 4 % du poids d'un ruminant adulte (**Meschy et Guéguen, 1995**). La composition minérale de l'organisme animal varie en fonction de l'espèce, l'âge et de l'état d'engraissement (**Meziane, 2001**).

Chez les ruminants, les minéraux qui arrivent au système digestif ont des effets directs et indirects sur les microorganismes. Ils peuvent être cofacteurs enzymatiques, éléments précurseurs de synthèse où ils peuvent modifier les conditions physico-chimiques du milieu (pH, pression osmotique et potentiel Redox). Indirectement, les minéraux peuvent avoir une influence sur le temps de séjour de l'aliment dans le rumen ou la vitesse d'absorption des métabolites (**Broudiscou et al., 1998**).

Ils sont couramment différenciés en deux grandes catégories : Les **minéraux** dits **majeurs** ou **macroéléments** (le calcium, le phosphore, le sodium, le potassium, le magnésium, le soufre et le chlore) et **minéraux** dits **mineurs** ou **oligoéléments** (le fer, le zinc, l'iode, le cobalt, le manganèse, le cuivre, le sélénium et le chrome). La classification des minéraux essentiels en macroéléments et en oligo-éléments dépend de leur concentration dans l'organisme animal et dans le régime alimentaire.

Le tableau 1 représente les teneurs en minéraux dans l'organisme animale (**McDonald et al., 2010**) et des mammifères (**Meschy, 2010**) exprimées respectivement en g/kg de MS et en mg/kg de MS pour les éléments majeurs et mineurs. Nous constatons que le calcium, le phosphore, le fer et le zinc sont les éléments majoritaires comparativement aux autres minéraux.

Le besoin spécifique pour chaque élément nutritif varie en fonction de l'âge, du poids de l'animal et de son stade physiologique (**Meziane, 2001**), il augmente souvent très nettement à la fin de la gestation et au début de la lactation (**Marx, 2002**).

### I. 2 Les éléments minéraux majeurs :

Les éléments minéraux majeurs, ou macroéléments, représentent plus de 80 % de l'ensemble des éléments minéraux de l'organisme animal. Ils contribuent à la structure des tissus et des organes et jouent également des rôles essentiels dans le maintien des équilibres physico-chimiques dans des limites physiologiques, les échanges cellulaires et les transports d'énergie et,

pour certains, dans l'activation d'innombrables systèmes enzymatiques et hormonaux (**Meschy, 2010**).

**Tableau 1.** Teneurs en éléments minéraux dans l'organisme animal (**McDonald *et al.*, 2010\***) et dans celui du mammifère (**Meschy, 2010\*\***)

Elément majeur	g/kg		Oligo-élément	mg/kg	
	Calcium	15*		16**	Fer
Phosphore	10	10	Zinc	10-50	30
potassium	2	2.5	Cuivre	1-5	2
Sodium	1.6	1.5	Molybdène	1-4	-
Chlore	1.1	1.0	Sélénium	1-2	0.2
Soufre	1.5	2.0	Iode	0.3-0.6	0.4
Magnésium	0.4	0.5	Manganèse	0.2-0.5	3
			Cobalt	0.02-0.1	0.02

\*, \*\*: Teneurs en éléments minéraux dans un organisme animal rapportées respectivement par McDonald *et al.* (2010) et Meschy (2010).

## I. 2. 1 Le calcium :

### a- Rôles physiologiques :

Le calcium a un rôle dans l'os à la fois structurel et métabolique, tout comme le phosphore, 99 % du calcium (**Joseph et Soares, 1995 ; McDonald *et al.*, 2010**) et 80 % du phosphore de l'organisme se trouvent dans le squelette sous forme principalement de cristaux d'hydroxyapatites,  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{Ca}(\text{OH})_2$  qui constituent l'essentiel de la matière minérale de l'os (**Jean-Blain, 2002**). Le Ca est un composant essentiel de la paroi bactérienne du rumen, il favorise la digestion de la cellulose et la production des acides gras volatils (AGV) par les protozoaires (**Durand et Kawashima, 1980**).

Le tissu osseux est constamment en renouvellement par l'action des ostéoclastes et des ostéoblastes, ce qui nécessite des échanges de calcium et de phosphore en permanence entre le sang et l'os. Au niveau cellulaire, le calcium intervient dans de nombreux mécanismes comme messager. Il participe notamment à la contraction et au relâchement des fibrilles musculaires, à la transmission synaptique ou encore à l'activation d'enzymes. On lui donne aussi un rôle dans le

déclenchement de la réponse immunitaire (**Underwood et Suttle, 1999**). Le calcium est également indispensable à la coagulation sanguine puisqu'il intervient dans la transformation de la prothrombine en thrombine active.

#### **b- Absorption et excrétion :**

Bien que l'intestin soit le lieu principal de l'absorption, une perméabilité de la paroi du rumen a été montrée pour l'absorption et la sécrétion du calcium et du phosphore. L'absorption du calcium dans le rumen dépend de la concentration en calcium ionisé (voie paracellulaire) dans le milieu, le seuil étant de 1 mmol/L (**Marmont, 2013**). Le calcium est absorbé par diffusion simple dans l'intestin sur toute sa longueur particulièrement au niveau jéjunal (**Meschy et Guéguen, 1995**), et de manière active au niveau duodéal facilitée par des transporteurs spécifiques (**Guéguen et Pointillart, 2000**). Le transport actif (voie transcellulaire) devient important quand l'apport alimentaire est faible ou la demande tissulaire importante (début de lactation).

La voie transcellulaire se déroule en trois étapes. Premièrement, la pénétration dans l'entérocyte intervient au niveau de la bordure en brosse selon un processus de diffusion passive, suite à une différence de concentration de  $\text{Ca}^{2+}$  (> 1 mmol/l dans la lumière intestinale et de moins de 1  $\mu\text{mol/l}$  dans l'entérocyte). Ce transport est facilitée par une protéine transporteuse *calcium binding protein* (CaBP) ou calbindin- $\text{D}_{9\text{k}}$  (**Meschy, 2010**). Ce transport est régulé par le métabolite actif de la vitamine  $\text{D}_3$  (calcitriol).

L'efficacité de l'absorption du calcium diminue lorsque la quantité ingérée augmente. Une hypercalcémie stimule par contre la fabrication d'une hormone thyroïdienne, la calcitonine, qui augmente la fixation osseuse du calcium et du phosphore. La principale voie d'excrétion du calcium chez les ruminants est la voie fécale. L'élimination urinaire représente moins de 5 % de l'excrétion totale (**Meschy, 2010**), et elle a été estimée à 2 mg/kg de poids vif/jour (**Djaalab, 2011**).

### **I. 2. 2 Le phosphore :**

#### **a- Rôles physiologiques :**

Le phosphore est présent dans toutes les cellules de l'organisme, c'est un composant structurel des os et des dents (environ 80 à 85 %) (**McDonald et al., 2010**). Il est impliqué dans la quasi-totalité des réactions métaboliques, il participe au système tampon de l'organisme, y compris celui du liquide ruminal et de la salive (**Ramirez-Perez, 2007**).

Le phosphore est essentiel pour les bactéries, il participe aux différents systèmes enzymatiques et est indispensable pour la fermentation des glucides structurels principalement de la cellulose (**Komisarczuk et al., 1986 ; Broudicou et al., 1999**). C'est un constituant important des acides nucléiques, ATP, phospholipides de la membrane cellulaire et de l'acide teïcoïque des parois cellulaires des bactéries à Gram<sup>+</sup> (**Komisarczuk et Durand, 1991**).

**Fonty et al. (1988)** ont constaté un besoin en phosphore trois à cinq fois plus important pour les bactéries à Gram<sup>+</sup> (*Ruminococcus flavefaciens*) que pour celles à Gram<sup>-</sup> (*Fibrobacter succinogenes*).

#### **b- Absorption et excrétion :**

L'absorption du phosphore dans le rumen semble faible. Son absorption a principalement lieu dans le duodénum et le jéjunum par un transport passif, qui prédomine lorsque les apports sont suffisants, et un transport actif lorsque les animaux sont alimentés avec de faible quantité de P (**Ramirez-Perez, 2007**). L'absorption est liée positivement à l'apport alimentaire.

Le P qui n'a pas été absorbé lors de son passage intestinal est excrété. Chez les pré-ruminants, l'excrétion principale est urinaire, et chez l'adulte elle est fécale ; l'excrétion urinaire restant secondaire. Celle-ci prend de l'importance lorsque les apports sont excessifs en P (**Morse et al., 1992**), comme dans le cas des rations riches en aliments concentrés (**Meschy, 2010**). Le phosphore est principalement excrété dans les fèces jusqu' à 90 % même avec des rations pauvres en P (**Underwood et Suttle, 1999**). La salive participe à l'homéostasie du phosphore car sa concentration salivaire est déterminée par celle du sang, jusqu'à saturation vers 2,5 à 3 mmol/L dans le sang (**Marmont, 2013**).

### **I. 2. 3 Le magnésium :**

#### **a- Rôles physiologiques :**

Le magnésium est le second cation intracellulaire après le potassium. Seul 1 % environ est présent dans les liquides interstitiels et le plasma. La principale localisation du Mg de l'organisme est le squelette qui contient 50 à 70 % du magnésium total (**Paragon, 1984**). Le Mg possède un rôle non négligeable de stimulation de la réponse des ostéoclastes en réponse à la sécrétion de la parathormone (PTH) et dans la synthèse de calcitriol (**Marmont, 2013**). Il participe à la régulation des flux ioniques entre les cellules et le liquide interstitiel, permettant notamment la contraction musculaire et la transmission de l'influx nerveux. Le Mg est nécessaire à la croissance et à la protéosynthèse des bactéries du rumen. Les études *in vitro* révèlent que

l'ajout du Mg dans le liquide ruminal améliore la digestion de la cellulose (**Durand et Kawashima, 1980**).

Il est enfin nécessaire à plus de 300 réactions enzymatiques (**Meschy, 2010**) en tant que cofacteur. On trouve parmi ces réactions la phosphorylation par l'ATP et de manière générale l'action des kinases, aussi bien dans le métabolisme énergétique, protéique et lipidique (**Benz, 1995 ; McDonald, 2010**).

#### **b- Absorption et excrétion :**

Chez le ruminant adulte, l'absorption du magnésium a lieu essentiellement dans le réticulo-rumen (**Benz, 1995 ; Underwood et Suttle, 1999 ; Meschy, 2010**), et dans l'intestin grêle chez le jeune (**NRC, 2007**) et 80 % du Mg sont absorbé dans le rumen (**Jean-Blain, 2002**).

L'absorption du Mg dépend de deux mécanismes actifs, l'un paracellulaire selon un gradient de concentration, et l'autre transcellulaire en échange de deux protons et mettant en jeu la K-Na-ATPase (**Martens et al., 1991 ; Meschy, 2010**). L'absorption de cet élément est sensible aux conditions physico-chimiques du rumen : l'énergie et le potassium étant les facteurs principaux influençant son absorption. On observe une augmentation de l'absorption du magnésium avec l'énergie apportée, quelle que soit la source d'énergie, ce qui est cohérent avec l'intervention de mécanismes actifs. En outre, une forte concentration ruminale en potassium et de l'azote soluble (**Jean-Blain, 2002**) s'accompagne d'une nette diminution de l'absorption du magnésium, par modification de la différence de potentiel transmembranaire (**McDonald et al., 2010**). Un effet négatif de l'ammoniac sur l'absorption ruminale du magnésium a été suspecté. Il n'existe pas de système hormonal régulant directement la magnésémie. Le rein est l'acteur principal de sa régulation. En moyenne, l'absorption digestive du Mg est plus élevée chez les ovins que chez les bovins (**Underwood et Suttle, 1999**).

L'excrétion urinaire du Mg constitue un reflet très exact de l'apport alimentaire. Elle constitue donc l'élément variable et régulateur du bilan magnésien. Chez les ruminants, lorsque la magnésémie s'abaisse en dessous de 18 mg/l, l'excrétion urinaire est supprimée (**Jean-Blain, 2002**). **Meschy (2010)** a montré l'existence d'une relation linéaire entre la quantité de magnésium absorbée et la quantité excrétée dans l'urine. Dans le rein, le magnésium se comporte comme une substance à seuil. L'excrétion du magnésium dans les fèces est elle aussi linéairement dépendante de la magnésémie. L'excrétion fécale endogène du Mg chez les ruminants est constante, elle est de 3 mg /kg du poids corporel (PC) chez le mouton (**Jean-Blain, 2002**). La perte obligatoire de Mg dans l'urine a été estimée de 10 mg/kg PV pour les ovins (**Robson, 1990 ; Meschy, 2010**) et à 8 mg/kg PV pour les bovins (**Fisher et al., 1994 ; Meschy, 2010**).

## I. 2. 4 Le sodium et le chlore :

### a- Rôles physiologiques :

Le sodium est le principal cation présent dans le plasma et le liquide interstitiel, son rôle est comparable à celui du potassium dans la cellule (contrôle de la pression osmotique et de l'équilibre acido-basique). Des quantités importantes de Na parviennent au rumen sous la forme de bicarbonate contenu dans la salive (3 à 3.5 g/l de salive des animaux non carencés) (**Rémond et al., 1996 ; Meziane, 2001**). La pompe Na-K-ATPase est à l'origine de la différence de potentiel transmembranaire et est la base de nombreux mécanismes de transports membranaires. L'organisme animal contient 1.7 à 2 g de Na/kg PV (**NRC, 2001**).

Notons qu'environ 40% du sodium de l'organisme se trouve dans le tissu osseux. Le chlore est aussi un ion essentiellement extracellulaire. Sa teneur dans l'organisme varie de 1.2 à 1.4 g/kg PV chez les bovins (**NRC, 2001**), de 1 à 1.1 g/kg du poids vif chez les petits ruminants (**NRC, 2007**). Il permet l'acidification du contenu de la caillette et assure avec le sodium l'équilibre acido-basique du milieu extracellulaire. Le Cl et le Na sont responsables de 82 à 84 % de la pression osmotique dans les compartiments extracellulaires (**Jean-Blain, 2002**). Le Na intervient de plus dans la transmission de l'influx nerveux, la contraction musculaire et comme agent de cohésion au niveau de l'os (**Paragon, 1984**).

### b-Absorption et excrétion :

L'absorption du sodium et du chlore a une efficacité de 90 % en moyenne (**Meschy, 2010**) tout au long du tube digestif. Une réduction est possible lorsque le pH ruminal diminue ou lorsque les apports en potassium sont élevés. L'absorption du Na au niveau de la lumière intestinale se fait par un co-transport avec les acides aminés et le glucose ou par échange avec des protons H<sup>+</sup> intracellulaire sous l'action de l'enzyme l'anhydrase carbonique, celle du Cl se fait par échange au bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sous l'effet de la même enzyme (**Underwood et Suttle, 1999**).

Leur excrétion est surtout rénale, la régulation de la natrémie est effectuée par le système rénine-angiotensine-aldostérone. La réabsorption du chlore est passive. La quantité de sodium excrétée dans l'urine est directement liée aux apports de sodium de la ration (**Marmont, 2013**). L'élimination du sodium et du chlore est urinaire et ils ne sont pas stockés dans l'organisme. Les pertes par la sueur deviennent appréciables suite à un climat chaud ; on les estime de 10 à 15 mg de Na/kg PV/j ce qui élève d'autant le besoin (**Paragon, 1984**).

## I. 2. 5 Le potassium :

### a- Rôles physiologiques :

Le potassium total de l'organisme des mammifères se localise à 98 % dans le secteur intracellulaire (**Jean-Blain, 2002**). Ce qui en fait le principal cation intracellulaire, contrairement aux autres électrolytes (sodium et chlore). Les cellules musculaires et hépatiques constituent les principales réserves de cet élément ; les hématies quant à elles stockent environ 2 % du potassium intracellulaire (**Casenave, 2005**). La répartition entre le potassium intracellulaire et le potassium extracellulaire est contrôlée par une pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase énergie dépendante. Le rapport des concentrations de potassium de part et d'autre de la membrane cellulaire régule la valeur du potentiel de membrane, élément essentiel de l'excitabilité et de la contraction musculaire, en particulier cardiaque. Le potassium intervient dans l'équilibre acido-basique et la pression osmotique des cellules, ainsi que dans la régulation du métabolisme énergétique et protéique (**Marmont, 2013**).

### b- Absorption et excrétion

L'absorption du potassium a lieu dans le rumen et dans l'intestin grêle, par diffusion passive. Elle est très efficace, 90 % à 95 % (**Meschy, 2010**), et ne semble pas varier en fonction des aliments. Les principaux sites de réception des ions potassium sont le jéjunum et l'iléon (60 %) et aussi le caecum et le gros intestin (**Djaalab, 2011**).

Son excrétion est principalement urinaire, au niveau du tube contourné distal (sous le contrôle de l'aldostérone) ; elle est secondairement fécale. L'excrétion urinaire de potassium dépend directement des apports. Chez les ovins, dans des conditions chaudes et humides, environ 30 % de l'excrétion potassique se fait à travers la peau (**Casenave, 2005**). Les bovins, comme les ovins, perdent de grandes quantités de potassium dans la sueur sous la forme de carbonate de potassium anhydre ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) et de bicarbonate de potassium ( $\text{KHCO}_3$ ) (**Schoneville et al., 1997**). Le pourcentage de perte étant positivement corrélé à la température ambiante. On estime qu'environ 86 % du potassium ingéré est excrété dans l'urine chez les bovins (**Horst et al., 1997**). Lorsque les animaux reçoivent des rations riches en potassium, il se produit alors un phénomène adaptatif au niveau rénal qui permet une plus grande excrétion de cet électrolyte.

Les tableaux suivants (2, 3, 4 et 5) représentent les besoins recommandés en minéraux chez les ruminants en se basant sur les systèmes NRC et ARC, INRA et sur les recherches obtenues en production animale.

Le tableau 2 représente les besoins en macroéléments (Ca, Mg, P, Na et K) recommandés chez les ruminants, en se basant sur les recommandations des NRC et ARC (**McDowell et Valle,**

2000). Les besoins faibles ont été accordés au Na de l'ordre de 0.6 à 1.8 g/kg, et les plus élevés ont été indiqués pour le K et le Ca.

**Tableau 2** : Les besoins en minéraux recommandés chez les ruminants exprimés en g/kg MS (McDowell et Valle, 2000)

Elément minéral	Besoins des ruminants (g/kg MS)
Ca	1.8-8.2
Mg	1-2
P	1.8-4.8
K	6-8
Na	0.6-1.8

Le tableau 3 indique les apports recommandés en minéraux majeurs et en oligoéléments chez la vache laitière produisant 25 à 26 litres de lait/jour. Les besoins en Ca, P et en Na s'élèvent en fonction de la quantité de lait produit. L'apport en K dans la ration doit être surveillé pour que l'absorption du Mg ne soit pas perturbée. Celui du Cu est lié au taux du Mo dans la ration, qui interagit avec le Cu et réduit son absorption.

**Tableau 3** : Apports recommandés en minéraux chez la vache laitière haute productrice (Coïc et Coppenet, 1989 ; Kessler, 2001)

Elément minéral	Coïc et Coppenet (1989)	Kessler (2001)
Phosphore (‰ de la MS)	4.2	3.5 – 4*
Calcium (‰ de la MS)	7.2	5.5-6.5*
Magnésium (‰ de la MS)	1.5	1.5**
Sodium (‰ de la MS)	1.5	1.0-1.5*
Soufre (‰ de la MS)	1.5	-
Potassium (g/kg MS)	-	Moins de 35
Manganèse ppm MS	50	40*
Zinc ppm de la MS	50	50
Cuivre ppm de la MS	10	10***
Cobalt ppm de la MS	0.1	0.1
Sélénium ppm de la MS	0.1	0.1
Iode (mg/kg MS)	-	0.2-0.6*

\* : valeur inférieure jusqu'à 25 kg de lait ; valeur supérieure dès 26 kg de lait ;

\*\* : avec l'herbe de printemps ou si la teneur en K dans la ration dépasse 35 g/kg MS, Mg :2.5 g/kg MS ration ; \*\*\* : le rapport Cu : Mo dans la ration doit être supérieure à 2 : 1.

Le tableau 4 résume les apports (minimal et maximal) recommandés en minéraux chez les bovins selon le calcul du NRC (2000). Les macroéléments sont exprimés en pourcentage de la matière sèche ingérée (% MSI) et les oligoéléments sont en mg/kg MSI. Le cadmium (Cd) et le plomb (Pb) sont des éléments toxiques pour l'animal, qui peut tolérer un maximum de 0.5 et 30 mg/kg MSI pour le Cd et le Pb respectivement.

**Tableau 4.** Recommandations d'apport minimal et seuil maximal en différents éléments essentiels et non essentiels chez les bovins (Synthèse de Christelle ROY, GCDS en se basant sur la norme américaine (NRC 1996 et 2000)

Élément	Apport minimal	Apport maximal
Calcium % de la MSI*	0.20	0.60
Phosphore % de la MSI	0.15	0.40
Magnésium % de la MSI	0.10-0.20	0.40
Potassium % de la MSI	0.65-0.80	3
Sodium % de la MSI	0.06-0.10	>0.10
Soufre % de la MSI	0.15	0.40
Cuivre mg/kg MSI	4 -15	100
fer mg/kg MSI	12-50	1000
Manganèse mg/kg MSI	14-40	1000
Zinc mg/kg MSI	30-42	500
Cadmium mg/kg MSI	-	0.5
Plomb mg/kg MSI	-	30

\* : MSI : matière sèche ingérée.

Au regard des tableaux précédents nous constatons que les recommandations en minéraux majeurs établies par NRC et ARC sont des concentrations bien définies en fonction de la MSI. Par contre, celles établies par le calcul INRA sont en relation avec du gain moyen quotidien (GMQ) et du poids vif (PV) de l'animal, et les équations de calcul du besoin varient d'un stade physiologique à un autre (INRA, 2007 ; Meschy, 2007). Les besoins d'entretien et de croissance sont en relation directe du poids vif (PV) et du gain moyen quotidien (GMQ), ceux de gestation s'élèvent au cours du 7<sup>ème</sup> et du 9<sup>ème</sup> mois de gestation (tableau 5).

**Tableau 5** : Equations pratiques de calcul des besoins en éléments minéraux majeurs absorbables (INRA, 2007 ; Meschy, 2007)

Minéral	Besoins d'entretien et de croissance (g/j)	Besoin de gestation (g/j)
Phosphore (P abs)	$(0.013 \times PV) + (6.76 \times GMQ) + 1.6$	7 mois : 2.9 / 9 mois : 5.3
Calcium (Ca abs)	$(0.010 \times PV) + (11.3 \times GMQ) + 2.05$	7 mois : 3.9 / 9 mois : 9.7
Magnésium (Mg abs)	$(0.007 \times PV) + (0.40 \times GMQ)$	Du 7 <sup>ème</sup> au 9 <sup>ème</sup> mois : 0.3
Sodium (Na abs)	$(0.015 \times PV) + (1.40 \times GMQ)$	Du 7 <sup>ème</sup> au 9 <sup>ème</sup> mois : 1.3

PV : poids vif en kg ; GMQ : gain moyen quotidien en kg/j ; abs : absorbable.

### I. 3 Les oligo-éléments essentiels chez les ruminants :

Les oligoéléments sont des substances qui, par leur présence ou leur action directe, permettent dans l'organisme animal une activité à dominante enzymatique. Ils doivent faire partie de la ration des animaux au même titre que les éléments énergétiques, les matières azotées et les minéraux majeurs (Ismail *et al.*, 2011). Les déficits minéraux peuvent être la conséquence d'un déficit alimentaire ou également de troubles physiologiques au niveau des mécanismes d'absorption et de rétention de ces éléments. Dans la synthèse qui suit seuls les oligo-éléments suivants : le cuivre, le zinc, le manganèse et le fer feront l'objet de commentaires.

#### I. 3. 1 Le cuivre :

##### a- Rôles physiologiques :

Il se situe principalement dans le tissu osseux (environ 40 %), les muscles (20 %), le foie qui joue le rôle d'organe de réserve régulateur (10 %) et le compartiment sanguin (5 à 6 %) (Meschy, 2010) ; de faibles quantités se trouvent dans les autres tissus et organes. L'importance biologique du cuivre découle de sa présence comme composant, cofacteur de nombreuses métallo-enzymes (Baker et Ammerman, 1995 ; Jean-Blain, 2002) ou activateur dans de nombreux systèmes enzymatiques dont les principaux sont regroupés dans le tableau 6. Durand et Kawashima (1980) ont révélé que la fraction microbienne bactérienne du rumen accumule des concentrations en Cu, Zn et en Fe plus élevées que celles du régime alimentaire administré avec une forte fixation pour le Cu. Les principales fonctions physiologiques auxquelles participent les enzymes cupro-dépendantes sont la production de mélanine, de collagène et d'élastine, le développement osseux et nerveux, la production de l'hémoglobine, la souplesse des vaisseaux sanguins et du tissu pulmonaire et le fonctionnement des systèmes immunitaire (Laurent, 2008), reproducteur et digestif. Le cuivre joue aussi un rôle important

sur la production du lait aussi bien en quantité qu'en qualité ainsi que dans la lutte contre les mammites en améliorant l'état de la santé de la mamelle.

**Tableau 6.** Implication du cuivre dans les principaux systèmes enzymatiques (**Underwood et Suttle, 1999 ; Suttle, 2010**).

Système enzymatique	Principales fonctions
Céruoplasmine (ferroxydase)	Métabolisme du fer, hématopoïèse
Cytochrome C oxydase	Oxydations cellulaires (transport d'électrons)
Dopamine mono-oxygénase	Synthèse des catécholamines (système nerveux)
Galactosylméthyltransférase	Synthèse de la myéline (système nerveux)
lysylxydase	Synthèse du collagène, système cardiovasculaire
Superoxyde dismutase	Système antioxydant, défense immunitaire
Thioloxydase	Synthèse de la kératine (phanère)
Tyrosinase	Synthèse de la mélanine (coloration du poil)

#### **b- Absorption et excrétion :**

Le cuivre est susceptible d'être absorbé tout au long du tractus digestif, mais les sites les plus importants d'absorption sont le duodénum et l'iléon (**Auza, 1983 ; Harris, 1997 ; Meschy, 2010**) et aussi au niveau du jéjunum (**Paragon, 1984**). Chez les ruminants, le cuivre est absorbé selon deux mécanismes distincts : un transport actif saturable et une diffusion passive non saturable (**Underwood et Suttle, 1999**), ce mécanisme d'absorption est complexe et incomplètement connu. La solubilité du Cu et celles des autres oligo-éléments (Zn, Mn et Fe) est favorisée par un milieu acide, elle diminue en milieu ruminal qui est légèrement acide (pH : 6.0-6.8) suite à la formation des complexes insolubles (**Spears, 2003**). Il semble que le Cu est véhiculé sous forme liée aux acides aminés en particulier l'histidine dans la lumière intestinale, il se lie ensuite dans les entérocytes à un type particulier de protéines de faible poids moléculaire, dépourvues d'acides aminés aromatiques, **les métallothionéines**, qui jouent à la fois un rôle de transporteur de cuivre et de système de régulation de l'absorption. Le Cu est ensuite relargué par un phénomène de transport actif dans la circulation porte, où il est associé principalement à l'albumine et également à des acides aminés (l'histidine et la thréonine) (**Jean-Blain, 2002**), cette forme de Cu diffusible est très importante car elle favorise les échanges avec le foie. Au

niveau hépatique le Cu est incorporé à la céruloplasmine : forme principale de transport du Cu vers les tissus périphériques (globules rouges, tissu conjonctif, tissu nerveux, poils...) et une partie est éliminée par la voie biliaire (**Auza, 1983 ; Paragan, 1984**). L'efficacité de l'absorption intestinale du cuivre diminue avec l'âge, elle atteint 70 à 85% avant le sevrage et elle devient moins de 10 % après (**Suttle, 1975 ; Spears, 2003**). L'excès de certains minéraux en particulier le fer, et dans une moindre mesure le calcium et le zinc peuvent pénaliser cette absorption. L'effet négatif du soufre et du molybdène sur la biodisponibilité du cuivre a été évoqué par plusieurs auteurs (**Paragan, 1984 ; Underwood et Suttle, 1999 ; McDowell, 2003**). Le cuivre est principalement éliminé par voies fécale et biliaire et à un moindre degré par voies urinaire et mammaire. L'élimination urinaire devient importante avec l'augmentation du taux de molybdène dans la ration.

### I. 3. 2 Le zinc :

#### a- Rôle physiologique :

Le zinc est le second oligo-élément par importance dans l'organisme d'un mammifère après le fer, qui en contient approximativement 30 mg/kg PV (**Meschy, 2010**). Il est très bien réparti dans l'organisme et est généralement associé aux protéines au tissu squelettique et à la peau. Le Zn a tendance à s'accumuler plus dans l'os que dans le foie (**McDonald *et al.*, 2010**), qui est l'organe de stockage de la plupart des oligo-éléments. Environ 20 % du zinc est présent dans la peau et les phanères (**Ewing et Charlton, 2005**). Le zinc intervient dans de très nombreux systèmes enzymatiques dont il est un composant ou un cofacteur. Les principales implications du zinc dans les systèmes enzymatiques sont regroupées dans le tableau 7 (**Underwood et Suttle, 1999**). Le zinc participe à la synthèse des acides nucléiques et dans le métabolisme énergétique. Il est indispensable à la production des hormones stéroïdiennes sexuelle, les glucocorticoïdes et l'hormone de croissance. Il intervient dans la régulation de l'équilibre acido-basique et dans le maintien de l'intégrité des membranes cellulaires (**Jean-Blain, 2002 ; McDonald *et al.*, 2010**). Le Zn et le Cu sont impliqués dans la régénération du bouchon de kératine qui se trouve dans le canal du trayon et qui empêche les bactéries de remonter dans la glande mammaire par un effet de barrière mécanique et aussi grâce à ces propriétés bactéricides.

Le Zn est un composant essentiel de la paroi des bactéries du rumen, il stabilise les composants de la cellule bactérienne (ribosomes, membrane), c'est un constituant de métalloenzymes microbiennes du rumen (métabolisme nucléaire d'ADN polymérase et de l'ARNase) (**Durand et Kawashima, 1980**).

**Tableau 7** : Principales implications du zinc dans les systèmes enzymatiques (**Underwood et Suttle, 1999**)

<b>Système enzymatique</b>	<b>Principales fonctions</b>
Alcool déshydrogénase	Conversion alcool aldéhyde
Anhydrase carbonique	Cycle du CO <sub>2</sub>
ADN polymérase	Division cellulaire
ARN polymérase	Synthèse protéique
Carboxypeptidase	Métabolisme azoté
Collagénase	Métabolisme osseux et cartilagineux
Zn-superoxyde dismutase	Système antioxydant

**b- Absorption et excrétion :**

L'absorption du zinc se fait essentiellement au niveau du jéjunum (**Jean-Blain, 2002**), la contribution du rumen pourrait être significative (**Meschy, 2010**). Chez le mouton, il est absorbé au niveau de la caillette et du jéjuno-iléon (**Marx, 2002**). Le transport de Zn à travers la membrane intestinale est un transport actif (ATP dépendant), son transfert vers le plasma par le biais de l'albumine est passif (**Paragon, 1984**). Dans l'entérocyte, le zinc est capté par la métallothionéine, protéine dont la synthèse est elle-même induite par le zinc. Le complexe zinc-métallothionéine est une forme de stockage de l'élément au niveau intestinal et hépatique. La métallothionéine n'est pas spécifique au zinc, elle se lie également au cuivre, ce qui explique les interactions négatives pouvant se manifester au niveau de l'absorption des oligoéléments. Lorsque la concentration en zinc dans la muqueuse intestinale est faible, il se lie préférentiellement à une protéine riche en cystine (*cystine-rich intestinal protein*, CRIP) et, dans le cas contraire, à la métallothionéine (**Meschy, 2010**). Seule la liaison zinc-CRIP permet un passage important du zinc vers le compartiment sanguin, la synthèse de la métallothionéine limitant au contraire l'absorption du zinc dans le cas où l'apport alimentaire est excessif. L'efficacité de l'absorption intestinale du zinc est très sensible aux apports alimentaires (**Spears, 2003**). Elle peut passer de moins de 10 % en cas d'alimentation pléthorique à plus de 80 % lorsque la ration est fortement carencée (**McDowell, 2003**).

L'accélération du transit, l'excès de soufre et l'ingestion de terre (**Lamand, 1991 ; Meschy, 2010**), et les apports élevés en Ca, phytate et en fibres (**Spears, 2003**) sont susceptibles de

diminuer l'utilisation digestive du zinc. Il en va de même pour les apports élevés en cuivre ou en plomb et en cadmium (**MacPherson, 2000**) car ces éléments, en stimulant la synthèse de métallothionéine, freinant le transport du zinc de l'entérocyte vers le sang. Le foie peut capter une partie du zinc circulant et le stocker sous forme de complexe zinc-métallothionéine, ou en éliminer une partie par voie biliaire. L'excrétion du zinc étant principalement fécale (95-98 %) (**Jean-Blain, 2002**). L'élimination urinaire est négligeable. La sécrétion par le lait se situe à un niveau fixe mais elle est susceptible de variation en fonction des apports. L'homéostasie du zinc est essentiellement digestive, la capacité d'absorption intestinale s'adaptant aux fluctuations de l'apport alimentaire. Une importante accumulation du Zn a été observée au niveau du pancréas, le foie et le rein lors d'apports particulièrement élevés (**Meschy, 2010**).

### I. 3. 3 Le manganèse :

#### a- Rôles physiologiques :

La nécessité du Mn dans l'alimentation des animaux a été décrite tout d'abord chez les volailles suite à l'apparition de la pérose et de la chondrodystrophie (**Jean-Blain, 2002**) chez le poulet suite à la carence au Mn, puis chez les ruminants (**Underwood et Suttle, 1999 ; Suttle, 2010**). Les fonctions du manganèse sont liées à sa présence, en tant que composant, dans divers enzymes (arginase, pyruvate carboxylase, Mn-superoxyde dismutase) et son rôle d'activateur de nombreuses autres enzymes (tableau 8). Il intervient dans le métabolisme glucidique et lipidique, le mécanisme de défense immunitaire, le système antioxydant et dans le développement et le fonctionnement de l'appareil reproducteur. Le Mn se concentre dans le foie, le tissu osseux, le pancréas, le rein, la glande pituitaire et les organes reproducteurs (**McDonald et al., 2010**).

L'organisme d'un ruminant adulte en renferme environ 3 mg/kg PV. Il est nécessaire dans de nombreux systèmes enzymatiques de la flore ruminale, et il permet la fixation du CO<sub>2</sub> sur la bactérie *Ruminococcus flavefaciens* afin de produire l'acide succinique (**Durand et Kawashima, 1980**).

#### b- Absorption et excrétion :

Le manganèse est absorbé dans tous les segments de l'intestin grêle avec une efficacité très faible (moins de 1%) (**Speras, 2003**). Chez les bovins, l'absorption varie de 1 à 4 % quel que soit le niveau de l'apport alimentaire (**Henry, 1995 ; Meschy, 2010**). Les interférences digestives sont susceptibles de réduire la disponibilité du Mn. Il a été rapporté que l'excès du calcium et du phosphore (**MacPherson, 2000 ; Speras, 2003**) constitue la principale cause de carence chez les bovins (**Lamand, 1991**). En outre d'autres interactions ont été décrites avec l'excès du fer,

du soufre et du potassium. Le stockage hépatique du Mn reste limité (10 mg), il s'accroît lors d'apport libéral. L'excrétion du manganèse est exclusivement fécale (**Paragan, 1984**) à raison de 95 à 98 % (**Meschy, 2010**). L'excrétion urinaire et lactée est faible. Les concentrations physiologiques tissulaires du Mn sont maintenues par le foie et l'intestin grêle.

**Tableau 8.** Principales implications du manganèse dans les systèmes enzymatiques (**Meschy, 2010**)

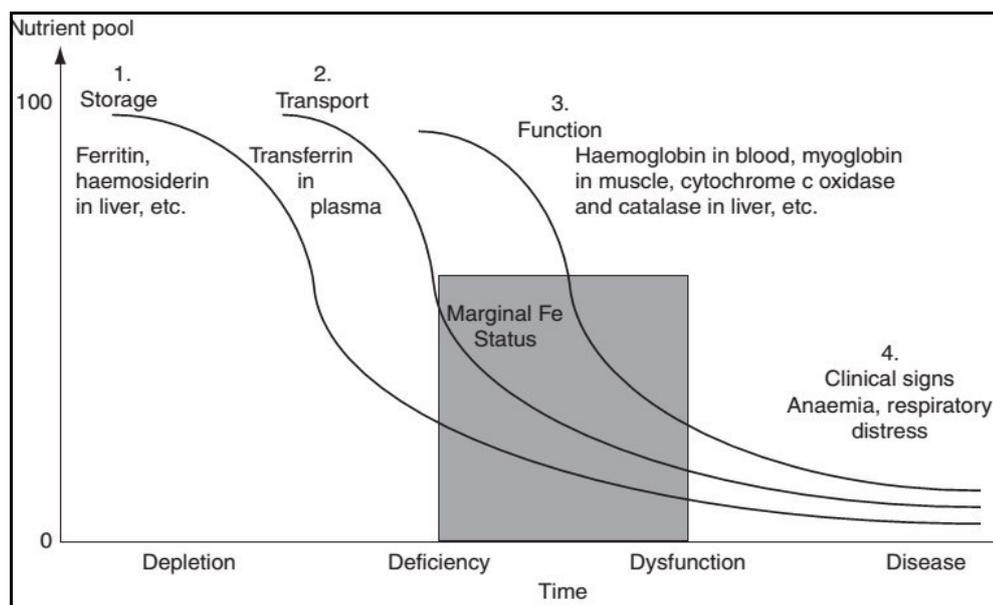
Système enzymatique	Principales fonctions
Arginase	Métabolisme azoté
Glutamine synthétase	Métabolisme azoté
Glycosyl transférase	Métabolisme osseux et cartilagineux
Mn-catalase	Système antioxydant
Mn-peroxydase	Système antioxydant
Mn-superoxyde dismutase	Système antioxydant
Phosphoénolpyruvate carboxylase	Métabolisme énergétique
Pyruvate carboxylase	Métabolisme énergétique

### I. 3. 4 Le fer :

#### a- Rôles physiologiques :

Le fer est présent dans l'organisme animal dans la proportion de 50 à 100 mg/kg du poids corporel (PC) (**Jean-Blain, 2002**), en fonction de l'espèce, l'âge, le sexe de l'animal et son état de santé (**Henry et Miller, 1995**). Il est très abondant dans le sol et les fourrages. Le fer de l'organisme est lié à deux type de protéines : celles qui possèdent un ou plusieurs groupements prosthétiques de type hème et celles qui ne possèdent pas ces groupements. Plus de 90% du Fe de l'organisme est lié aux protéines dont la plus importante est l'hémoglobine, qui contient 3.4 g de fer /kg (**MacDonald et al., 2010**). La figure 1 résume les différentes formes de cinétiques du fer (son transport et son stockage dans le foie), son rôle physiologique et les signes cliniques de carence accordés à cet élément. Il est étroitement associé au métabolisme de l'oxygène en particulier sous forme héminique : hémoglobine (60-70 % du Fe), myoglobine (3%) (Transport de l'oxygène), cytochrome, catalase, peroxydase (mécanisme d'oxydoréduction) (**Paragan,**

**1984**). Le fer non hémunique correspond à la transferrine (forme circulante), et à la ferritine et hémossidérine (forme de réserve soluble et insoluble respectivement) stockée principalement dans le foie, la rate, la moelle osseuse et l'intestin grêle. Le Fe est essentiel aussi bien pour les bactéries aérobies que les anaérobies. Il est nécessaire à la synthèse de nombreuses enzymes des micro-organismes du rumen au cours de leur croissance (**Durand et Kawashima, 1980**).

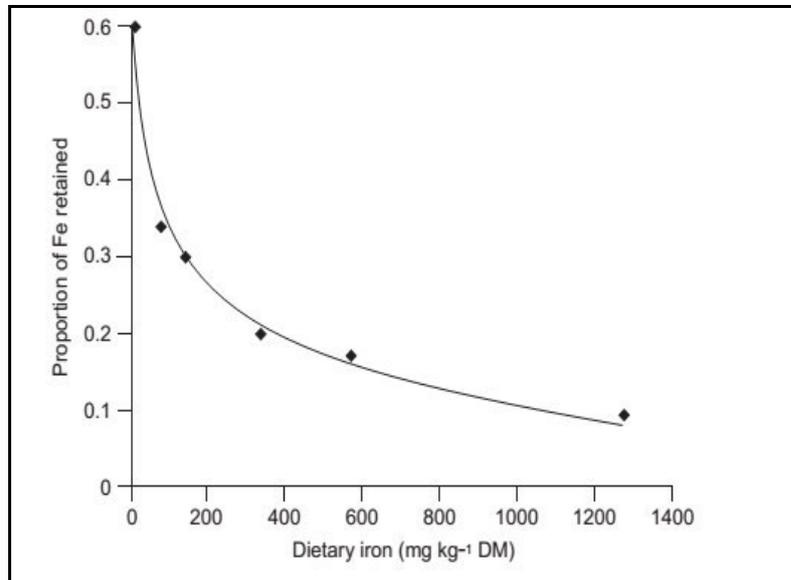


**Figure 1 :** La séquence des changements biocliniques conduisant à l'apparition des signes cliniques du déficit du fer (**Underwood et Suttle, 1999 ; Suttle, 2010**)

### **b- Absorption et excrétion :**

L'absorption du fer est principalement duodénale (**Underwood and Suttle, 1999**) et secondairement jéjunale (**Jean-Blain, 2002**) sous forme de fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) par un transport actif. L'absorption est beaucoup plus importante chez le jeune en croissance que chez l'adulte. Chez les animaux déficitaires l'absorption du fer est plus importante, et son efficacité d'absorption est en relation à son état au niveau intestinal (**Underwood and Suttle, 1999**). La figure 2 montre que l'intensité d'absorption du fer diminue avec l'augmentation de l'apport alimentaire. Cette diminution d'absorption est due soit à son stockage au niveau hépatique, soit à des interactions digestives avec d'autres éléments minéraux ou à des formes de fer non disponible (fer ferrique  $\text{Fe}^{3+}$ ), ce qui empêche son absorption. Cela confirme que l'efficacité d'absorption du fer est liée à son état au niveau intestinal. L'apport de la vitamine C (**Paragan, 1984**) et en protéine sont susceptibles d'améliorer sa biodisponibilité (**Jean-Blain, 2002**). Cependant, celui des fibres solubles, les phytates, l'excès de calcium, de cuivre ou de zinc détériore son utilisation.

L'excrétion de fer s'effectue principalement par voie fécale, l'élimination biliaire et urinaire est très faible. Le lait est pauvre en fer.



**Figure 2** : L'absorption du fer est fonction des besoins de l'organisme chez le rat et diminue progressivement avec l'augmentation de l'apport alimentaire (**Underwood and Suttle, 1999**).

Les apports recommandés en oligo-éléments ont été estimés à partir d'études des seuils de carence et ceux de la toxicité. Une synthèse des recommandations des principaux oligo-éléments chez les ruminants est présentée dans le tableau 9

**Tableau 9 :** Apports recommandés en oligo-éléments et seuil de carence et toxicité chez les ruminants (en mg/kg MS ration) **(Coïc et Coppenet, 1989 ; Meschy, 2007\* ; Ramirez-Orduna et al., 2005\*\*)**

Eléments (mg/kg MS)	Limite de carence	Apports Ruminants	Apports chèvres	Limite de toxicité
Cu	7	10	9**	15 (OV), 30 (jeunes BV) et 100 (BV)
Zn	45	50	30** à 50*	250
Mn	45	50	30**	1000
Fe	5 (BV), 15 (OV)	30	35**	-
Se	0.1	0.1	0.1*	0.5
I	0.15	0.5-0.8 <sup>(1)</sup>	(0.4-0.6) *	8
Co	0.07	0.3	0.1*	10
Mo	-	0.1	0.1*	3 (bovins)

<sup>(1)</sup> femelles à forte production laitière ; BV : bovins, OV : ovin ; \* : concentrations rapportées par Meschy (2000) chez les chèvres ; \*\* : valeurs rapportées par Ramirez-Orduna *et al.* (2005).

#### I. 4 Les oligo-éléments toxiques chez les ruminants :

Les ruminants peuvent être exposés à des concentrations toxiques de métaux lourds et d'autres oligo-éléments par la consommation de l'eau et des fourrages contaminés au pâturage **(Varadyova et al., 2006 ; Mihalikova et al., 2009)**. Les fourrages sont susceptibles d'être contaminés par les retombées de particules et peuvent, dès lors, affecter le bétail qui les consomme. L'arsenic, le cadmium, le fluor, le mercure et le plomb sont classés dans la catégorie des éléments toxiques. Toutefois, certains de ces éléments sont, à des doses infimes, nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme.

Il est connu depuis longtemps que les effets des métaux lourds (As, Pb, Cd, Ni, Cr, et Hg) et de certains éléments essentiels (Cu, Se, Zn, Fe, Mn et Co) sur l'activité et la croissance de la microflore bactérienne du rumen **(Forsberg, 1978)**, et par conséquent sur la productivité des ruminants. La transformation microbienne des éléments traces métalliques, par exemple la méthylation du mercure (méthyl-mercure) devient encore plus toxique, plus mobile et plus bio-assimilable. Ces microbes peuvent également modifier l'activité des métaux lourds en diminuant leur toxicité par précipitation. Cette dernière est en relation avec la concentration du métal dans le milieu ruminal et de sa forme ionique **(Mueller et Steiner, 1992)**.

A des concentrations élevées en métaux lourds, la croissance des protozoaires est plus touchée que celle des bactéries (**Durand et Kawashima, 1980**). La sensibilité des bactéries du rumen vis-à-vis des métaux est liée à l'espèce et leur activité métabolique (**Forsberg, 1978 ; Faixova et Faix, 2002 ; Mihalikova et al., 2009**).

Dans la partie qui suit le cadmium et le plomb feront l'objet d'une synthèse bibliographique en relation avec les résultats que nous avons obtenus dans le sol et dans la végétation

#### **I. 4. 1 Le cadmium :**

##### **a- Caractéristiques :**

Bien que n'appartenant pas au groupe d'éléments minéraux essentiels, l'apport alimentaire insuffisant de cadmium (Cd) provoque des retards de croissance chez les chèvres (**Meschy, 2010**), une diminution de la production laitière et donnent naissance à des animaux fragiles (**Faixova et Faix, 2002**). Les besoins alimentaires de cet élément sont très faibles (de 0.1 à 0,2 mg/kg MS) et largement couverts par les rations usuelles (tableau 10). En dehors des contaminations accidentelles, les aliments des ruminants contiennent très peu de cadmium. Les sources principales du Cd sont les minerais, les fertilisants phosphatés, les matières premières et les boues d'épuration (**Phillipes et al., 2005**). Ces dernières constituent une source importante de contamination des fourrages en Cd.

##### **b-Absorption et élimination :**

Les deux principales voies d'absorption du Cd sont l'inhalation et l'ingestion, la voie percutanée est négligeable, inférieure à 1 % (**Picot, 2010 ; Faiz, 2011**). La fraction du Cd inhalée se dépose le long du tractus respiratoire, seules les particules de 0.1 µm de diamètre atteignent les alvéoles et sont résorbées (**Faiz, 2011**). Une partie du métal est repoussée par action mucociliaire vers l'œsophage au niveau duquel il peut être également absorbé par voie orale (**Bonet, 2011 ; Bisson et Houeix, 2014**). Dans l'appareil respiratoire, les particules de Cd sont capturées par les macrophages et oxydés à l'état de cation divalent (Cd<sup>++</sup>) qui peut ainsi passer dans le sang (**Picot, 2010**). Chez les ruminants, le taux d'absorption du Cd par la voie digestive au niveau gastro-intestinal est de l'ordre de 0.5 à 3 % (**Faroon et Ashizawa, 2012**). La carence alimentaire en calcium, en fer, en zinc, en cuivre et en vitamine D peut augmenter ce taux d'absorption. En raison de leur configuration électronique proche, le cadmium et le cuivre, le fer et surtout le zinc sont concurrents à l'égard des protéines de transport intestinal (**Meschy, 2010**). Le Cd est transporté dans le sang sous forme liée à l'albumine, à l'hémoglobine ou aux métallothionéines (MT), protéine de faible poids moléculaire riche en groupement SH dont la synthèse est stimulée par la présence de cet élément. Il se concentre surtout dans le foie, les os

et les reins (**Houpert et al., 1995**). Le Cd est très faiblement éliminé. Il est excrété principalement par l'urine et les fèces et une faible excrétion par la salive, la sueur et les phanères (**Perrin, 2007**).

#### **I. 4. 2 Plomb :**

##### **a- Caractéristiques :**

Le plomb (Pb) est l'un des métaux lourds les plus toxiques. Il est également un polluant environnemental, surtout dans les sols et l'atmosphère au voisinage des sites industriels et dans les zones de fort trafic automobile. Les apports naturels de Pb dans l'environnement ne représentent qu'environ 4% des émissions totales et se font essentiellement sous forme inorganique (**Matias, 2008**). Les aliments des ruminants ne sont pas naturellement riches en Pb mais susceptibles d'être fortement contaminés (**Meschy, 2010**). Chez les ruminants l'intoxication aiguë par le plomb est relativement rare et toujours accidentelle, suite à une ingestion de corps étranger riche en plomb. Les concentrations en Pb allant de 1 à 6 mg/kg MS sont considérées non nocives aux ruminants. Le tableau 10 indique que les teneurs en Pb qui varient de 20 à 1000 mg/kg MS sont élevées et celles qui sont supérieures à 2000 mg/kg MS sont toxiques pour les ruminants (**Underwood et Suttle (1999)**).

##### **b- Absorption et élimination :**

Les voies de pénétration du plomb sont : pulmonaire, digestive et secondairement cutanée (**Sellaoui, 2017**). Chez les bovins, la principale voie d'entrée est la voie orale. Le plomb est absorbé dans le duodénum (**Delphine, 2001**) par un transport actif même à des concentrations élevées dans la lumière du tube digestif. La diffusion passive représente moins de 20 % du flux total (**Bismuth et al., 2002 ; Sellaoui, 2017**).

Il est admis que le plomb est faiblement absorbé. Ceci dépend en fait de la forme chimique sous laquelle se trouve cet élément, de la taille des particules ingérées, de l'espèce, de l'âge et du régime alimentaire (**Boufedda, 2015**). De nombreux facteurs peuvent favoriser l'absorption du Pb. Avec des régimes riches en graisse ou lors de certaines carences, notamment en fer et en calcium, l'absorption du Pb est accrue (**Sellaoui, 2017**).

Le transport du Pb s'effectue à 90 % par un mécanisme passif. Le plomb est transporté vers les tissus mous, et tout particulièrement vers le foie et les reins où il peut être stocké. Après quelques semaines 90 % du Pb conservé dans l'organisme est stocké dans les os (tableau 10) ou dans les dents où il peut rester des dizaines d'années s'il n'est pas remobilisé (gestation, lactation) (**Mehennaoui, 1995**). L'élimination du Pb se fait principalement par la voie fécale à raison de 90 à 96 % du Pb ingéré non absorbé (**Sellaoui, 2017**). La quantité absorbée est

éliminée par les urines (plus de 75%) et par la bile (16%). La desquamation cutanée, les phanères peuvent également servir à l'élimination d'une petite quantité ; la voie salivaire présente une importance diagnostique (Boufedda, 2015).

**Tableau 10** : Variation des teneurs en Cd et en Pb dans les organes en fonction de leurs teneurs dans le régime alimentaire chez les bovins et les ovins (Puls, 1994 ; Underwood et Suttle, 1999)

Elément	Statut	Régime Os		Foie Rein		Sang (mmol/l)
		(mg/kg MS)		(mg/kg MF)		
<b>Cd</b>	N	0.1-0.2	-	0.02-0.05	0.03-0.10	-
	E	0.5-5.0	-	0.1-1.5	1.0-5.0	-
	T	>50	-	50-60	100-250	-
<b>Pb</b>	N	1-6	1-7	0.1-0.5	0.1-0.5	0.05-0.25
	E	20-1000	30-75	0.8-2.0	0.7-4.0	0.5-1.5
	T	> 2000	> 75	>8.0	> 20.0	> 2.0

N : normal, E : élevé et T : toxique. MS : matière sèche ; MF : matière fraîche.

## Chapitre II : les ressources fourragères et place de l'*Atriplex halimus* dans les parcours fourragers des ruminants dans les régions arides de l'Algérie

### II. 1 Notion et état de parcours fourrager :

Le terme **pâturage** définit à la fois l'opération de prélèvement de l'herbe par les animaux et le lieu où s'effectue cette action. On désigne généralement par parcours, des pâturages formés par une végétation spontanée et exploitée de manière extensive en vue de l'alimentation d'un cheptel, essentiellement ovin (**Nedjimi et Homida, 2006**). La définition du terme parcours adoptée par la **FAO (2005)**, reprise par **Bencherif (2011)** signifie un pâturage saisonnier exploité au long d'un itinéraire suivi par le troupeau. Les parcours aussi englobent toutes les terres produisant spontanément du fourrage utilisé directement par les animaux pour s'alimenter.

En Algérie, les zones arides sont pourvues d'un couvert végétal particulier, adapté aux conditions les plus rudes, caractérisés par de fortes chaleurs et des pluviométries faibles (**Chehma et al., 2004**). Néanmoins, les surfaces destinées au pâturage dans ces zones ont continuellement diminué au cours de ces dernières décennies. Suite à l'accroissement démographique et à la sédentarisation d'une partie croissante de la population steppique, on assiste actuellement à une extension rapide de l'agriculture au détriment des meilleures zones pastorales dont la végétation naturelle est détruite par des moyens mécaniques de plus en plus puissants (**Nedjimi et Hamida, 2006**). Cette destruction est également aggravée par l'accroissement de la pression animale sur les surfaces pastorales et par le prélèvement des produits ligneux destiné à la satisfaction des besoins en combustibles. Ces différents phénomènes ont contribué à accroître la fragilité des écosystèmes, à réduire leur capacité de régénération et à diminuer leur potentiel de production (**Nefzaoui et Chermiti, 1991**).

### II. 2 L'élevage des ruminants en Algérie

L'élevage, en Algérie est constitué principalement par les ovins, les caprins, les bovins et les camelins. Les données rapportées par **Nedjraoui (2001)** révèlent une prédominance de l'élevage ovin, qui représente 80 % de l'effectif global avec dix millions de brebis, l'élevage caprin vient en seconde position (13 %) comprenant 50 % de chèvres, celui des bovins est de 6 % de l'effectif global (1.6 à 1.7 millions de têtes), dont 58 % sont des vaches laitières. L'élevage camelin est classé en dernier lieu avec un effectif de 245000 têtes recensé en 2005.

En matière de répartition d'élevage, une spécialisation des zones agro-écologiques a été constatée. L'élevage bovin se concentre particulièrement au Nord de l'Algérie. Au Sud du pays, le

dromadaire est l'espèce prédominante au Sahara et aux zones désertiques. Les régions steppiques détiennent principalement l'élevage ovin et caprin avec plus de 90 % des effectifs (**Nedjraoui, 2001**), dont le nombre d'ovin est passé à près de 19 millions de têtes en 2006 (**Kanoun et al., 2007**).

Le climat de la steppe algérienne est semi-aride frais au Nord à aride tempéré au Sud, avec une pluviométrie qui varie respectivement de 400 à 100 millimètres. Parmi les wilayas qui font partie de la steppe Algérienne on trouve : Tébessa, **Biskra**, Boussaâda, Djelfa, Tiaret et Saida (**Maalem, 2011**).

Les terrains steppiques sont utilisés comme pacage et parcours et constituent le domaine essentiel du pastoralisme, ils représentent 13.22 % de la superficie totale du territoire algérien (**Nedjraoui, 2001 ; Maalem, 2011**), dont l'alimentation du cheptel essentiellement ovin est basée sur une végétation naturelle spontanée et exploitée de manière extensive. Elle est constituée par l'armoise (*Artemisia herba alba*), l'Alfa (*Stipa tenacissima*), le sparte (*Lygeum spartum*) et l'arroche (*Atriplex halimus*) (**Maalem, 2011**).

La surexploitation de ces parcours contribue à accroître la fragilité des écosystèmes, à réduire leur capacité de régénération et à diminuer leur potentiel de production. En outre, la combinaison des contraintes naturelles : sécheresse et salinité devient de plus en plus stressante pour la croissance et le développement des plantes dans leur milieu et une menace pour l'équilibre alimentaire. Face à ces contraintes majeures, le développement de l'élevage en Algérie particulièrement ovin sera limité suite à l'insuffisance de la production fourragère.

### II.2.1 Conduite d'élevage :

Le pastoralisme constituait le principal système de production tout en étant un mode de vie caractérisé par la mobilité et l'utilisation des ressources naturelles (**Kanoun et al., 2007**). Il est généralement admis que l'activité dominante dans la steppe et les régions présahariennes était **le nomadisme et la transhumance**. Ce sont des formes sociales d'adaptation à ces milieux arides qui permettent de maintenir l'équilibre et de survivre aux crises écologiques dues à des sécheresses (**Nedjraoui, 2001**), qui deviennent fréquentes et pèsent lourdement sur l'élevage. Ce mode de vie est basé sur deux mouvements essentiels :

1-**L'achaba**, qui consiste à remonter les troupeaux aux terres céréalières afin de valoriser les sous-produits de l'agriculture, chaume et paille pendant les 3-4 mois d'été.

2-**L'azzaba** conduisant les pasteurs et leur cheptel vers les parcours présahariens pendant les 3 mois de l'hiver. Cette combinaison intelligente a permis une bonne optimisation dans l'utilisation des ressources naturelles. Cette forme d'élevage extensif était menée depuis

longtemps sans grandes difficultés, grâce aux équilibres écologiques et socio-économiques (Nedjraoui, 2001).

## II. 2.2 Contraintes de la conduite d'élevage :

Aujourd'hui on note une nette régression du nomadisme qui ne subsiste que d'une façon sporadique. La situation a évolué dans le sens d'une tendance à la sédentarisation et à la disparition progressive du nomadisme. En raison notamment de la diminution de la superficie des parcours et de la chute de leurs rendements suite à des sécheresses répétées, à l'extension de la céréaliculture aux dépens des meilleurs parcours (Nedjimi et Homida, 2006), et le croisement continu de l'effectif qui s'est traduit par une accentuation de la dégradation des parcours.

La population anciennement nomade ne s'est pas sédentarisée totalement, mais elle est devenue semi-sédentaire et ses déplacements sont plus restreints (de 5 à 10 Kilomètres) (Nedjraoui, 2001). Les pasteurs ont modifié leurs systèmes de production en associant culture céréalière et élevage.

Les enquêtes réalisées par Kanoun *et al.* (2007) sur la dominance des systèmes extensifs révèlent que les éleveurs enquêtés se répartissent en deux grandes catégories :

- ✓ **Les éleveurs propriétaires fonciers**, qui représentent 76 % du nombre total. Ils pratiquent des systèmes d'élevage basés essentiellement sur les déplacements de courtes et de longues amplitudes, dont la répartition est la suivante : 37 % d'éleveurs semi-transhumants et 23 % transhumants.

Les élevages sédentaires ne constituent que 16 % du nombre total, dont l'alimentation animale dans ce type d'exploitation est basée sur le patrimoine foncier labouré, qui assure une sécurité alimentaire durant les périodes fourragères difficiles.

- ✓ **Les éleveurs sans terre** correspondent à 24 % du nombre total, appartenant à des systèmes semi-nomade et nomade à raison de 19 et 5 % de l'effectif total respectivement.

L'absence de terre rend ces éleveurs très vulnérables vis-à-vis des conditions climatiques sévères. La vente régulière des animaux (7 à 8 animaux /mois pour subvenir aux besoins d'un cheptel de cent têtes de brebis reproductrices) pour s'approvisionner en aliments de bétail est à l'origine de cette décapitalisation.

Généralement, le déficit en ressources fourragères naturelles est comblé par des achats de concentrés souvent à des prix élevés, et qui peuvent représenter actuellement 50 % de la ration des ovins (Nedjimi et Homida, 2006).

## II. 3 Problématique des régions arides et semi-arides en Algérie :

### II. 3.1 Représentation des régions arides et semi-arides :

Sur la superficie totale des terres mondiales, la zone hyperaride couvre 4.2 %, la zone aride 4.6 % et la zone semi-aride 12.2 % (**Bouchoukh, 2010**). Ainsi, près d'un tiers des terres du monde est constitué de terres arides. Au nord du Sahara, celle-ci occupent plus de 600000 Km<sup>2</sup> dont 34 % en Algérie, 31 % en Lybie, 19 % au Maroc, 11 % en Tunisie et 5 % en Egypte (**Le Houérou, 1992 ; Maalem et Rahmoune, 2009**).

### II. 3.2 Le climat :

Les changements climatiques deviennent de plus en plus contraignants pour la croissance et le développement des plantes notamment dans les zones semi-arides et arides. L'Algérie fait partie du groupe des pays méditerranéens où la sécheresse observée depuis longtemps, a conduit manifestement au processus de salinisation des sols sur 3.2 millions d'hectares affectés (**Belkhodja et Bidai, 2004**). Ces variations climatiques entraînent une sécheresse du sol qui devient une contrainte à la biodiversité des plantes particulièrement en zones arides.

La sécheresse et la salinité du sol ont modifié la stabilité de l'écosystème en soumettant les régions à la désertification (**Le Houérou, 2000**). Par conséquent, certaines espèces sont menacées de disparaître, d'autres manifestent des mécanismes d'adaptation exprimés par des modifications du métabolisme cellulaire (**Belkhodja et Bidai, 2004**). Ces différents phénomènes ont contribué à accroître la fragilité des écosystèmes, à réduire leur capacité de régénération et à diminuer leur potentiel de production.

Paradoxalement, l'effectif du cheptel pâturant en zones steppiques n'a cessé d'augmenter. Cependant, le maintien de cet effectif très élevé s'est traduit par une accentuation de la dégradation des parcours et a conduit les éleveurs à transformer la conduite des troupeaux pour tenter de sauvegarder leurs troupeaux (**Kanoun et al., 2007**).

### II. 3.3 La végétation :

Les végétations annuelles et spontanées des pâturages naturels, constituent une source importante d'alimentation du bétail, ainsi que les résidus de l'agriculture principalement la paille. L'étude des ressources pastorales des parcours steppiques et présaharien a permis de ressortir les potentialités pastorales des steppes algériennes. Elles sont dominées par 4 grands type de formations végétales (**Djebaili, 1984 ; Le Houérou, 2000 ; Nedjraoui, 2001 ; Nedjimi et Homida, 2006**) :

**a- Les parcours à graminées :**

Ils comportent principalement les plantes suivantes :

- ✓ *Stipa tenacissima* (l'Alfa) : ces parcours représentent 4 millions d'hectares et présentant une forte amplitude écologique. Cette plante se localise dans les bioclimats semi-arides à hiver frais et froid dans l'étage aride supérieur à hiver froid. La production de l'alfa peut atteindre 10 tonnes de MS/ ha mais présente une faible valeur fourragère (0.3 à 0.5 UF/kg MS). Par ailleurs, les inflorescences sont très appréciées avec une valeur de 0.7 UF/kg MS.
- ✓ *Lygeum spartum* (Sparte) : cette dernière occupe les glacis d'érosion encroutés recouverts d'un voile éolien sur sols bruns calcaire, halomorphes dans la zone des Chotts. Ces formations sont soumises à des bioclimats arides, supérieurs et moyens à hivers froids et frais. Cette espèce a un faible intérêt pastoral (0.3 à 0.4 UF/kg MS).

**b- Les parcours à chamaephytes :**

Ils sont constitués particulièrement par :

- ✓ *Artimisia herba alba* (Armoise blanche) : Les parcours constitués par cette plante recouvrent 3 millions d'hectares et sont considérés meilleurs (0.65 UF/kg MS) avec une bonne utilisation pendant toute l'année et en particulier en mauvaise saisons en été et en hiver où elle constitue une réserve importante.

L'armoise est une espèce bien adaptée à la sécheresse et à la pression animale en particulier ovine (**Nedjraoui, 2001**).

- ✓ *Artimisia compestris* (Armoise champêtre).
- ✓ *Arthrophytum scoparium* (Remth) : ces parcours présentent un intérêt pastoral assez faible suite aux conditions extrêmement difficiles ; xérophilie (20-200 mm/an) thermophilie, sols pauvres bruns calcaires et encroûtés. Ce type de steppe est exploité par les camelins.
- ✓ *Thymelaea microphylla* (Methnane).

Les formations constituées par les graminées suivantes : *Aristida pungens* et *Thymelaea microphylla* et l'arbuste *Retama raetam* sont plus fréquentes en zones arides et présahariennes. Elles se localisent dans les zones à texture sableuse et les dépressions constituées par les Chotts, avec une valeur pastorale qui varie de 200 à 250 UF/ha (**Nedjraoui, 2001**).

**c-Les parcours à espèces crassuléscentes** : ces terrains couvrent environ un million d'hectares avec des espèces dites halophytes autour des dépressions. Ce sont des plantes succulentes charnues très adaptées pour survivre dans des milieux arides du fait des caractéristiques du sol, du climat et de forte concentration du sel.

Les espèces les plus répandues dans ces espaces sont : *Atriplex halimus*, *Atriplex glauca*, *Salsola sieberi*, *Salsola vermiculata* et *Suaeda fructuosa*. Ce type de parcours est très recherché par les pasteurs et sa valeur pastorale est de 300 UF/ha (**Nedjraoui, 2001**).

**d-Les parcours dégradés** : Parmi les espèces qui subsistent dans ces terrains sont *Noaea micronata*, *Piganum harmala* et *Astragalus armatus*, se localisent dans les régions de campement et autour des points d'eau.

La steppe algérienne n'a pas été épargnée des aléas climatiques de ces dernières années. Selon les experts en environnement ce bouleversement a engendré dans ces terrains une baisse sensible de la pluviométrie à raison de 20 % et une augmentation de la température de 2 °C de plus. Ces perturbations provoquent des crises écologiques se répercutant sur la production primaire des écosystèmes et sur le changement de la composition floristique.

Au Sud de l'Algérie le Sahara est le plus grand des déserts. Il est caractérisé par des conditions édapho-climatiques très contraignantes à la survie spontanée des êtres vivants. Néanmoins, cet écosystème reste un milieu vivant pourvu d'un couvert végétal particulier, où le dromadaire qui domine dans ces espaces, se base pour son alimentation essentiellement, sur le broutage de ces plantes. Ce couvert végétal reste menacé par l'érosion éolienne, le surpâturage, l'extension de la céréaliculture et l'arrachage des espèces ligneuses.

L'étude faite par **Chehema (2005)** dans le cadre de son doctorat sur les parcours camelins du Sahara des régions d'Ouargla et Ghardaia révèle l'existence de 6 parcours camelins sahariens correspondant à des zones géomorphologiques différentes : sols sableux, lits d'Oued, dépressions, Hamada, Reg et sols salés, qui offrent la seule ressource alimentaire disponible pour le dromadaire. **Cent douze (112)** espèces ont été recensées au niveau de ces parcours divisés en **88 espèces** éphémères (*Cynodon dactylon*, *Agatophora alopecuroides*, *Artemisia campestris*, *Artemisia herba alba*, *Astragalus gombo...*) et **24 espèces** sont vivaces (*Acacia radiana*, *Retama retam*, *Salsola tetragona*, *Salsola vermiculata*, *Sueda fructuosa*, *Tamarix aphylla*, *Tamarix articulata...*).

Les espèces éphémères ne peuvent apparaître et développer leur partie aérienne que lorsque les conditions leurs sont totalement favorables. Elles peuvent ainsi disparaître pendant plusieurs mois et même plusieurs années, suivant l'irrégularité des conditions climatiques sahariennes. Ces espèces ne peuvent être considérées comme pâturage de base pour les camelins malgré leur

degré d'appétibilité appréciable. Seules les espèces vivaces constituent un pâturage permanent pour cet élevage et elles fournissent une partie aérienne plus ou moins productive et utilisable par les animaux (**Chehma, 2005**).

Le Drinn (*Stipagrostis pungens*) est l'une des plantes vivaces essentielles constituant le pâturage du dromadaire au Sud algérien. Cette plante est classée parmi les fourrages les plus appréciés par cet animal qui peut se contenter du Drinn et d'eau pendant les années de disette (**Chehma et al., 2004**).

Les oasis constituent aussi des écosystèmes très particuliers et sont fortement conditionnées par les ressources hydriques. Elles peuvent subir des dégradations suite à de nombreux facteurs, à savoir **la salinisation** qui est due aux eaux d'irrigation et au défaut d'entretien du réseau de drainage. En outre, **les eaux usées** et **le pompage excessif des foggaras** constituent une menace sur la productivité de certaines palmerais et ils sont incriminés dans cette dégradation (**Benderradji et al., 2006**). Par ailleurs **l'abandon des terres** suite à des baisses des rendements favorise également ce phénomène.

Au Sud-Est de Biskra le couvert végétal est aussi adapté aux conditions les plus rudes caractérisées par des pluviométries faibles et de fortes chaleurs. Les halophytes (*Tamarix africana*, *Atriplex halimus*, *Salsola vermiculata*, *Sueda mollis*) sont des formations permanentes disponibles dans ces parcours arides, très appréciées par les petits ruminants (**Haddi et al., 2009**). Ces halophytes sont vivaces quelque soient les conditions très fluctuantes de l'environnement, contrairement aux herbacées : *Cynodon dactylon* et *Cyperus conglomeratus* qui apparaissent dès la chute de pluie (**Arab, 2006 ; Arab et al., 2009**) et disparaissent après.

Il a été aussi constaté que les espèces *Atriplex*, sont très appréciées par les camélidés (**Haddi, 1999 ; Rahmoune et al., 2004a**). Néanmoins, l'aire de répartition de ces plantes fourragères diminue de plus en plus, par suite de manque de stratégie de gestion et de surpâturage de ces parcours. Par conséquent, la production animale sera exposée aux problèmes de rareté et d'irrégularité des ressources fourragères. A cause de ce déséquilibre, la production fourragère dans ces régions arides traditionnellement à vocation pastorale, diminue de façon continue et le taux de satisfaction des besoins alimentaires du bétail par la production fourragère locale est passé de 70 % en 1978 à 40 % en 1986 et se maintient jusqu'en 1996 (**Houmani, 1997 ; Rahmoune et al., 2004a**).

#### **II. 4 Actions des contraintes naturelles sur les ressources fourragères :**

Les plantes sont souvent confrontées à des conditions environnementales défavorables qu'on peut dénommer "**stress**" et qui ont pour conséquence une diminution de la croissance.

On distingue deux grandes catégories de stress :

- ✓ **Biotique** : imposé par d'autres organismes (insectes, herbivores...).
- ✓ **Abiotique** : provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme **la sécheresse**, les températures extrêmes, l'érosion éolienne, **la salinité**, les **métaux lourds**...

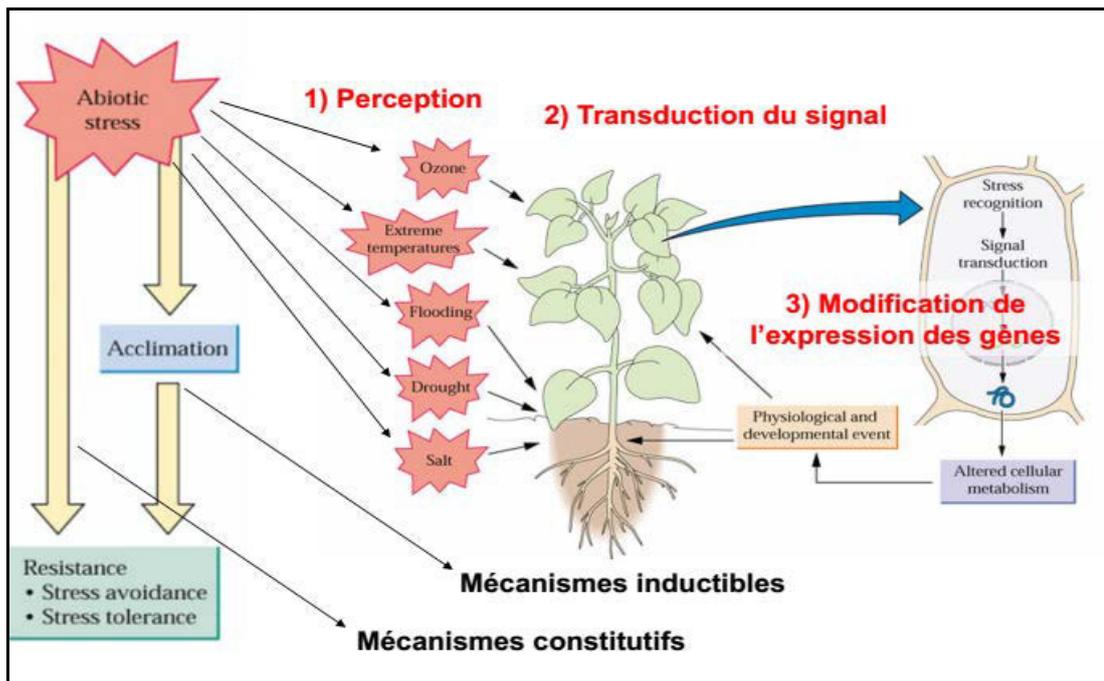
Les stress abiotiques ou environnementaux affectent la croissance et le rendement des plantes, contrairement aux animaux qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables. Les plantes développent des stratégies d'adaptation pour répondre aux chocs chimiques ou physiques, engendrés par l'environnement en contrôlant et en ajustant leur système métabolique (**Baba Sidi-Kaci, 2010**). Tous ces stress environnementaux sont donc perçus par la plante comme des stimuli qui, par un phénomène de transduction du signal au sein de la cellule végétale (figure 3), vont à leur tour induire tout un ensemble de réponses biochimiques, moléculaires (expression ou répression de certains gènes) ou physiologiques (**Tafforeau, 2002**).

## II. 5 Les halophytes et les différentes formes de stress :

### II. 5.1 Particularité des halophytes :

Les halophytes sont des plantes naturellement tolérantes aux sels solubles et poussent aussi bien dans un environnement salin qu'en conditions normales (**Malcolm et al., 2003 ; Nedjimi et al., 2013**). Elles représentent la limite supérieure des capacités adaptatives des végétaux vasculaires à la salinité.

Pour survivre dans un milieu naturel où sont réunies plusieurs formes de stress : hydrique, thermique et osmotique aggravées par les vents, les plantes halophytes (comme *Salsola sp.*, *Suaeda sp.*, *Atriplex sp...*) qui peuplent les bords des Chott Melghir (**Haddi, 1999**) ont dû développer des mécanismes d'adaptation tant au point anatomique (par diminution de la surface foliaire) qu'au point de vue physiologique (par une bonne fixation de CO<sub>2</sub> en empruntant la voie C<sub>4</sub>).



**Figure 3 :** Mécanismes de résistance et d'adaptation des plantes aux différents types de stress liés à l'environnement (LGBP, 2013).

### II.5.2 Caractéristiques de l'halophyte *Atriplex halimus* :

L'*Atriplex halimus* est une plante caractérisée par une grande productivité, la résistance au déficit hydrique, la capacité particulière d'utiliser l'énergie lumineuse et le fait qu'elle exige du sodium comme élément essentiel à leur métabolisme.

#### ➤ Description et écologie de l'espèce *Atriplex halimus* :

Les plantes du genre *Atriplex* se rencontrent dans la plupart des régions du globe. Elles appartiennent à la famille des *Chénopodiacées*, et se caractérisent par leur grande diversité. Les *chénopodiacées* sont des plantes annuelles ou vivaces, souvent halophiles, caractérisées par un cycle végétatif lent avec une période de croissance qui s'étend de mars à juin (Yakoub, 2006). De point de vue morphologique, les *chénopodiacées* sont caractérisées par des racines profondes et pénétrantes, destinées à absorber la plus grande quantité d'eau possible, des feuilles alternées, petites et farineuses ou recouvertes de poils, lobées, parfois épineuses, formées de manière à réduire les pertes en eau dues à la transpiration (Brinis, 2010).

#### ➤ Botanique et systématique

*Atriplex halimus* est une plante autochtone la plus représentée sur le pourtour méditerranéen. *Atriplex halimus* (noms usuels : guettaf, arroche, pourpier de mer) est un arbuste très rameux formant des touffes pouvant atteindre 1 à 3 m de diamètre (Nedjimi et al., 2013) (figure 4).

Cette plante fourragère est un arbuste qui appartient à l'embranchement des spermaphytes, et au sous embranchement des *angiospermes*, à la classe des *dicotylédones* et à la famille des *Chénopodiaceae*. Cet arbuste peut atteindre une hauteur de 3 mètres, avec des feuilles qui mesurent de 10 à 30 mm de longueur et de 5 à 20 mm de largeur (**Walker et al., 2014**).

Dans ce genre l'espèce *Atriplex halimus* présente deux sous espèces qui se distinguent morphologiquement, subsp. *halimus* et subsp. *Schweinfurthii* (**Francllet et Le Houérou, 1971 ; Le Houérou, 1992**), dont la première sous espèce s'étend des zones semi-arides aux zones humides (**Le Houérou, 1992**). Les populations naturelles d'*Atriplex halimus* dans les régions steppiques algériennes appartiennent presque toutes à la sous espèce *schweinfurthii* (**Walker et al., 2005**), qui est très répandue dans les zones arides et désertiques (**Nedjimi et al., 2013**).



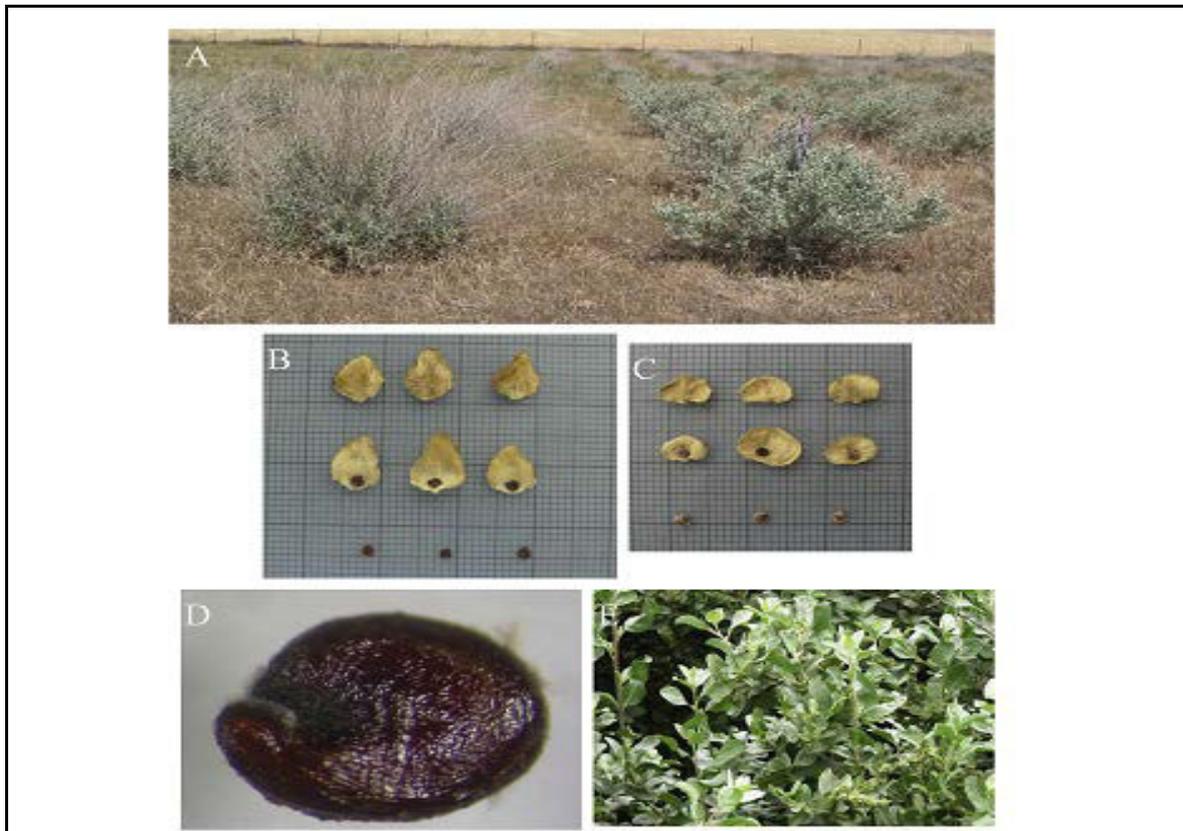
**Figure 4 :** Rameau feuillu d'*Atriplex halimus* (photo personnelle 2013)

La floraison et la fructification de cette plante se déroule du mois de mai au mois de décembre. La photo 5A montre clairement la différence morphologique entre les deux sous espèces. La sous-espèce *Atriplex halimus* subsp. *halimus* (à droite) est plus feuillue que l'*Atriplex halimus* subsp. *Schweinfurthii* (à gauche). Cette dernière est caractérisée par une hauteur allant de 1 à 3 mètres et des branches fructifères allant de 0.5 à 1 mètre, sans feuillage.

La sous espèce *halimus. subsp* (photo 5E) a des branches hautes avec une inflorescence en forme de queue de scorpion, ses feuilles sont plus ou moins hastées (elles ont la forme d'un fer de lance), verdâtres à l'âge jeune, et gris argentées au vieillissement.

Cette espèce se propage principalement via les graines, transportées par les animaux, l'air ou l'eau. Les fruits de cette plante sont couverts par des bractées avec un diamètre de 6 mm (photos B et C). Ces fruits atteignent la maturité au cours des saisons automne-hiver et le poids de 100 graines est variable entre 1 et 4 g, ayant un diamètre qui varie de 0.8 et 1.2 mm (photo D).

Dans les mêmes conditions de croissance, la sous espèce *Schweinfurthii. subsp* produit généralement des fruits et des graines de plus grande taille que la sous espèce *halimus. subsp* (photos B et C respectives) et ses plants poussent plus rapidement. Cependant, une plus faible proportion des fruits du *schweinfurthii. subsp* contiennent des graines viables que celle du *halimus. Subsp*, suite à l'apparition de fleurs hermaphrodites ou stériles.



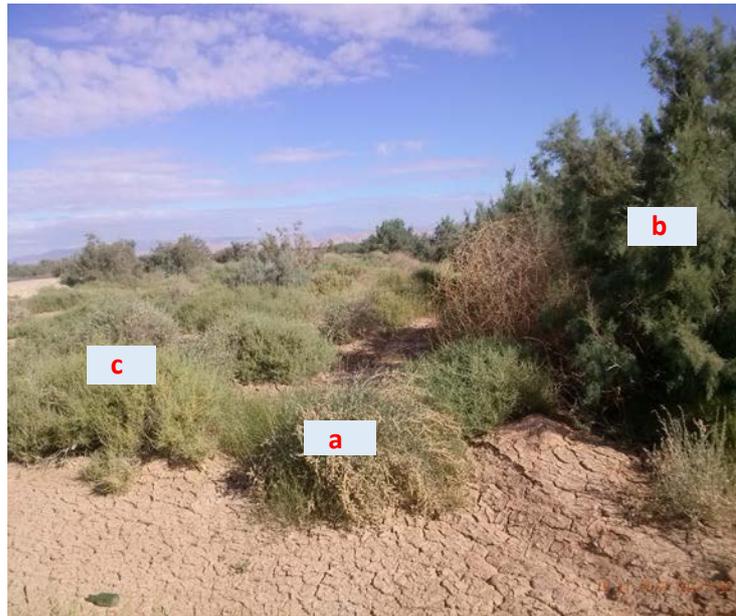
**Figure 5.** (A) Représentation de l'*Atriplex halimus* poussant dans la région Murcia de l'Espagne : *subsp. Schweinfurthii* (gauche) and *halimus* (droite). (B) fruits et graines d'*A. halimus subsp. schweinfurthii*. (C) Fruits et graines de l'*A. halimus subsp. halimus*. (D) graine de l'*A. halimus subsp. schweinfurthii*. Diamètre = 1.2 mm. (E) Feuilles d'*A. halimus subsp. halimus* (Walker et al., 2014).

➤ **Répartition de l'*Atriplex* en Algérie :**

En Algérie, les *Atriplexaies* représentent près d'un million d'hectares plus ou moins dégradés (Maalem, 2011). On les trouve dans les zones dites steppiques : Tébessa, M'sila, Boussaâda, Biskra, Djelfa, Tiaret, Saida (Babou, 2014) et aussi dans les zones littorales et aux alentours des Chotts et de Sebkhha (Maalem, 2011).

*Atriplex halimus* est une plante vivace pouvant se développer au ras du sol ou prendre un port arbustif très net. Cette plante se présente également caractéristique des régions arides où le phénomène de désertification prend des dimensions alarmantes (Le Houérou, 1992).

En Algérie, **les Chott** (la périphérie des lacs salés ou sebkhas) sont les sites préférentiels de l'*Atriplex halimus* en association avec un cortège floristique d'espèces halophytes (**Nedjimi et al., 2013**). Elle pousse dans les sites ensoleillés, dont le pH du sol peut être neutre ou alcalin (pH : 7 à 11) (**Walker et al., 2014**). Dans les zones salées au Sud-Est de Biskra (Chott Melghir), *Atriplex halimus* est associée aux halophytes suivantes *Suaeda mollis*, *Salsola vermiculata*, *Tamarix africana* (**Haddi et al., 2009 ; Arab et al., 2009**) (figure 6).

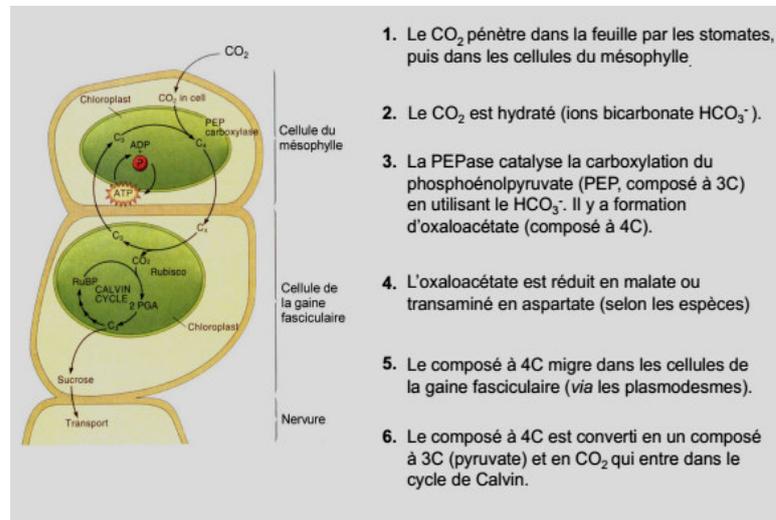


**Figure 6** : *Atriplex halimus* (a) associée avec d'autres halophytes *Tamarix africana* (b) et *Salsola vermiculata* (c) (photo personnelle 2014)

➤ **Physiologie de l'*Atriplex halimus* :**

*Atriplex halimus* est un arbuste halophyte présentant une photosynthèse en C<sub>4</sub> (**Haddi, 1999 ; Martinez et al., 2003**). Ce type de métabolisme est illustré dans la figure 7. Le CO<sub>2</sub> pénètre dans les feuilles à travers les stomates, puis dans les cellules du mésophylle. La phase de carboxylation se déroule par transformation du phosphoenolpyruvate (PEP), qui est un composé à 3 carbones en présence d'une enzyme la phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPase), qui a une très forte affinité pour le CO<sub>2</sub> pour donner un composé en C<sub>4</sub> (malate). Ce dernier subit une décarboxylation dans les cellules de la gaine périvasculaire où il est utilisé pour former les composés en C<sub>3</sub> de la photosynthèse avec une dépense énergétique plus élevée, à raison de 5 ATP par molécule de CO<sub>2</sub> (**LGBP, 2013**). Ce métabolisme permet aux plantes C<sub>4</sub> de fixer plus de CO<sub>2</sub> que les plantes C<sub>3</sub>, d'où une production de la biomasse plus importante. Les plantes en C<sub>4</sub> possèdent des caractéristiques anatomiques leur permettant d'effectuer un métabolisme à haute efficacité photosynthétique. En conditions de sécheresse et de températures élevées, ces plantes

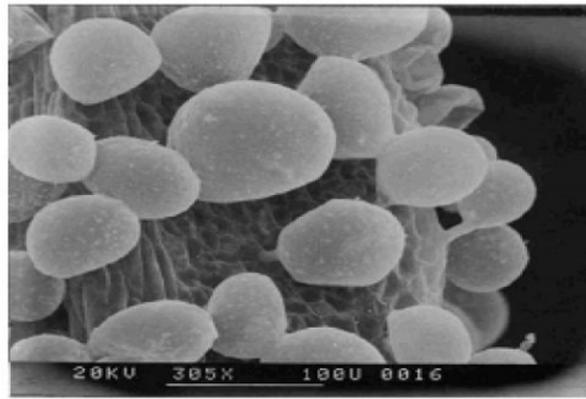
ont une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau que les plantes en C<sub>3</sub> (**Le Houérou, 1992 ; Martinez et al., 2003**). Les racines de ces plantes peuvent absorber de l'eau du sol profondément jusqu'à 5 mètres (**Walker et al., 2014**). Toutes ces caractéristiques font des plantes au métabolisme C<sub>4</sub>, la végétation la plus adéquate pour pousser dans les zones chaudes et arides et dans les milieux riches en sels.



**Figure 7 :** Les étapes du métabolisme photosynthétique chez les plantes qui empruntent la voie dite en C<sub>4</sub> (**LGBP, 2013**).

La figure 8 montre la résistance au stress salin de *Atriplex halimus*, est associée à la présence d'organes spécialisés tels que les poils vésiculaires (trichomes) et les glandes excrétrices du sel à la surface des feuilles qui leur donnent un aspect blanchâtre plus ou moins luisant (**Nedjimi et al., 2013**). Ces structures anatomiques sont spécialisées dans le stockage de l'ion Na<sup>+</sup> dans les feuilles ; Na<sup>+</sup> est ensuite éliminé par la dégénérescence des trichomes, empêchant ainsi l'accumulation excessive et toxique de ce cation dans les tissus foliaires (**Malcolm et al., 2003**).

**Nemat Alla et al. (2012)** ont montré que l'exposition de *Atriplex halimus* au stress hydrique et salin entraîne un changement dans le métabolisme de cet arbuste. Des stratégies d'adaptation à la salinité consiste à synthétiser des osmoprotecteurs et de les accumuler dans le cytoplasme afin de contrebalancer l'effet d'accumulation des ions dans la vacuole (**Nedjimi et al., 2013**).



**Figure 8 :** Aspect d'une feuille d'*Atriplex lentiformis* traitée par 5 g/l NaCl, portant des trichomes gonflés de sels (Malcolm *et al.*, 2003 ; Badache, 2015)

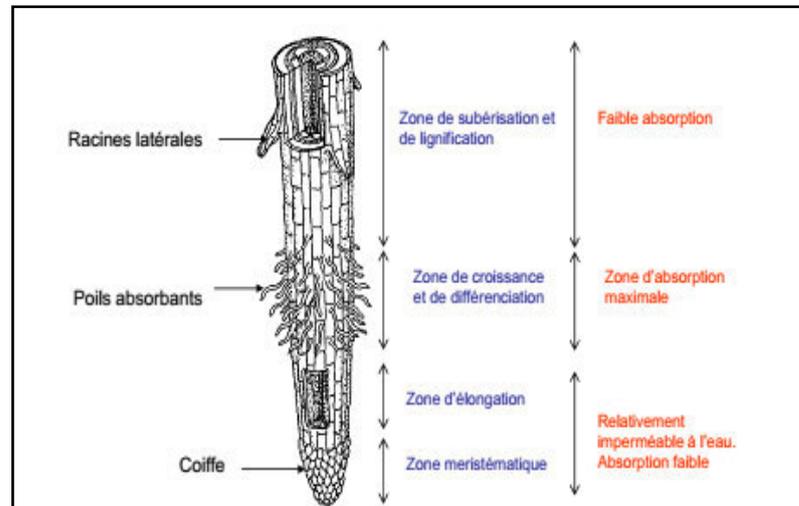
## II. 6 Nutrition des végétaux :

Comme tout être vivants, les plantes supérieures ont besoin d'énergie et de matières pour se nourrir. **La photosynthèse** est un processus bioénergétique qui a lieu essentiellement dans les chloroplastes des feuilles chez les plantes vertes, en utilisant le gaz dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), l'eau, les minéraux et l'énergie lumineuse. Ce mécanisme permet de dégager l'oxygène ( $\text{O}_2$ ) et de produire des sucres transportés, des feuilles vers le reste de la plante. **La transpiration** chez la plante est la perte d'eau sous forme de vapeur, elle se fait essentiellement par **les stomates** des feuilles, ce qui permet la circulation de la sève brute dans le xylème. **La poussée racinaire** ou **radiculaire**, ou encore **pression racinaire** est la pression qui est exercée par l'eau au niveau de la racine surtout des arbres, est l'une des forces qui permet de faire circuler l'eau dans les arbres.

### II. 6.1 Mécanisme d'absorption de l'eau par les plantes :

L'absorption de l'eau par les racines est réalisée au niveau **des poils absorbants** (figure 9). Ils sont situés à proximité de l'apex racinaire. Les poils absorbants se différencient à partir de la **zone pilifère**, qui possède une paroi fine mesurant entre 0.1 et 10 mm selon les espèces et les conditions environnementales (Lehner, 2014), et une absorption maximale est constatée à ce niveau. La présence de poils absorbants permet d'augmenter considérablement la surface d'échange avec le sol. Chez la plupart des arbres, il n'y a pas ou peu de poils absorbants. En revanche, des filaments mycéliens de champignon entourent très souvent les radicules de ces arbres et forment avec elles des sortes de manchons nommés **mycorhizes**, qui facilitent l'absorption. La différence de potentiel hydrique entre le poil absorbant et le sol est le moteur de transport de l'eau, et l'absorption est maximale dans cette zone pilifère, lieu de différenciation et de croissance (figure 9).

Cette absorption résulte uniquement de transports passifs, qui ne consomment pas d'énergie par une diffusion passive et par le biais des canaux protéiques les aquaporines. Ces canaux permettent le transport de molécules d'eau et de solutés neutres (urée, acide borique) et de gaz ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ).



**Figure 9** : Représentation générale des différentes parties des racines des plantes

(Lehner, 2014)

## II. 6.2 Intérêts des éléments minéraux chez la plante :

Les principaux éléments minéraux dont la plante a besoin pour sa croissance sont généralement classés en **macroéléments** dont la plante a besoin en quantité élevée et en **microéléments** dont la plante a besoin en petite quantité. Cette classification a été établie en fonction de leur rôle en physiologie cellulaire (Coïc et Coppenet, 1989).

Les macroéléments essentiels à la plante dénommés aussi plastiques (Soltner, 1996) sont : le carbone, hydrogène, oxygène, l'azote, le soufre, le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium. Les microéléments essentiels aux plantes supérieures sont : le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre, le bore, le molybdène et le chlore. On attribue aussi un besoin en sodium en tant qu'un oligo-élément pour les plantes de type **photosynthétique C<sub>4</sub>** comme le cas des halophytes. Ces éléments minéraux se présentent dans le sol sous forme d'ions pour qu'ils puissent pénétrer dans les racines.

**a- Rôle physiologique des macro-minéraux puisés du sol :**

**Le phosphore** est un constituant cellulaire et transporteur d'énergie, il intervient dans la photosynthèse et entre dans la constitution d'enzymes ainsi que de nombreuses molécules. Il stimule la croissance et le développement des racines et des fruits et il intervient dans la gestion de l'énergie métabolique (ATP).

**Le soufre** est un constituant essentiel des acides aminés soufrés (la méthionine et la cystéine). **Le potassium** est un régulateur des fonctions de croissance de la plante, nécessaire à la photosynthèse, il favorise la synthèse des glucides et des protéines. Il augmenterait aussi la résistance des végétaux à la sécheresse en limitant la transpiration. Il a un rôle très important dans le contrôle de la pression osmotique, la régulation stomatique, l'économie de l'eau, ainsi dans la résistance au stress hydrique, au gel et aux maladies. **Le magnésium** est l'un des constituants de la chlorophylle et il favorise l'absorption du phosphore. **Le calcium** est le constituant des parois cellulaires. Présent dans les membranes pectiques, le calcium donne de la résistance aux tissus et favorise la formation et la maturation des fruits et des graines. Il se trouve en un sel dissous dans les sucs cellulaires où il neutralise les acides organiques et minéraux.

**b- Rôle physiologique des micro-minéraux puisés du sol :**

**Les oligo-éléments** jouent un rôle, soit en tant que composant intégral d'enzymes (fer, cuivre, zinc, molybdène), soit comme activateur d'enzymes (manganèse), et le trouble apporté à une action enzymatique par une déficience en oligo-élément se traduit par une altération d'un fonctionnement particulier qui se répercute évidemment sur le fonctionnement général (**Coïc et Coppenet, 1989**).

**Le fer**, est indispensable à la formation de la chlorophylle (**Soltner, 1996**). **Le cuivre** est un cofacteur enzymatique polyphénoloxydase, superoxyde dismutase.

**Le Zinc** est un cofacteur enzymatique, en association avec le cuivre active les superoxydes dismutases (SOD), participe à la synthèse du tryptophane, précurseur de **l'auxine**, hormone végétale, encore appelée phytohormone. Elle joue un rôle majeur dans le contrôle de la croissance et du développement des plantes.

**Le manganèse** est impliqué dans la production d'oxygène lors de la photosynthèse.

**Le molybdène** est nécessaire au fonctionnement de la dinitrogénase (réduction de l'azote atmosphérique) et du nitrate réductase (réduction du nitrate en nitrite, étape indispensable à l'incorporation de l'azote dans les acides aminés).

La quasi-totalité du bore est contenu dans les parois. Son rôle est probablement le maintien de l'intégrité des parois. Le chlore est présent en quantité importante dans les sols. Très soluble et très mobile dans la plante. Il intervient dans les réactions photosynthétiques productrices d'oxygène et dans le maintien du gradient électrochimique et du potentiel membranaire des cellules (**Lehner, 2014**). Le déficit en ces différents éléments minéraux que ce soit macro-éléments ou micro-éléments entraîne une diminution de la croissance, une nécrose, chlorose et une augmentation de la sensibilité des plantes aux maladies parasitaires.

## **II. 7 Les métaux lourds et leurs effets sur les végétaux :**

### **II. 7.1. Définition des métaux lourds :**

Les métaux lourds appelés aussi éléments en traces métalliques (ETM), sont définis comme étant des éléments chimiques toxiques, et dans cette catégorie figurent les éléments suivants : le nickel (Ni), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), l'aluminium (Al), mais aussi des métalloïdes tels que l'arsenic (As) et le sélénium (Se) (**Badache, 2015**). Ces éléments sont présents généralement dans l'environnement sous forme de traces, sauf en cas de contamination. Les plus toxiques sont le mercure, le cadmium, l'arsenic et le plomb. D'après les textes législatifs, la pollution par les métaux toxiques (METOX) regroupe sept métaux et un métalloïde (chrome, zinc, cuivre, nickel, plomb, arsenic, cadmium et mercure) (**Koller, 2004 ; Badache, 2015**).

### **II. 7.2 Les métaux lourds : oligo-éléments ou éléments toxiques :**

Comme il a été décrit précédemment, les oligo-éléments sont indispensables au bon déroulement des différents processus biologiques des végétaux. Par ailleurs, ces éléments essentiels peuvent devenir toxiques quand ils dépassent les concentrations physiologiques recommandées, et ces concentrations sont en fonction de l'état physico-chimique de l'élément considéré. C'est le cas du fer, du cuivre, du zinc, du cobalt, du manganèse, du chrome, du nickel, du molybdène. Les autres métaux ne sont pas nécessaires aux différentes fonctions physiologiques et peuvent être même préjudiciable comme le cas du mercure, le plomb, le cadmium et l'antimoine (Sb).

Le tableau 11 montre que les métaux sont classés comme micronutriments (Cu, Co, Ni, Se et Zn) essentiels à la croissance des végétaux peuvent être toxiques à des fortes concentrations. En outre, les métaux non essentiels, sont toxiques à de faibles concentrations, et ils s'accumulent notamment dans les parties aériennes des plantes ; c'est le cas du mercure (0.5-1 mg/kg MS), du plomb (30-300 mg/kg MS), du cadmium, du chrome et du sélénium avec des concentrations toxiques allant de 5-30 mg/kg MS. En excès, les métaux non essentiels provoquent aussi bien des

chloroses et nécroses qu'ainsi que des retards de croissance (inhibition de la croissance, racinaire notamment) (Williams *et al.*, 2000).

**Tableau 11.** Concentration en éléments traces dans les parties aériennes de plantes (mg/kg MS) (Kabata-Pendias et Pendias, 1992 ; Badache, 2015)

Élément	Teneurs normales	Teneurs en excès ou Toxiques	Teneurs tolérables pour plantes de grande culture
Cd	0,05 – 0,2	5 – 30	3
Cr	0,1 – 0,5	5 – 30	2
Cu	5 – 30	50	50
Hg	-	0,5 – 1	-
Ni	0,1 – 5	10 – 100	50
Pb	5 – 10	30 – 300	10
Se	0,01 – 2	5 – 30	-
Zn	27 – 150	100 – 400	300



### III. 2 Relief :

La région de Biskra constitue la transition entre les domaines atlasiques plissés du Nord et les étendues plates et désertiques du Sahara au Sud.

Le territoire de la wilaya est divisé en quatre grandes entités géographiques **(A.N.A.T, 2002 ; Deghnouche, 2011)**

Une zone de montagne qui borde la limite septentrionale de la wilaya.

Une zone de plateau localisée à l'Ouest de la wilaya, s'étend du Nord au Sud et constitue en partie le territoire de la daïra d'Ouled Djalal et celle de Tolga.

Une zone de plaines, qui occupe la zone centrale de la wilaya, composée de trois grandes plaines d'El Outaya, Sidi Okba et de celle de Doucen

Une zone de dépression, située au Sud-Est de la wilaya, qui correspond en fait à la zone des Chotts à altimétrie négative (atteignant par endroit moins de 40 mètre). Les dépressions ou les bas-fonds couvrent les régions méridionales et orientales. Ils forment une vaste plaine de piémont doucement inclinée vers le Sud-Est qui s'enfonce dans la zone la plus basse du Chott Melghir.

### III. 3 Pédologie :

Le sol de la région de Biskra est constitué par quatre types : **(Moussi, 2012)**

Les sols peu évolués

Les sols calcimagnésiques

Les sols halomorphes

Les sols hydromorphes

### III. 4 Hydrographie

Divers oueds et cours d'eau temporaires à écoulement principal sillonnent la région et se déversent dans la dépression du Chott Melghir. Les plus importants sont : l'Oued El Arab, à l'Est, qui prend sa source au Sud-Ouest de Khenchela, et l'Oued Djedi reçoit les eaux de ruissellement de l'aile Sud de l'Atlas saharien et parcourt le Sud de la région d'Ouest en Est **(Moussi, 2012)**.

### III. 5 Le couvert végétal :

En complémentarité avec les zones steppiques, les parcours présahariens, couvrent une superficie estimée à environ 16 millions d'ha **(Nedjimi et Homida, 2006)**, sont exploités par les éleveurs en hivers et au printemps. Ils sont caractérisés par une végétation palatable pour le cheptel, qui se compose de plantes pérennes à base de *Retama retam*, *Aristida sp*, *Arthrophtum*

*sp.* Cette forme d'élevage était menée depuis longtemps sans grande difficulté, grâce aux équilibres écologiques et socio-économique (**Bazri et Ouahrani, 2015**). Cependant, cet équilibre est remis en cause suite à la diminution de la superficie des parcours et de la chute de leurs rendements à cause de l'augmentation continue des effectifs du bétail d'une part et de l'extension des défrichements au dépens des meilleurs parcours de l'autre part.

La structure végétale est fortement liée aux sols et au climat. Le couvert végétal naturel à travers la wilaya de Biskra est de type dégradé. Ce tapis végétal est constitué principalement de graminées cespitueuses (steppe à *Stipa tenacissima*, steppe à *Lygeum spartum*), chaméphytique (steppe à *Artemisia herba-alba*) (**Moussi, 2012**) et les steppes crassuléscentes : dès que la salure devient importante, on voit apparaître des espèces ou groupements végétaux azonaux de peu d'espèces : *Atriplex halimus*, *Salsola tetrandia*, *Suaeda fruticosa*, *Salicornia arabica*, *Arthrocnemum indicum*, *Halogeton strobilaceum* (**Halitim, 1988**).

Les régions Sud de Biskra sont surtout caractérisées par des accumulations salées, gypseuses et calcaires. Actuellement, la région Sud-Est de Biskra est touchée par le phénomène de désertification, son patrimoine végétal est menacé de dégradation suite à la combinaison de plusieurs facteurs naturels (sécheresses récurrentes, aridité climatique et problèmes de régénération du couvert végétal) et anthropiques notamment le pâturage anarchique et irrégulier (**Bazri et Ouahrani, 2015**).

### III.5.1 Les ressources fourragères dans la région d'El Haouche :

Nous avons constaté que le couvert végétal de cette région est constitué de plantes herbacées *Cynodon dactylon*, *Cyperus conglomeratus*, les halophytes *Atriplex halimus*, *Salsola vermiculata* et *Suaeda mollis* et l'arbre *Tamarix africana* (figure 11).

**Bazri et Ouahrani (2015)** rapportaient que la région d'El Haouche est riche en espèces fourragères (à raison de 24 espèces recensées), dominées par *Atriplex halimus* (11.68 %), *Atractylis aristata* (10.66 %), *Salsola vermiculata* (8.63 %), *Suaeda vermiculata* (8.12 %), *Centaurea pungens* (6.60 %) et *Anabasis articulata* (5.58 %) comme est mentionné au tableau 12.

### III. 6 Données climatiques :

Le climat est un facteur déterminant de premier ordre pour une approche du milieu. C'est un ensemble de phénomènes météorologiques qui sont principalement la température, les précipitations et les vents.

Pour notre région d'étude, nous nous sommes basés sur les observations relevées par la station météorologique de Biskra. Nous avons repris les données enregistrées par **Deghnouche (2011)** et **Megueni Tani (2013)** au cours de l'année 1992-2012.



**Figure 11** : Le couvert végétal (photos a et b) de la région d'El Haouche (**photos personnelles**)

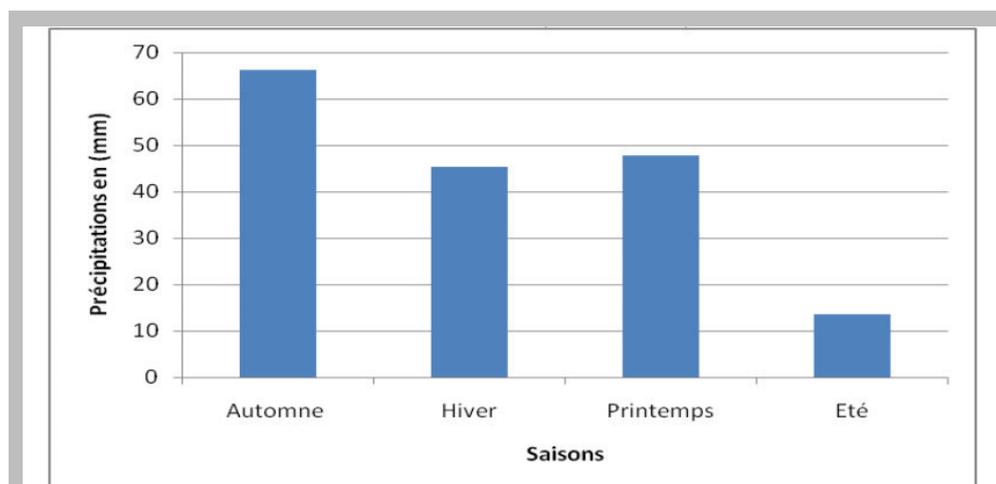
### III. 6.1 Précipitation :

La région de Biskra est caractérisée par des précipitations très mal réparties, elles sont brutales et très localisées. La pluviométrie annuelle enregistrée au cours de la période (1992-2012) était 173.05 mm (**Meguenni-Tani, 2013**).

La distribution saisonnière des précipitations (figure 12) montre que l'été correspond à la saison sèche. L'automne étant la saison la plus humide. La période pluvieuse s'étend de novembre à janvier avec un maximum de 23.8 mm en janvier. Cependant, la période sèche s'étale de mai à août avec un minimum de 0.47 mm en juillet (**Deghnouche, 2011**).

**Tableau 12** : Espèces inventoriées et leurs fréquences dans la région d'El-Haouche (**Bazri et Ouahrani, 2015**)

Espèces échantillonnées	Familles	Fréquences
<i>Atriplex halimus</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	23
<i>Atriplex nummularia</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	2
<i>Suaeda vermiculata</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	16
<i>Ziziphus lotus</i>	<i>Rhamnaceae</i>	8
<i>Salsola vermiculata</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	17
<i>Tamarix gallica</i>	<i>Tamaricaceae</i>	7
<i>Salicornia fruticosa</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	4
<i>Arthrocnemum glaucum</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	6
<i>Halochnemum strobilaceum</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	4
<i>Traganum nudatum</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	3
<i>Anabasis articulata</i>	<i>Amaranthaceae</i>	11
<i>Artemisia campestris</i>	<i>Asteraceae</i>	5
<i>Globularia alypum</i>	<i>Plantaginaceae</i>	5
<i>Astragalus sinaicus</i>	<i>Fabaceae</i>	9
<i>Atractylis aristata</i>	<i>Asteraceae</i>	21
<i>Ballota hirsuta</i>	<i>Lamiaceae</i>	7
<i>Cassia italica</i>	<i>Fabaceae</i>	5
<i>Centaurea pungens</i>	<i>Asteraceae</i>	13
<i>Citrullus colocynthis</i>	<i>Cucurbitaceae</i>	9
<i>Moricandia arvensis</i>	<i>Brassicaceae</i>	2
<i>Echinops spinosissimus</i>	<i>Asteraceae</i>	5
<i>Euphorbia serrata</i>	<i>Euphorbiaceae</i>	6
<i>Chamomilla pubescens</i>	<i>Asteraceae</i>	1
<i>Echium vulgare</i>	<i>Boraginaceae</i>	8



**Figure 12** : Histogramme des précipitations saisonnières de la station de Biskra enregistrées au cours de la période : 1992-2012 (**Meguenni-Tani, 2013**)

### III. 6.2 Température :

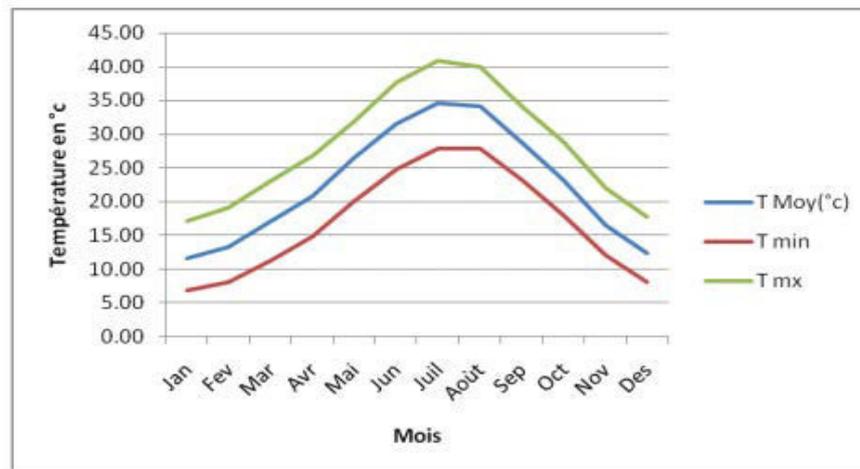
La température est le second facteur, après la précipitation qui conditionne le climat d'une région. La région de Biskra se caractérise par de fortes températures et des fluctuations importantes ont été enregistrées. Au cours de la décennie (1992-2012), la température moyenne annuelle enregistrée était de 22.57 °C (tableau 13).

Les données rapportées par **Deghnouche (2011)** et **Meguenni-Tani (2013)** ont montré que la température moyenne mensuelle, la plus élevée, est celle du mois de juillet (34.59 °C) alors que la température, la plus basse est celle du mois de janvier (11.47 °C).

**Tableau 13** : Températures moyennes mensuelles (1992-2012) (**Meguenni-Tani, 2013**)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
T°C	11.65	13.36	17.18	20.89	26.41	31.55	34.59	34.15	28.81	23.31	16.49	12.42	22.57

La figure 13 montre en général que le mois de janvier est le mois le plus froid, avec une température de 6.89 °C, et que les mois de juillet et août sont les plus chauds, avec une température allant de 40.94 °C et 40.07 °C respectivement.



**Figure 13 :** Variations des températures mensuelles moyennes, minimales et maximales de la station de Biskra (1992-2012) (**Meguenni-Tani, 2013**)

### III. 6.3 Le vent :

Le vent est un agent important de la désertification. En effet, il accentue l'évapotranspiration et contribue à abaisser l'humidité. Dans la région de Biskra, les vents sont fréquents et répartis sur toute l'année.

Durant la saison sèche, les vents dominants sont de secteur Sud-Est. En effet, durant cette période arrivent souvent des siroccos, et durent en moyenne 58j/an (**Haouchine, 2010**). Le sirocco, vent chaud du sud, souffle en période estivale et se caractérise par son action nuisible sur les plantes. Il a un pouvoir évaporant très important et capable de déposer les sables et poussières sur de grandes superficies (**Dekhinat et al., 2010**). Pendant la saison hivernale, les vents du secteur Nord-Est sont dominants, amenant de l'humidité du Nord.

### III. 7 Synthèse climatique

L'analyse du diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson abordé par plusieurs auteurs montre, que le climat de la région de Biskra est caractérisée par une seule saison sèche, s'étalant sur toute l'année. C'est d'ailleurs, un des paramètres marquant le climat des zones arides, en plus de la forte évaporation et l'irrégularité dans le régime pluviométrique.

En se basant sur les données climatiques de la région de Biskra et nos observations faites au cours de nos sorties au sein de la région d'étude **El Haouche** on peut dire que :

Notre site d'étude est fait partie du domaine aride (faible précipitation, de fortes températures, une intensité lumineuse et une évaporation importante) avec un couvert végétal est de type halophile.

**DEUXIEME PARTIE :**  
**ETUDE EXPERIMENTALE**

## Chapitre I : Matériel et méthodes

Au cours de notre étude expérimentale, deux protocoles distincts ont été utilisés en deux périodes différentes. Notre recherche a été effectuée sur l'arbuste *Atriplex halimus* et le sol sur lequel pousse cette plante fourragère dans la région d'El Haouche, afin d'étudier l'aspect nutritionnel et antinutritionnel de ces deux matrices.

La figure 14 montre la localisation des sites d'échantillonnage qui ont été effectués dans la localité d'El haouche (site 1) et dans la commune Essaada, qui fait partie de la même localité (site 2 et 3).



**Figure 14:** Localisation des sites de prélèvement au niveau de la zone d'étude : Etude expérimentale 1 (site 1) et étude expérimentale 2 (site 2 et 3) **(Photo satellite)**

### I. 1 Protocole expérimental 1

#### I. 1.1 Matériel et méthodes

##### ➤ Zone et période d'échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué au cours de la période **2002-2003**. Nous avons procédé à dix campagnes de prélèvements de la plante fourragère *Atriplex halimus* au niveau de la localité d'El Haouche (figure 14 : site 1) à raison d'un prélèvement pour chaque mois.

Le site d'échantillonnage se situe aux bords du Chott Melghir 30 à 35 Km au Sud-Est de Biskra. Les coordonnées GPS de ce site sont les suivantes : **5° 28' latitude** Nord et **35°15' longitude** Est.

Cette zone d'échantillonnage est une dépression située à moins de 5 mètres par rapport au niveau de la mer (**Haddi, 1999**). Le sol de nature gypso-calcaire, se caractérise par une forte salinité. Son pH varie de 7.5 à 8.2 et la moyenne annuelle des précipitations se situe autour de 134 mm concentrés en fin d'automne et au début du printemps. L'évapotranspiration peut atteindre 2540.85 mm par an durant les années de sirocco.

Les prélèvements ont été effectués en se basant sur la disponibilité de l'arbuste objet de notre étude d'une part et sur le lieu de pacage des animaux qui broutent cette plante fourragère d'autre part.

#### ➤ **Préparation et conservation des échantillons**

Les prélèvements de cet arbuste (3 à 3.5 Kg de matière fraîche par prélèvement) ont concerné la partie aérienne comestible par l'animal (notamment les petits ruminants et le dromadaire), en utilisant une scie en acier inoxydable. Le matériel végétal frais a été transporté au laboratoire dans des sachets en plastique étiquetés. Ces échantillons ont été fractionnés en tiges et feuilles sur une paillasse propre, en utilisant des ciseaux en acier. La plante a été découpée à partir du haut vers le bas, tous les 20 cm environ en cinq fractions I, II, III, IV et V successivement (figure 15).

Les tiges et les feuilles ont été séparées manuellement. Cette opération est suivie par un séchage des fractions dans l'étuve à une température de 55°C pendant 72 h. Les échantillons broyés en poudre très fine étaient conservés dans des boîtes en plastiques étiquetées à l'abri de la lumière et de l'humidité jusqu'au moment d'analyse (**Arab et al., 2009 ; Haddi et al., 2009**). Les analyses sont réalisées en double.



Figure 15 : Mode de fractionnement de l'*Atriplex halimus* (photo Haddi M-L)

➤ **Méthodes d'analyses du matériel végétal**

✓ **Détermination de la matière sèche**

Elle consiste à peser en double 1 g de l'échantillon à analyser dans des creusets en porcelaine préalablement tarés et séchés à 105 °C pendant 24 h jusqu'à poids constant (Sauvant, 1988 ; Arab *et al.*, 2009). Le résidu sec obtenu représente la matière sèche, le poids perdu obtenu par différence du poids frais et du poids sec constitue le taux **d'humidité**.

✓ **Détermination de la matière organique et des cendres**

Cette évaluation est obtenue par incinération de l'échantillon au four à moufle à 550 °C pendant 6 h. Les cendres blanches obtenues représentent le taux de la matière minérale (MM). Le poids perdu après incinération constitue **la matière organique (MO)**.

L'expression des résultats en pourcentage de la MS, MO et MM est calculée en utilisant les différentes équations décrites par Arab (2006).

✓ **Détermination des teneurs en éléments minéraux**

La digestion humide nitro-perchlorique a été réalisée selon la méthode décrite par Elmer (1994) et Arab *et al.* (2009). Les extraits obtenus sont destinés à la détermination des macro-éléments (Ca, Mg, Na et K) et des oligo-éléments (Cu, Zn, Mn et Fe) en utilisant la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à flamme (Shimadzu AA modèle 6800). La flamme utilisée correspond à un mélange air-acétylène. L'extraction consiste à peser en double un gramme d'échantillon à analyser dans des béchers préalablement tarés. Dix millilitres d'acide nitrique pur sont ajoutés pendant toute une nuit. Le contenu des béchers est chauffé jusqu'à la disparition des fumées rouge-orangée de nitrates (NO<sub>3</sub>). Trois ml

d'acide perchlorique à 70 % sont additionnés et portés à ébullition jusqu'à la réduction du volume. Le contenu des béchers est filtré à travers un papier filtre Wattman (N° 540) dans des fioles de 50 ml. Le volume est ajusté au trait de jauge avec de l'eau distillée. Les solutions d'extraction obtenues sont conservées au réfrigérateur à 4 °C jusqu'au moment d'analyse.

✓ **Méthode d'extraction et de dosage du phosphore (P):**

La technique au nitrovanadomolybdate décrite par **Kamoun (2008)** et **Arab et al. (2009)** a été utilisée pour déterminer les concentrations du phosphore dans la plante par la Spectrophotométrie dans le visible à **430 nm**. Un gramme de l'échantillon est pesé dans des creusets préalablement tarés, et placés dans l'étuve à 110 °C pendant deux heures. Les résidus secs sont incinérés dans un four à moufle à 450 °C pendant 2 heures jusqu'à obtention de cendres blanches. L'ajout de 10 ml d'acide nitrique 1 N permet de dissoudre les cendres qui sont transvasées dans des béchers de 30 ml. Ces derniers sont chauffés sur plaque chauffante ou sur un bain de sable pendant 30 minutes. La solution obtenue est filtrée dans des fioles de 50 ml et complétées à leur volume final avec de l'eau distillée. Le réactif nitrovanadomolybdate obtenu à partir d'un mélange de solutions de molybdate d'ammonium à 5% et de vanadate d'ammonium à 0.25 % (**Arab, 2006**), donne une coloration jaune en présence de phosphore qui est dosé par Spectrophotométrie d'Absorption Moléculaire.

✓ **Méthode d'extraction et de dosage du Cd et du Pb :**

La calcination sèche a été utilisée pour l'obtention d'extraits utilisables pour la détermination du cadmium (Cd) et du plomb (Pb) selon la méthode décrite par **Milhaud et Mehennaoui (1988)**. Afin d'éviter toute sorte de contamination, un trempage préalable des creusets en porcelaine dans un bain d'acide nitrique 1 N a été effectué toute une nuit. Un rinçage à l'eau déminéralisée puis séchage dans l'étuve des creusets sont effectués juste avant calcination. La technique consiste à peser un gramme de la poudre végétale en double dans des creusets en porcelaine et à l'incinérer au four à moufle à 450°C pendant 16 heures par paliers successifs (100, 200, 300 et 450°C) afin d'éviter toute perte par projection ou inflammation. Après refroidissement, les résidus obtenus sont traités avec de l'acide nitrique 5 N et chauffés dans un bain de sable jusqu'à solubilisation des cendres. Le contenu des capsules est filtré à travers un papier filtre Wattman (N°540) dans des fioles de 50 ml. Le volume est ajusté au trait de jauge avec de l'eau distillée. A l'issue de la filtration, le dosage du Pb et du Cd est réalisé au laboratoire de Biologie et Environnement (Université Constantine 1) par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique en utilisant le four graphite de type Perkin Elmer A Analyst 100.

### I. 1. 2 Analyses statistiques :

Les résultats obtenus pour chaque échantillon ont été analysés statistiquement afin d'obtenir les moyennes et les écarts-type. Le traitement statistique de l'ensemble des résultats a fait appel à une analyse de variance ANOVA à plusieurs facteurs : effet de la période de prélèvement, effet de la fraction et effet de la morphologie (tiges et feuilles) en utilisant le logiciel SAS (**SAS, 2003**). Lorsque l'analyse de variance est significative au seuil de  $P < 0.05$ . Le test de Newman-Keuls a été utilisé pour une classification des moyennes, en faisant ressortir des groupes homogènes.

### I. 2 Protocole expérimental 2

#### I. 2.1 Nature et rythme des prélèvements

Ce protocole a concerné l'étude des prélèvements saisonniers du **sol** et de la plante ***Atriplex halimus*** au cours de la période **2014-2015**.

La pluviométrie moyenne annuelle au cours de cette année d'étude était de 11.5 mm avec un taux élevé enregistré au cours du mois de septembre (25.7 mm). Les températures moyennes sont très élevées en été (41 °C) et modérées en hiver (7 °C).

L'échantillonnage a été effectué dans la région **Essaada** (figure 14 : site 2 et 3), sur une superficie de 400 km<sup>2</sup> dans deux sites différents qui s'éloignent l'un de l'autre de 4 Km. Les coordonnées GPS des deux sites d'échantillonnage sont les suivantes :

**Le site 1** : 34° 40' 37.646" latitude Nord et 5° 52' 53.360" longitude Est.

**Le site 2** : 34° 39' 29.9" latitude Nord et 5° 52' 26.2 "longitude Est.

Quatre campagnes de prélèvements saisonniers de l'arbuste *Atriplex halimus* et du sol ont été réalisées aux dates suivantes :

- Prélèvement d'automne : 10 Octobre 2014
- Prélèvement d'hiver : 10 janvier 2015
- Prélèvement du printemps : 10 avril 2015
- Prélèvement d'été : 10 juin 2015.

## I. 2. 2 Matériel et méthodes :

### a- Matériel végétal :

Les prélèvements de l'arbuste *Atriplex halimus* sont effectués à l'aide d'une scie en acier inoxydable. Le premier prélèvement a coïncidé avec la fin de la floraison et le début de la fructification; le second à la fin de la fructification; le troisième avec le stade de bourgeonnement et le dernier prélèvement avec celui de la floraison.

Pour chaque prélèvement plusieurs rameaux ont été récoltés à partir du trois à quatre pieds de la partie comestible de l'arbuste *Atriplex halimus*. La distance calculée entre un prélèvement et un autre varie de 5 à 10 mètres, en fonction de la disponibilité de la plante objet de notre étude. Le matériel végétal frais obtenu (de 3 à 5 kg environ par prélèvement) est conservé dans des sachets en plastiques étiquetés et transportés au laboratoire d'analyse Environnement Santé et Production Animale (ESPA) du département vétérinaire (Université de Batna 1).

### b- Méthodes analytiques :

Les échantillons du matériel végétal sont immédiatement pesés et mis à sécher à 55 °C pendant 72 h. Le poids de la matière fraîche des échantillons a été relevé. Après séchage, les échantillons ont été triés en tiges et feuilles. Le broyage des échantillons est effectué à l'aide d'un broyeur de type K- JANKE et KUNKEL à travers une grille de 1 millimètre de diamètre. La poudre végétale est conservée dans des boîtes en plastiques étiquetées, jusqu'au moment d'analyse.

Les mêmes procédures et méthodes analytiques décrite au **protocole expérimental 1** ont été mises en œuvre pour les prélèvements saisonniers de l'arbuste *Atriplex halimus* afin de déterminer la **MS, MM, MO, les cendres**, les éléments minéraux (**Ca, P, Mg, Na, k, Cu, Zn, Mn et Fe**) et les polluants (**Cd et Pb**).

### c-Prélèvements du sol :

#### ✓ Echantillonnage et préparation pour analyse :

Les prélèvements saisonniers du sol ont été effectués à l'aide d'une tarière à une profondeur de 20 cm (zone racinaire). Ces échantillons ont été récoltés au voisinage des prélèvements de l'arbuste *Atriplex halimus* en effectuant **un échantillonnage orienté**. La distance entre un prélèvement et un autre est liée à la disponibilité de l'arbuste objet de notre étude.

Les prélèvements du sol ont été conservés dans des sachets en papier kraft. Le premier séchage des échantillons est effectué à l'air libre. Le deuxième séchage est réalisé à l'étuve à une température de 65 °C pendant 72 h (**Nedjimi, 2012**).

Les échantillons séchés ont été broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine après enlèvement des roches et des débris végétaux. Les agrégats du sol sont réduits à l'aide d'un pilon avec des mouvements circulaires tout en exerçant une pression modérée. Par ailleurs, si les agrégats sont très durs (cas de l'argile), on les écrase en pilant. Le tamisage est fait à l'aide d'un tamis de 2 mm de diamètre, puis les échantillons sont conservés dans des contenants en plastique exempts de contamination.

Les analyses ont porté sur des caractéristiques physico-chimiques du sol, tels que : le pH, la matière sèche, la matière minérale, l'humidité, la matière organique, le phosphore assimilable, la granulométrie, les éléments minéraux essentiels (Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn et Fe) et également les métaux lourds (Pb et Cd) comme éléments non essentiels (antinutritionnels).

#### ✓ Mesure du pH du sol

Une quantité de 20 g de l'échantillon du sol a été mise en suspension dans un volume de 50 ml d'eau distillée avec un rapport pondéral : terre fine/ eau distillée = 1/2.5 selon la norme ISO (Mathieu et Pieltain, 2003). Le mélange (sol-eau distillée) est mis en agitation pendant quinze minutes jusqu'à obtention d'une solution homogène. Après 2 heures de repos, le pH est mesuré en utilisant un pH-mètre à électrode en verre (marque Messgerät Phywe). La mesure du pH est effectuée en plongeant l'électrode dans le liquide surnageant. L'appareil de mesure doit être étalonné pour chaque série de mesure à l'aide de trois solutions tampons à pH 4, 7 et 10.

#### ✓ Détermination de l'humidité résiduelle (HR) et de la matière sèche (MS) du sol

Un gramme de sol est séché dans l'étuve à 136 °C pendant 24 heures (Nedjimi, 2012). Le poids sec obtenu représente la matière sèche du sol, le poids perdu obtenu par différence du poids frais et du poids sec est dénommé **humidité résiduelle (HR)**. Le pourcentage de cette dernière est obtenu par l'application de l'équation suivante décrite par Baize (2000) et Mathieu et Pieltain (2003) :

$$HR = \frac{(P_{\text{air}} - P_{136^{\circ}\text{C}})}{P_{\text{air}}} \times 100$$

**HR** : Humidité résiduelle.

**P<sub>air</sub>** : Poids du sol séché à l'air libre.

**P<sub>136°C</sub>** : Poids du sol séché à 136 °C.

### ✓ Détermination de la matière organique du sol (MO)

La teneur en matière organique (MO) du sol a été évaluée par « la perte au feu » qui a été décrite par plusieurs auteurs (**Rodier, 1984 ; Baize, 2000 ; Mathieu et Pielain, 2003 ; CEAEQ, 2003**). Cette méthode consiste à déterminer la MO par incinération progressive (perte au feu ou perte par calcination). Dans notre étude nous avons évalué la teneur en MO dans le sol par la méthode décrite par **Mathieu et Pielain (2003)**.

Cette technique consiste à peser en double un gramme de sol ( $\varnothing < 2$  mm) dans des creusets propres et préalablement tarés. Un séchage de ces creusets a été réalisé à l'étuve à  $220 \pm 5$  °C durant 16 heures. Une calcination sèche est faite dans un four à moufle à  $450 \pm 10$  °C pendant quatre heures par montée progressive de la température. Le résidu obtenu après calcination et refroidissement au dessiccateur correspond au poids de l'échantillon calciné. La matière organique est obtenue par différence du poids initial et celui de la matière minérale. La perte au feu est exprimée en pourcentage de la masse de l'échantillon déshydraté en appliquant l'équation suivante (**Mathieu et Pielain, 2003 ; CEAEQ, 2003**).

$$\% \text{ MO} = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100$$

$M_1$  = Poids de l'échantillon déshydraté.

$M_2$  = Poids de l'échantillon calciné.

$M_0$  = Poids du creuset vide (tare)

### ✓ La granulométrie :

L'analyse granulométrique a pour but de quantifier les particules minérales élémentaires. La texture d'un sol est sa teneur centésimale en sables grossiers et fins, en limons, en argile, en humus et en calcaire. Cette analyse a été réalisée par la méthode de pipette de Robinson décrite par **Soltner (1996)** et **Baize (2000)**. Après séchage, une quantité de dix grammes de sol tamisé à 2 mm a été utilisée pour l'analyse granulométrique au laboratoire de pédologie du département d'Agronomie (Université de Batna1).

Cette analyse consiste :

- à détruire la matière organique soudant les éléments en agrégats par l'eau oxygénée,
- à disperser l'argile enrobant les particules et les soudant en agrégats, par l'héxametaphosphate de sodium (dispersant basique) et par agitation mécanique,

- à faire des prélèvements au cours de la sédimentation, à une profondeur et à des moments précis, pour isoler les éléments non tamisables : argile, limons fins et grossiers,
- à séparer par tamisage les sables grossiers et fins.

Après analyse granulométrique du sol, les pourcentages obtenus pour les différentes fractions (sable, argile et limon) sont présentés sur le diagramme des différentes textures. Une lecture convenable sur le diagramme correspondant permet de déterminer la texture du sol de la région d'étude.

✓ **Détermination du Phosphore assimilable : méthode d'Olsen :**

Cette méthode de dosage a été décrite par **Mathieu et Pieltain (2003)**. Le principe général de cette méthode est l'extraction des ions phosphoriques en utilisant une solution alcaline de bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0.5 M à pH 8.5. Du charbon actif est utilisé pour adsorber la matière organique soluble qui a tendance à être dissoute dans la solution d'extraction et à empêcher la lecture au colorimètre. De plus la solution doit être acidifiée par l'acide sulfurique avant de procéder à la formation du bleu de molybdène d'ammonium et de chlorure stanneux ( $\text{Sn Cl}_2$ ) (**Mebirouk, 2014**). Cette méthode a été utilisée pour la détermination du P assimilable des échantillons prélevés du sol au cours de l'hiver. La mesure de l'absorbance des extraits coloré en bleu est lue au spectrophotomètre à la longueur d'onde de **660 nm**.

✓ **Détermination des éléments minéraux dans le sol après extraction à l'eau régale :**

Nous avons adopté la méthode de l'extraction à l'eau régale décrite par **Afri-Mehennaoui et Mehennaoui (2004)** pour la détermination des éléments minéraux essentiels et non essentiels dans le sol. Elle consiste en une digestion humide di-acide en utilisant un chauffage à reflux.

Cette méthode est utilisée pour le dosage des éléments totaux et principalement le cuivre, le manganèse, le zinc, le fer, le chrome, le nickel, le plomb et le cadmium (**Mathieu et Pieltain, 2003**). L'eau régale est un mélange de deux acides purs : un volume d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) et trois volumes d'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ). Pour cette extraction un dispositif de chauffage à reflux a été installé avec des ballons en verre à col rodé et des réfrigérants reliés au robinet d'eau de refroidissement. Les ballons doivent être nettoyés et rincés convenablement pour éviter toute sorte d'impureté et de contamination.

Cette extraction consiste à peser un gramme de sol sec auquel sont ajoutés dix millilitres d'eau régale pendant 16 heures (toute une nuit) afin de permettre une oxydation lente de la matière organique du sol. Le chauffage est effectué à une température élevée (à **250 °C**) pendant 10 minutes, puis elle est maintenue à **180 °C** pendant 2 heures (**FAO, 1975 ; ISSeP, 2010**).

L'extrait obtenu est alors filtré avec du papier filtre Wattman (N°540) dans des fioles jaugées de 50 ml. Cette minéralisation n'est pas totale car elle ne dissout pas les silicates, on parle alors de **fraction pseudo-totale**. L'obtention de la fraction totale, nécessite l'ajout à l'eau régale de l'acide fluorhydrique (HF).

Le mélange de l'échantillon du sol et de l'eau régale engendre une effervescence et une formation d'une couleur jaune. D'après **Soltner (1996)**, cette effervescence est due à une réaction du carbonate de calcium contenu (calcaire) dans le sol et de l'acide chlorhydrique, et la couleur jaune observée indique la présence des oxydes de fer dans le sol.

### **I.2.3 Analyses statistiques :**

Afin de mieux visualiser les mesures et les résultats des analyses effectuées sur les différents échantillons de sol et de l'*Atriplex halimus* étudiés, nous avons représenté les résultats sous forme de tableau et de figures pour les différents paramètres étudiés. Les moyennes obtenues ont été comparées entre elles par l'analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (effet saison et effet partie anatomique) en effectuant le test de Newman-Keuls pour un seuil de significativité de 5 %. Cette analyse est effectuée au moyen du logiciel Med Calc Version 12.7.1.0 (**Schoojans et al., 1995**). Le test T Student a été réalisé par Excel.

## Chapitre II : Présentation des résultats

### II. 1 Etude expérimentale I

Les résultats obtenus au cours du protocole expérimental 1 sont présentés successivement sous forme de tableaux et de figures (histogrammes).

#### II.1.1 Comparaison des concentrations en éléments minéraux essentiels dans les différentes parties anatomiques (feuilles-tiges) de l'*Atriplex halimus* :

##### II.1.1.1 Les macroéléments :

Les teneurs moyennes en macroéléments (Ca, P, Mg, Na et K exprimés en g/kg MS) mesurés dans les feuilles et les tiges de l'*Atriplex halimus* des dix prélèvements sont rassemblées dans le tableau 14.

Une différence significative est observée ( $P < 0.05$ ) entre les teneurs moyennes en éléments minéraux des feuilles et celles des tiges.

**Tableau 14** : Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des éléments minéraux majeurs (g/kg MS) et valeurs du rapport Ca/P, des feuilles et des tiges d'*Atriplex halimus* des dix campagnes d'échantillonnage.

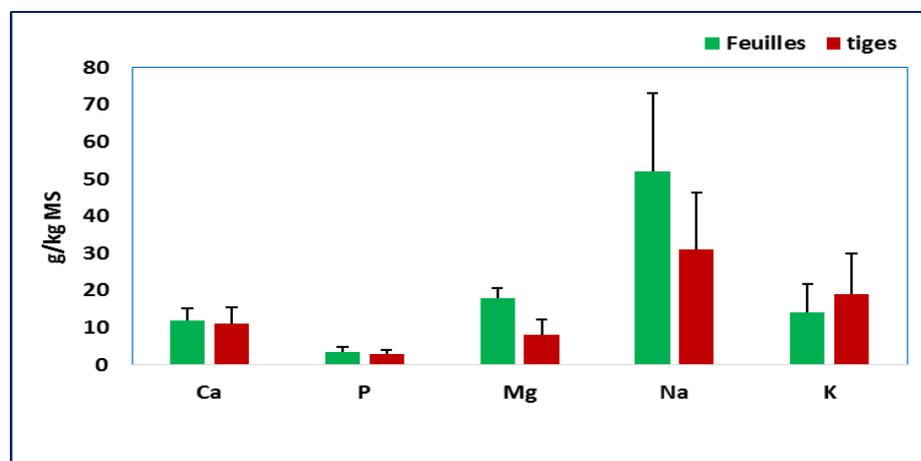
Moyennes	<i>Atriplex halimus</i>		Effet morphologie	
	Feuilles (n=10)	Tiges (n=10)	Valeur P	Significativité
Calcium	12 <sup>a</sup> $\pm$ 3.1(#)	11 <sup>b</sup> $\pm$ 4.42	P = 0.0366	*
Phosphore	3.35 <sup>a</sup> $\pm$ 1.34	3 <sup>b</sup> $\pm$ 1.1	P < 0.0001	***
Rapport Ca/P	4.04 <sup>b</sup> $\pm$ 2	4.61 <sup>a</sup> $\pm$ 2.02	P = 0.0180	*
Magnésium	18 <sup>a</sup> $\pm$ 2.50	8.11 <sup>b</sup> $\pm$ 4.0	P < 0.0001	***
Sodium	52 <sup>a</sup> $\pm$ 21.21	31 <sup>b</sup> $\pm$ 15.23	P < 0.0001	***
Potassium	14 <sup>b</sup> $\pm$ 7.61	19 <sup>a</sup> $\pm$ 11	P = 0.0013	***

(#) Les moyennes affectées de lettres différentes sont significativement différentes ( $P < 0.05$ ).

Les feuilles ont des teneurs moyennes significativement plus élevées ( $P < 0.05$ ) en magnésium et en sodium. Les tiges présentent les teneurs les plus élevées en potassium et en rapport Ca/P de l'ordre de  $19 \pm 11$  g/kg MS et  $4.61 \pm 2$  respectivement.

L'effet morphologie est prononcé pour tous les macroéléments avec une probabilité  $P < 0.001$  pour le P, le Mg, le Na et le K et avec  $P < 0.05$  pour le Ca et le rapport Ca/P.

La figure 16 indique que les feuilles de l'arbuste étudié sont chargées en macroéléments en particulier le sodium et le magnésium. En outre, les tiges ont des teneurs non négligeables en minéraux majeurs avec un pic en potassium.



**Figure 16** : Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) en minéraux majeurs (g/kg MS) des feuilles et des tiges de *Atriplex halimus* des dix campagnes.

Les teneurs du rapport phosphocalcique (Ca/P) mesurées dans les feuilles et les tiges de *Atriplex halimus* au cours des dix campagnes sont rassemblées dans le tableau 15 et illustrées par la figure 17.

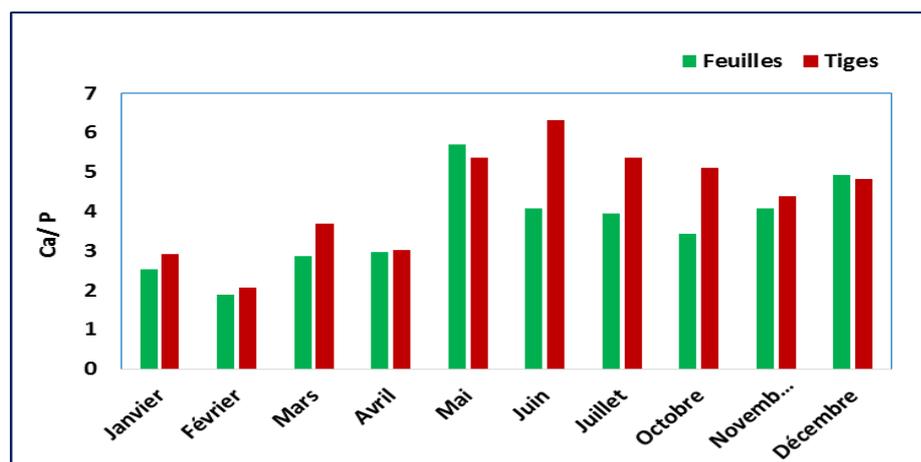
Une différence significative a été constatée entre les teneurs du rapport Ca/P des feuilles et des tiges ( $P = 0.02$ ). Les taux de ce rapport varient de 1.88 à 5.7 et de 2.07 à 6.31 respectivement dans les feuilles et les tiges (tableau 15)

**Tableau 15** : Teneurs mensuelles du rapport Ca/P des feuilles et des tiges d'*Atriplex halimus*

Mois		Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>Morphologie</b>	<b>F</b>	2.54	1.88	2.87	2.96	5.7	4.08	3.95	3.43	4.07	4.93
	<b>T</b>	2.91	2.07	3.96	3.02	5.4	6.31	5.36	5.11	4.38	4.81

**F** : Feuilles ; **T** : Tiges.

La figure 17 montre que les taux les plus élevés du rapport Ca/P sont enregistrés au cours du mois de mai et juin respectivement pour les feuilles et les tiges.



**Figure 17** : Teneurs mensuelles du rapport Ca/P des feuilles et des tiges de *Atriplex halimus*

### II. 1.1.2 Les oligo-éléments :

Les teneurs moyennes des oligo-éléments (Cu, Zn, Mn et Fe) déterminées dans les feuilles et les tiges de l'arbuste *Atriplex halimus* sont indiquées dans le tableau 16. Nous constatons que les concentrations en cuivre sont similaires ( $P > 0.05$ ) pour les feuilles et pour les tiges de l'ordre de  $14 \pm 5.04$  mg/kg MS et de  $13.40 \pm 6.11$  mg/kg MS respectivement.

**Tableau 16** : Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des oligo-éléments (mg/kg MS) des feuilles et des tiges de *Atriplex halimus*

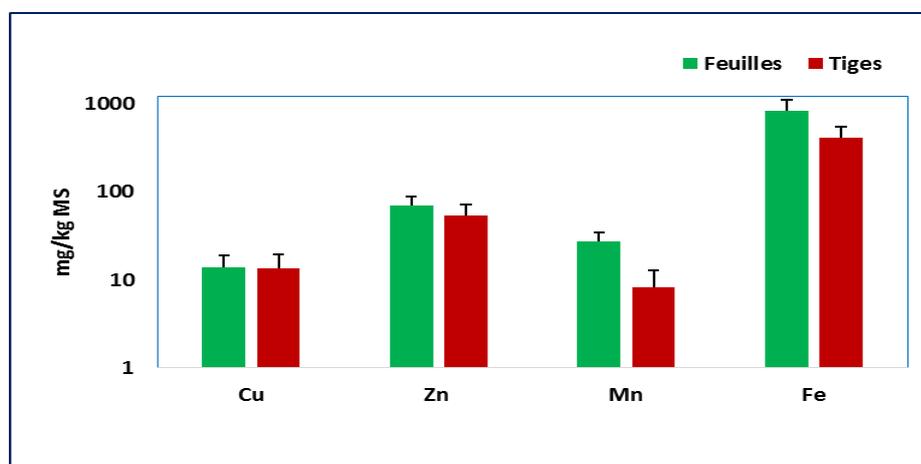
Moyennes	<i>Atriplex halimus</i>		Effet morphologie	
	Feuilles (n=10)	Tiges (n=10)	Valeur P	Significativité
Cuivre	$14 \pm 5.04$	$13.40 \pm 6.11$	P= 0.2896	ns
Zinc	$69^a \pm 19$ (#)	$54^b \pm 18$	P < 0.0001	***
Manganèse	$27.23^a \pm 7.30$	$8.25^b \pm 5$	P < 0.0001	***
Fer	$814^a \pm 265$	$409^b \pm 126$	P < 0.0001	***

(#) Les moyennes affectées de lettres différentes indiquent une différence significative ( $P < 0.05$ ).  
Significativité des effets : \*\*\*  $P < 0.001$  ; ns : non significatif ( $P > 0.05$ ).

Les teneurs moyennes en zinc, en manganèse et en fer sont significativement différentes dans les feuilles et les tiges ( $P < 0.001$ ). Les feuilles ont des taux moyens en Zn plus élevés que ceux des tiges :  $69 \pm 19$  mg/kg MS contre  $54 \pm 18$  mg/kg MS.

Les teneurs moyennes enregistrées en manganèse sont trois fois plus élevées dans les feuilles que dans les tiges (27.23 contre 8.25 mg/kg MS). Celles du fer sont deux fois plus élevées dans les feuilles que dans des tiges (814 versus 409 mg/kg MS).

La figure 18 (échelle semi-logarithmique) indique que le fer est l'oligo-élément le plus abondant en particulier dans les feuilles d'*Atriplex halimus*, suivi de l'élément zinc dont les teneurs se rapprochent de 70 mg/kg MS.



**Figure 18** : Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) en éléments minéraux mineurs (mg/kg MS) des feuilles et des tiges d'*Atriplex halimus* des dix campagnes.

## II. 1. 2 Teneurs moyennes des minéraux dans les cinq fractions des feuilles et des tiges :

Pour chaque prélèvement mensuel de la plante fourragère *Atriplex halimus* cinq fractions ont été effectuées pour les feuilles et les tiges. Les minéraux majeurs et mineurs mesurés dans ces différentes fractions seront présentés successivement sous formes d'histogrammes illustratifs.

### II. 1. 2.1 Les macroéléments :

Les teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des éléments majeurs (Ca, P, Mg, Na et K) dans les différentes fractions des feuilles et des tiges sont présentées dans les tableaux (17 et 18), et illustrées sous formes d'histogrammes (figures 19 à 24).

Les tableaux 17 et 18 indiquent les taux moyens et l'étude statistique des minéraux majeurs évalués dans les différentes fractions des feuilles et des tiges respectivement.

#### a- Le calcium :

A l'observation de la figure 19(1) nous constatons que la teneur moyenne la plus faible du Ca est enregistrée dans la fraction I des feuilles de l'ordre de  $9.2 \pm 2.7$  g/kg MS. L'étude statistique révèle une différence significative ( $P < 0.05$ ) entre les teneurs moyennes du même élément dans cette fraction et celles des autres fractions.

Par ailleurs, les taux moyens du calcium des fractions II, III, IV et V sont comparables ( $P > 0.05$ ) avec des concentrations allant de  $12.10 \pm 2.45$  à  $13.66 \pm 3.10$  g/kg MS.

**Tableau 17** : Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des minéraux majeurs (g/ kg MS) dans les différentes fractions des feuilles d'*Atriplex halimus*.

Elément	Fraction I	Fraction II	Fraction III	Fraction IV	Fraction V
Ca	9.2 <sup>b</sup> $\pm$ 2.7 (#)	12.13 <sup>a</sup> $\pm$ 2.6	12.13 <sup>a</sup> $\pm$ 3	12.10 <sup>a</sup> $\pm$ 2.5	13.66 <sup>a</sup> $\pm$ 3.1
P	3.56 <sup>a</sup> $\pm$ 1.5	3.15 <sup>a</sup> $\pm$ 1.31	3.35 <sup>a</sup> $\pm$ 1.24	3.35 <sup>a</sup> $\pm$ 1.23	3.33 <sup>a</sup> $\pm$ 1.5
Ca/P	3.10 <sup>b</sup> $\pm$ 2.1	4.41 <sup>ab</sup> $\pm$ 2	4.04 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.57	3.95 <sup>ab</sup> $\pm$ 1.31	4.74 <sup>a</sup> $\pm$ 2.5
Mg	18.13 <sup>a</sup> $\pm$ 2.5	18.18 <sup>a</sup> $\pm$ 2.1	17.16 <sup>a</sup> $\pm$ 2.3	17.45 <sup>a</sup> $\pm$ 3.2	17.62 <sup>a</sup> $\pm$ 2.4
Na	49.1 <sup>a</sup> $\pm$ 11.5	48 <sup>a</sup> $\pm$ 8.25	50 <sup>a</sup> $\pm$ 19.62	58.9 <sup>a</sup> $\pm$ 26	55 <sup>a</sup> $\pm$ 31
K	14 <sup>a</sup> $\pm$ 4.35	13 <sup>a</sup> $\pm$ 5.01	16.5 <sup>a</sup> $\pm$ 5.51	15.7 <sup>a</sup> $\pm$ 4.89	14.6 <sup>a</sup> $\pm$ 4.14

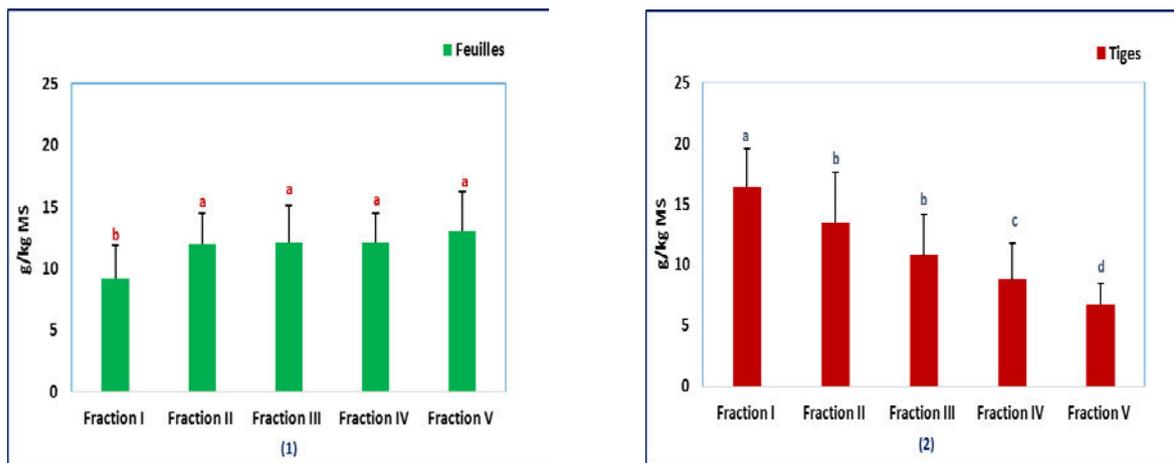
**Tableau 18** : Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des minéraux majeurs (g/kg MS) dans les différentes fractions des tiges d'*Atriplex halimus*.

Elément	Fraction I	Fraction II	Fraction III	Fraction IV	Fraction V
Ca	16.17 <sup>a</sup> $\pm$ 3.1 (#)	13.1 <sup>b</sup> $\pm$ 4.15	11.3 <sup>b</sup> $\pm$ 4.15	9.1 <sup>c</sup> $\pm$ 3.05	6.71 <sup>d</sup> $\pm$ 1.75
P	3.2 <sup>a</sup> $\pm$ 1.57	2.9 <sup>a</sup> $\pm$ 0.76	2.85 <sup>a</sup> $\pm$ 0.94	2.18 <sup>b</sup> $\pm$ 0.63	2 <sup>b</sup> $\pm$ 0.64
Ca/P	7.36 <sup>a</sup> $\pm$ 1.85	4.92 <sup>b</sup> $\pm$ 2.17	4.34 <sup>b</sup> $\pm$ 1.90	4.34 <sup>b</sup> $\pm$ 1.71	3.58 <sup>b</sup> $\pm$ 1.05
Mg	15 <sup>a</sup> $\pm$ 2.77	10.46 <sup>b</sup> $\pm$ 2.53	8.21 <sup>c</sup> $\pm$ 2.12	6.21 <sup>d</sup> $\pm$ 1.73	5 <sup>e</sup> $\pm$ 1.17
Na	34.56 <sup>b</sup> $\pm$ 21	46.3 <sup>a</sup> $\pm$ 16.52	34 <sup>b</sup> $\pm$ 8.47	27.3 <sup>b</sup> $\pm$ 9.13	18.82 <sup>c</sup> $\pm$ 7.75
K	28.01 <sup>a</sup> $\pm$ 7.31	24 <sup>a</sup> $\pm$ 12.6	20.3 <sup>ab</sup> $\pm$ 11	14.4 <sup>b</sup> $\pm$ 9.11	12.3 <sup>b</sup> $\pm$ 6.45

(#) Les moyennes affectées de lettres différentes indiquent une différence significative ( $P < 0.05$ ). Le nombre de prélèvement  $n = 10$ .

La répartition du Ca dans les différentes fractions des tiges a pris une tendance bien définie [figure 19(2)]. Une nette diminution a été constatée graduellement de la fraction I jusqu'à la fraction V.

Statistiquement quatre groupes sont observés ( $P < 0.05$ ). Le premier est celui de la fraction I (16.17  $\pm$  3.05 g/kg MS), le deuxième regroupe les fractions II et III avec 13.1  $\pm$  4.15 et 11.3  $\pm$  4.15 g/kg MS respectivement, le troisième et le quatrième groupe concernent la fraction IV et la fraction V avec les concentrations suivantes 9.1  $\pm$  3.05 et 6.71  $\pm$  1.75 g/kg MS respectivement [figure 19(2)].



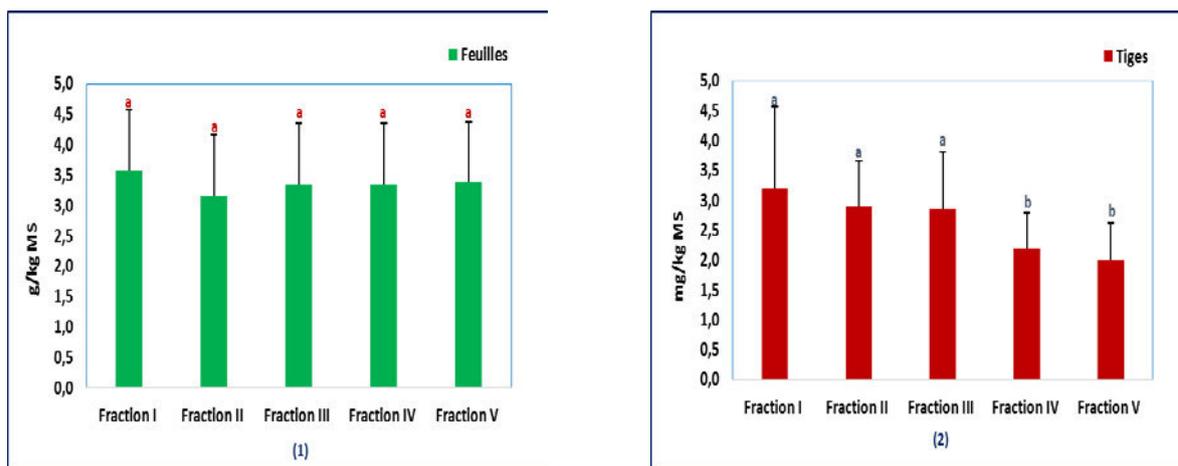
**Figure 19 :** Teneurs moyennes en Ca (g/kg MS) des cinq fractions de l’*Atriplex halimus* des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements.

Les différentes lettres en exposant indiquent une différence significative (P<0.05)

**b- Le phosphore :**

L’analyse statistique révèle des teneurs moyennes comparables (P > 0.05) du P dans les différentes fractions des feuilles allant de 3.15 ± 1.31 dans la fraction II à 3.56 ± 1.50 g/kg MS au niveau de la fraction I [figure 20(1)].

Parallèlement, les teneurs moyennes en P dans les fractions tiges sont réparties en deux groupes (P< 0.05).



**Figure 20 :** Teneurs moyennes en P (g/kg MS) des cinq fractions de l’*Atriplex halimus* des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements

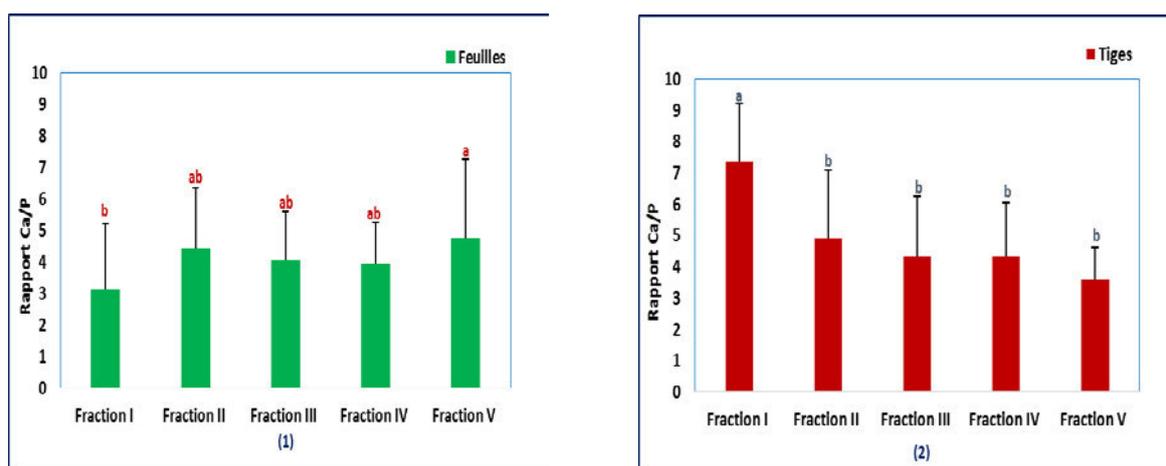
Les différentes lettres en exposant indiquent une différence significative (P<0.05).

Le premier groupe est constitué par les fractions I, II et III dont les teneurs respectives sont :  $3.20 \pm 1.57$  ;  $2.90 \pm 0.76$  et  $2.85 \pm 0.94$  g/kg MS. Le deuxième groupe englobe les fractions IV et V avec les taux suivants :  $2.18 \pm 0.63$  et  $2 \pm 0.64$  respectivement [figure 20(2)].

### c- Le rapport phosphocalcique (Ca/P) :

Le rapport Ca/P dans les fractions des feuilles varie de  $3.10 \pm 2.1$  à  $4.74 \pm 2.5$  et une différence significative ( $P < 0.05$ ) est observée. Statistiquement, trois groupes se distinguent, le premier groupe est celui de la fraction V révélant la teneur la plus élevée avec un taux de  $4.74 \pm 2.5$ . Le deuxième groupe concerne les fractions suivantes IV, III et II avec des rapports respectifs de  $3.95 \pm 1.31$  ;  $4.04 \pm .5$  et  $4.41 \pm 1.93$ . Le dernier groupe est celui de la fraction I avec un taux de  $3.10 \pm 2.1$  [tableau 17 et figure 21(1)].

De plus, le rapport Ca/ P de la fraction I des tiges présente le taux le plus élevé de l'ordre de  $7.36 \pm 1.85$  par rapport aux autres fractions ( $P \leq 0.05$ ). Par ailleurs, les fractions II, III, IV et V ont des taux Ca/P comparables allant de  $3.58 \pm 1.05$  à  $4.92 \pm 2.17$  [tableau 18 et figure 21(2)].



**Figure 21 :** Teneurs moyennes du rapport phosphocalcique (Ca/P) des cinq fractions de l'*Atriplex halimus* des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements.

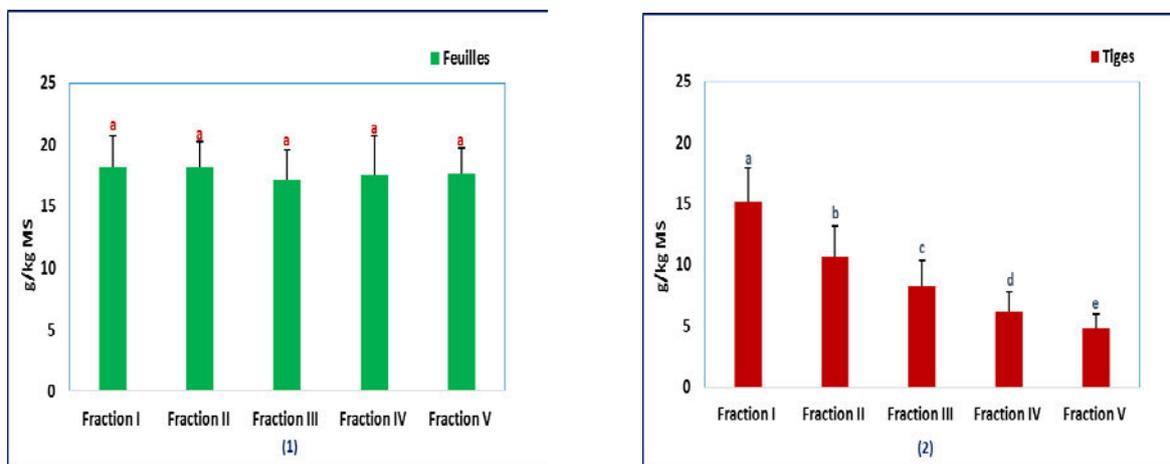
Les différentes lettres en exposant indiquent une différence significative ( $P < 0.05$ ).

### d- Le magnésium :

Les teneurs moyennes du Mg des cinq fractions feuille sont de l'ordre de 17.16 ; 17.45 ; 17.62 ; 18.13 et 18.18 g/kg MS respectivement pour les fractions III, IV ; V ; I et II comme il a été mentionné dans le tableau 17. La figure 22 (1) montre que la répartition du Mg dans les différentes fractions des feuilles sont comparables.

Dans les tiges les teneurs moyennes en Mg décroissent de la fraction I à la fraction V : figure 22(2). Une différence significative ( $P < 0.05$ ) est observée entre les teneurs des cinq fractions qui

sont classée de la plus élevée à la plus faible dont les concentrations sont respectivement les suivantes :  $14.72 \pm 3$  ;  $10.46 \pm 2.4$  ;  $8.21 \pm 2.10$  ;  $6.21 \pm 1.73$  et  $4.79 \pm 1.17$  g/kg MS (tableau 18). Les teneurs moyennes enregistrées classées par ordre décroissant sont les suivantes :  $28.01 \pm 7.31$  ;  $23.60 \pm 12.62$  ;  $20.27 \pm 10.62$  ;  $14.36 \pm 9.11$  et  $12.28 \pm 6.45$  mg/kg MS (tableau 18).



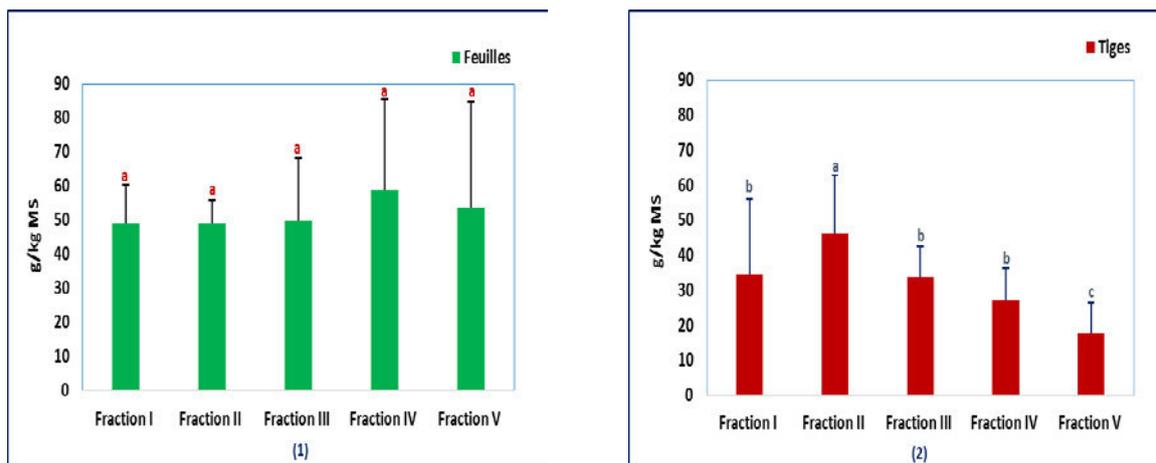
**Figure 22 :** Teneurs moyennes en Mg (g/kg MS) des cinq fractions de l'*Atriplex halimus* des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements.

Les différentes lettres en exposant indiquent une différence significative ( $P < 0.05$ )

#### e-Le sodium :

Les teneurs moyennes du Na dans les fractions feuilles oscillent entre  $48 \pm 8.25$  et  $58.90 \pm 26$  g/kg MS. La teneur la plus élevée est enregistrée dans la fraction IV et la plus faible est dans la fraction II (tableau 17). L'étude statistique révèle des teneurs moyennes du Na comparables ( $P > 0.05$ ) entre les cinq fractions comme c'est illustré dans la figure 23 (1).

Au regard de la figure 23 (2), nous constatons une variabilité de la teneur sodique des différentes fractions des tiges. Trois groupes sont observés, le premier est constitué par la fraction II, le deuxième englobe les fractions suivantes : I, III et IV. Le dernier groupe est formé seulement par la fraction V. Les valeurs moyennes du Na enregistrées varient de la plus faible ( $18.82 \pm 7.75$  g/kg MS) à la plus élevée ( $46.3 \pm 16.52$  g/kg MS) (tableau 18).

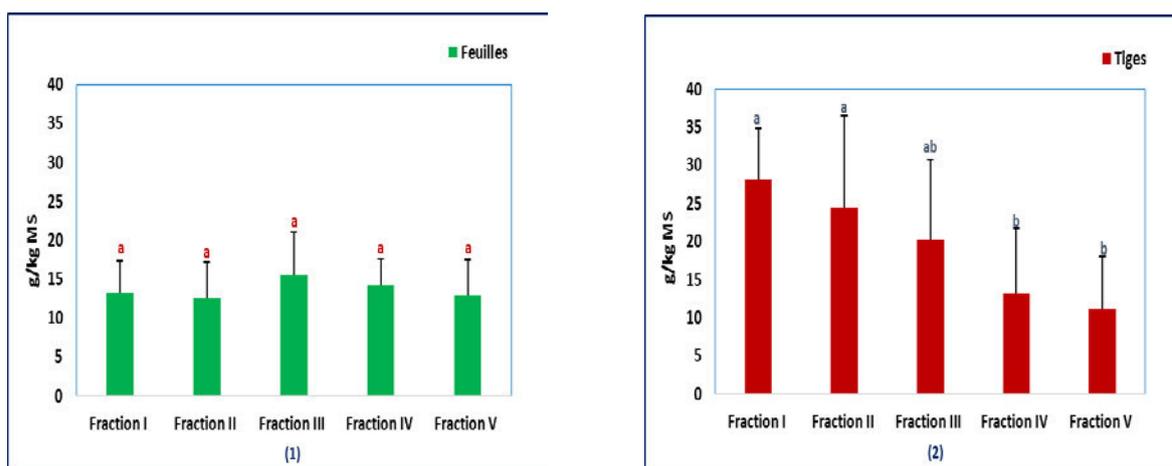


**Figure 23 :** Teneurs moyennes en Na (g/kg MS) des cinq fractions de l'*Atriplex halimus* des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements.

Les différentes lettres en exposant indiquent une différence significative (P<0.05).

**f-Le potassium :**

Les teneurs moyennes du K dans les fractions des feuilles varient de la plus faible (13 ± 5.01 g/kg MS) dans la fraction II à la plus élevée dans la fraction III de l'ordre de 16.5 ± 5.51 g/kg MS (tableau 17). L'étude statistique montre des teneurs comparables (P> 0.05) entre les cinq fractions des feuilles [figure 24 (1)]. Contrairement aux fractions feuilles, celles des tiges révèlent des teneurs variables (tableau 18). Statistiquement trois groupes se distinguent (P< 0.05). Le premier est celui des fractions I et II avec des teneurs moyennes respectives mesurées de l'ordre de 28.01 ± 7.31 et 24 ± 12.6 g/kg MS [figure 24(2)].



**Figure 24 :** Teneurs moyennes en K (g/kg MS) des cinq fractions d'*Atriplex halimus* des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements.

Les différentes lettres en exposant indiquent une différence significative (P<0.05).

Le deuxième groupe est celui de la fraction III avec une teneur de  $20.3 \pm 11$  g/kg MS (tableau 18). Le dernier groupe est constitué par les fractions V et IV avec des taux moyens de K de l'ordre de  $12.3 \pm 6.45$  et  $14.36 \pm 9.11$  g/kg MS respectivement [tableau 18 et figure 24(2)].

### II. I. 2.2 Les oligo-éléments :

Les teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des oligoéléments (Cu, Zn, Mn et Fe) mesurées dans les différentes fractions des feuilles et des tiges sont regroupées dans les tableaux 19 et 20. Les histogrammes relatifs à la répartition de ces oligo-éléments sont indiqués dans les figures numérotées de 25 à 28. Les résultats obtenus des oligo-éléments dans les différentes fractions des feuilles et des tiges sont commentés en commençant par le cuivre.

Les tableaux 19 et 20 regroupent les taux moyens ( $\pm$  écart-type) et l'étude statistique des oligo-éléments évalués dans les différentes fractions des feuilles et des tiges respectivement.

**Tableau 19 :** Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des oligo-éléments dans les feuilles de l'*Atriplex halimus* au cours de l'année (2002-2003)

Elément	Fraction I	Fraction II	Fraction III	Fraction IV	Fraction V
Cu	$14.05^a \pm 5$ (#)	$14^a \pm 4.80$	$13.81^a \pm 4.72$	$14.01^a \pm 6$	$12.61^a \pm 5.31$
Zn	$70.5^a \pm 11$	$71.32^a \pm 27$	$66.33^a \pm 15.44$	$66^a \pm 13.4$	$70.3^a \pm 23.25$
Mn	$31.2^a \pm 7$	$29.24^a \pm 8.10$	$25.31^a \pm 6.31$	$25.3^a \pm 6.56$	$25.23^a \pm 7.25$
Fe	$665^b \pm 207$	$827^{ab} \pm 221$	$834^{ab} \pm 248$	$863^a \pm 225$	$878.5^a \pm 37$

**Tableau 20 :** Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des oligo-éléments dans les tiges de l'*Atriplex halimus* au cours de l'année (2002-2003)

Elément	Fraction I	Fraction II	Fraction III	Fraction IV	Fraction V
Cu	$18.44^a \pm 8.40$	$13^b \pm 5.44$	$12.12^b \pm 5.86$	$12.96^{b\pm} 6.11$	$13.1^b \pm 5.7$
Zn	$70.51^a \pm 13$	$58^b \pm 15.42$	$51.29^b \pm 15$	$51.61^b \pm 18.4$	$47^b \pm 18.41$
Mn	$9.01^a \pm 5.23$	$9.80^a \pm 4.40$	$8.66^a \pm 4.03$	$7.80^a \pm 4.59$	$6.86^a \pm 5$
Fe	$503^a \pm 180$	$476.5^a \pm 113$	$386.3^{b\pm} 103$	$363^b \pm 134$	$374.5^b \pm 69$

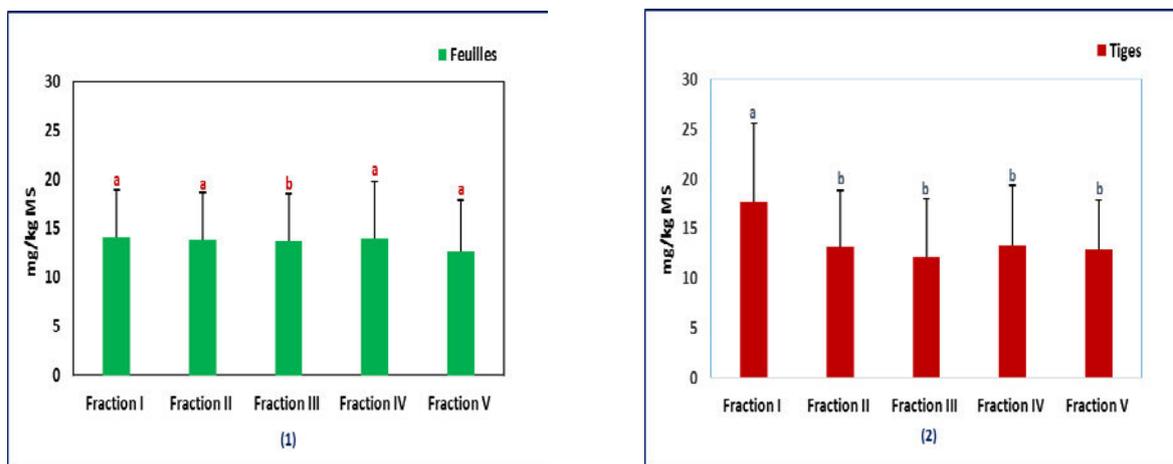
(#) Les moyennes affectées de lettres différentes indiquent une différence significative ( $P < 0.05$ ) ; Le nombre d'échantillon  $n = 10$ .

#### a- Le cuivre :

A l'observation du tableau 19 et la figure 25 (1), nous constatons que les teneurs moyennes du Cu dans les différentes fractions des feuilles sont comparables ( $P > 0.05$ ). La teneur la plus faible est enregistrée dans la fraction V de l'ordre de  $12.61 \pm 5.31$  mg/kg MS et la plus élevée est mesurée dans la fraction I avec une teneur de  $14.05 \pm 5$  mg/kg MS (tableau 19).

Les teneurs moyennes du Cu dans les fractions des tiges sont comparables ( $P > 0.05$ ) à l'exception de la fraction I qui a la teneur la plus élevée ( $18.44 \pm 8.40$  mg/kg MS) et qui diffère significativement des autres fractions ( $P < 0.05$ ) [tableau 20 et figure 25(2)].

Les taux moyens du Cu des fractions III, II, IV et V sont respectivement organisés par ordre croissant :  $12.12 \pm 5.86$  ;  $13 \pm 5.44$  ;  $12.96 \pm 6.11$  et  $13.1 \pm 5.7$  mg/kg MS (tableau 20).



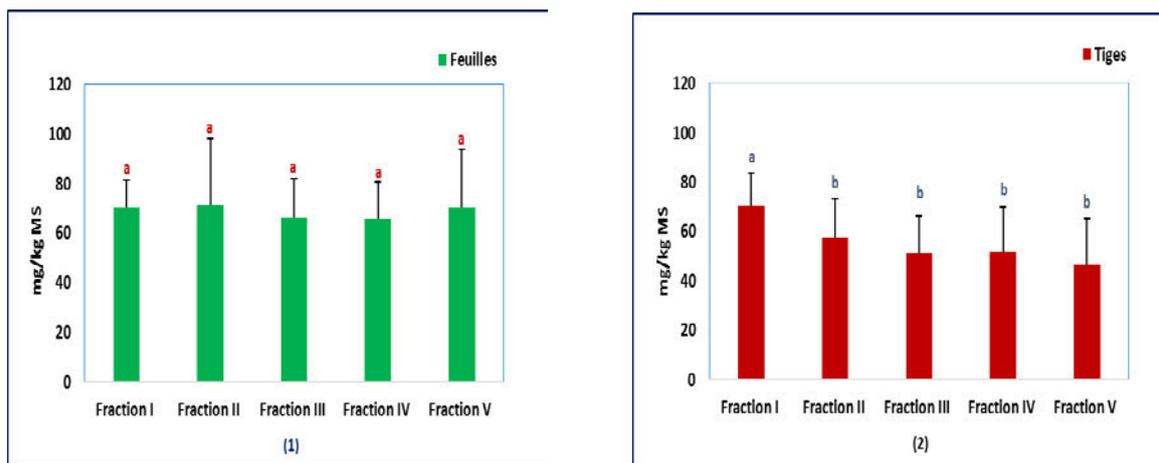
**Figure 25 :** Teneurs moyennes en cuivre (mg/kg MS) des cinq fractions d'Atriplex halimus des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements.

Les différentes lettres en exposant indiquent une différence significative ( $P < 0.05$ ).

#### b- Le zinc :

La figure 26(1) montre que les différentes fractions des feuilles ont des teneurs en zinc comparables ( $P > 0.05$ ). Ces teneurs allant de la concentration  $66 \pm 13.4$  mg/kg MS dans la fraction IV à la concentration  $71.32 \pm 27$  mg/kg MS dans la fraction II (tableau 19).

Comparativement aux feuilles, les teneurs du Zn dans les fractions tiges varient d'une fraction à une autre [figure 26(2)]. Statistiquement deux groupes distincts ont été révélés, le premier englobe la fraction I avec une concentration de  $70.51 \pm 13$  mg/kg, le deuxième groupe regroupe les fractions II, IV, III et V dont les concentrations sont respectivement de l'ordre de  $58 \pm 15.42$  ;  $51.61 \pm 18.4$  ;  $51.29 \pm 14.83$  et  $47 \pm 18.41$  mg/kg MS (tableau 20).



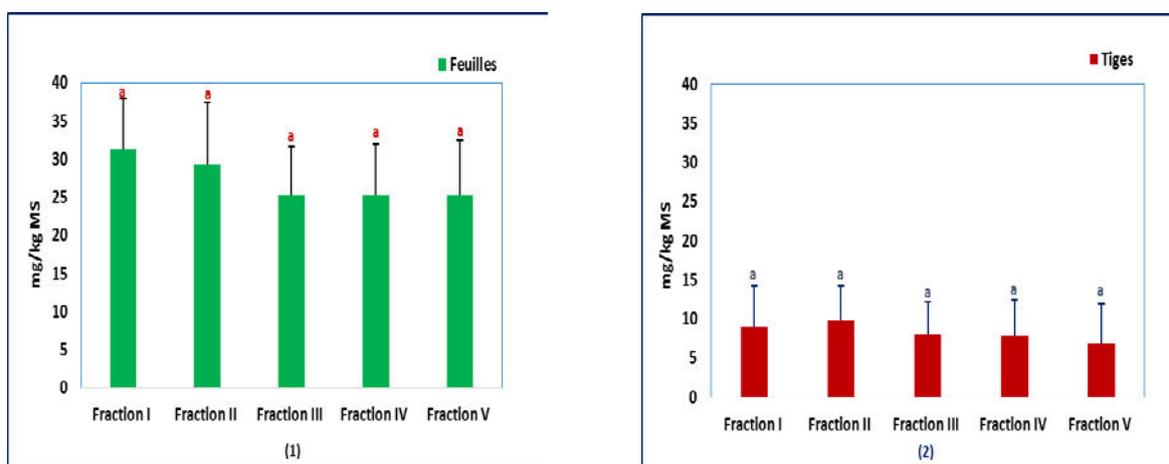
**Figure 26 :** Teneurs moyennes en zinc (mg/kg MS) des cinq fractions d'Atriplex halimus des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements.

Les différentes lettres en exposant indiquent une différence significative ( $P < 0.05$ ).

### c- Le manganèse :

La figure 27 (1) montre que les teneurs moyennes du Mn enregistrées dans les fractions feuilles sont comparables ( $P > 0.05$ ). L'hierarchie observée des taux moyens du Mn diminue progressivement de la fraction I jusqu'à la cinquième fraction dont les concentrations sont respectivement les suivantes :  $31.21 \pm 7$  ;  $29.24 \pm 8.10$  ;  $25.31 \pm 6.31$  ;  $25.30 \pm 6.56$  et  $25.23 \pm 7.25$  mg/kg MS (tableau 19).

Les fractions tiges ont également des teneurs comparables ( $P > 0.05$ ) avec un pic observé dans la fraction II de l'ordre de  $9.80 \pm 4.40$  mg/kg MS [figure 27 (2) et tableau 20]. Les concentrations moyennes notées pour les fractions I, III, IV et V sont :  $9.01 \pm 5.23$  ;  $8.66 \pm 4.03$  ;  $7.80 \pm 4.5$  et  $6.86 \pm 5$  mg/kg MS (tableau 20).

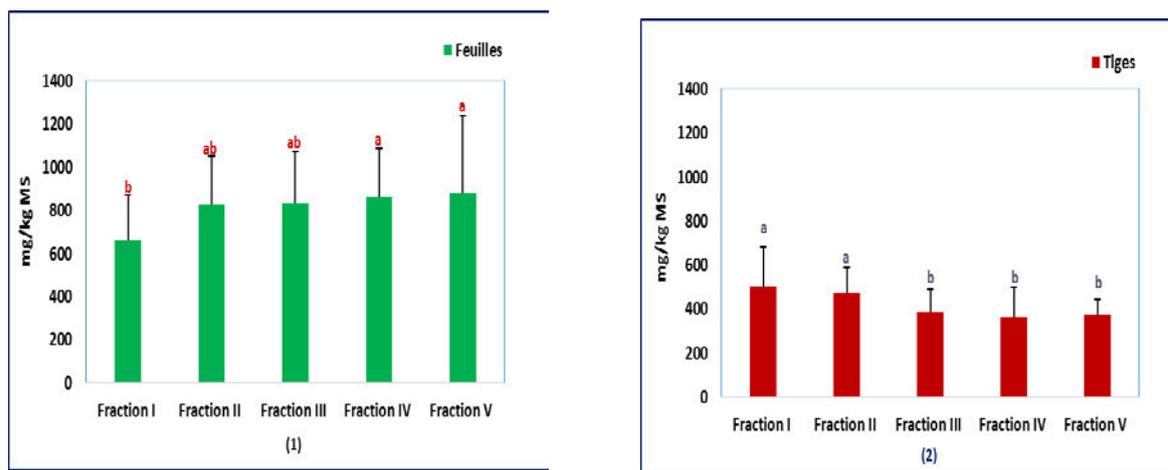


**Figure 27 :** Teneurs moyennes en manganèse (mg/kg MS) des cinq fractions de l'Atriplex halimus des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements

Les différentes lettres en exposant indiquent une différence significative ( $P < 0.05$ ).

**d-Le fer :**

La figure 28 (1) des teneurs moyennes du Fe dans les fractions feuilles ressort trois groupes distincts significativement différents ( $P < 0.05$ ). Le premier est celui de la fraction V et IV dont les concentrations sont les suivantes  $878.52 \pm 362.04$  et  $863 \pm 225$  mg/kg MS respectivement (tableau 19). Le deuxième groupe est celui des fractions III et II avec des valeurs respectives suivantes :  $833.62 \pm 240$  et  $827.12 \pm 221$ mg/kg MS. Les teneurs moyennes de la fraction I sont classées dans le troisième groupe de l'ordre de  $665 \pm 207$  mg/kg MS (tableau 19).



**Figure 28 :** Teneurs moyennes en fer (mg/kg MS) des cinq fractions de l'Atriplex halimus des feuilles (1) et des tiges (2) des dix prélèvements.

Les différentes lettres en exposant indiquent une différence significative ( $P < 0.05$ ).

L'histogramme des tiges de la figure 28(2) montre que les taux moyens du Fe dans les fractions I et II sont significativement différents des autres fractions ( $P < 0.05$ ) et ont des teneurs les plus élevées (503 et 476.5 mg/kg MS respectivement).

Les fractions III, V et IV ont des teneurs moyennes du fer comparables ( $P > 0.05$ ) avec des concentrations respectives classées par ordre décroissant :  $386.3 \pm 103$  ;  $374.5 \pm 69$  et  $363 \pm 134$  mg/kg MS (tableau 20).

### II.2.3 Etude des corrélations entre les différents éléments (majeurs et mineurs) chez *Atriplex halimus* :

Les teneurs en éléments minéraux de l'arbuste étudié sont variables d'un élément à un autre.

Afin d'étudier la relation entre les éléments minéraux majeurs et mineurs, une étude de corrélation a été réalisée. Cette dernière est effectuée entre les éléments majeurs d'une part et les oligo-éléments d'autre part.

Dans les paragraphes qui suivent nous allons d'écrire cette relation entre minéraux afin d'établir une liaison entre eux en commençant par les macroéléments.

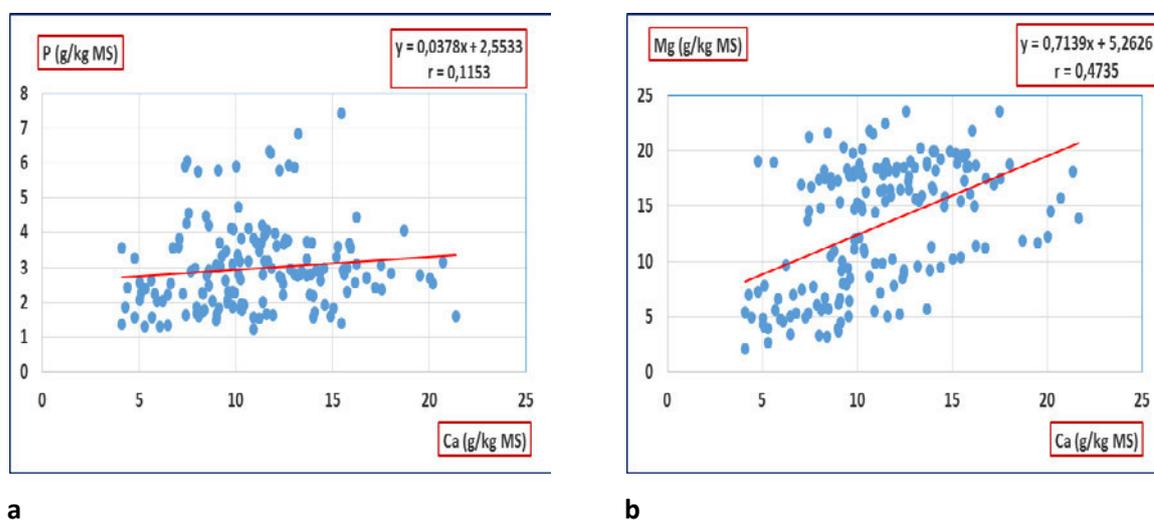
### a-Corrélation entre les macroéléments :

Les figures numérotées de 29 à 33 représentent les corrélations entre les différents éléments minéraux majeurs étudiés chez *Atriplex halimus*. Sur chaque figure l'équation et le coefficient de corrélation  $r$  sont affichés.

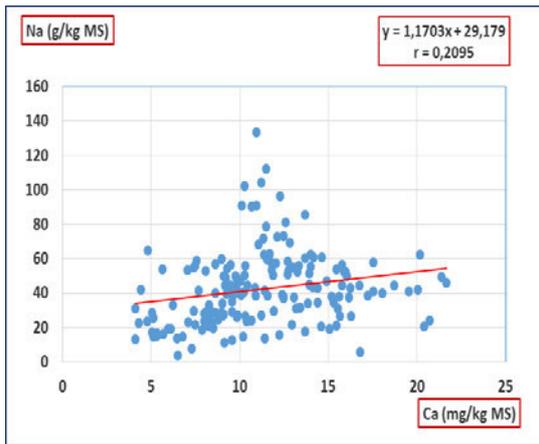
Dans notre étude le nombre d'échantillons ( $n$ ) est supérieur à 100 et nous parlons d'une corrélation significative à 5 % essentiellement quand les coefficients ( $r$ ) sont supérieurs ou égales à 0.1946. Lorsque les coefficients de corrélation sont supérieurs à la valeur de 0.2540, la probabilité de signification est à  $P < 0.01$ .

Par ailleurs, aucune corrélation n'est significative lorsque  $P > 0.05$  avec des valeurs du coefficient de corrélation  $r < 0.1946$ . C'est le cas des couples suivants : calcium-phosphore (figure 29a), calcium-potassium (figure 30b), magnésium-potassium (figure 32b), sodium-potassium (figure 32a) et le couple phosphore-potassium (figure 33b). Les coefficients de corrélation ( $r$ ) correspondants aux couples cités précédemment sont respectivement les suivants : 0.1153 ; 0.1863 ; - 0.0141 ; 0.0755 et - 0.1039.

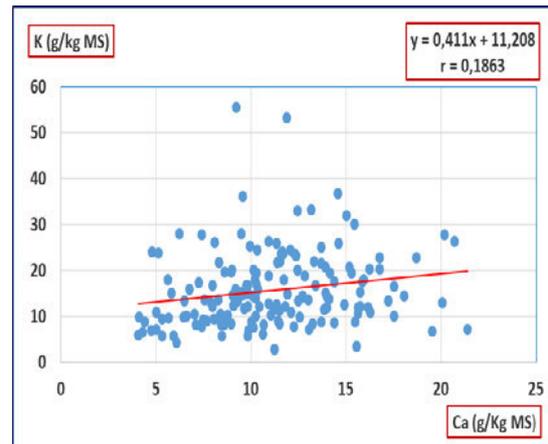
La figure 29b montre une corrélation significative à  $P < 0.01$  entre la Ca et le Mg ( $r = 0.4735$ ). Cela traduit une relation étroite entre les deux éléments : quand la teneur du Ca augmente celle du Mg augmente aussi. Il en est de même pour le Ca et le Na avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0.2095 (figure 30a) et une significativité de 5 %.



**Figure 29 :** Corrélation entre le calcium et le phosphore (a) et entre le calcium et le magnésium (b) de l'*Atriplex halimus*

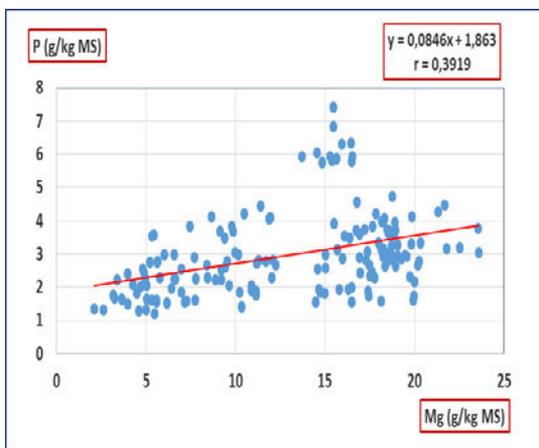


c

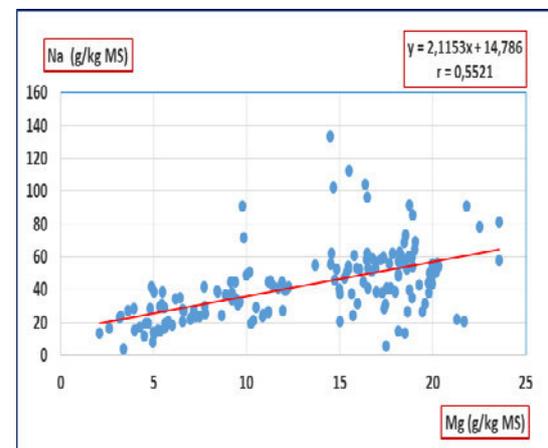


d

**Figure 30 :** Corrélation entre le calcium et le sodium (a) et entre le calcium et le potassium (b) de l'*Atriplex halimus*

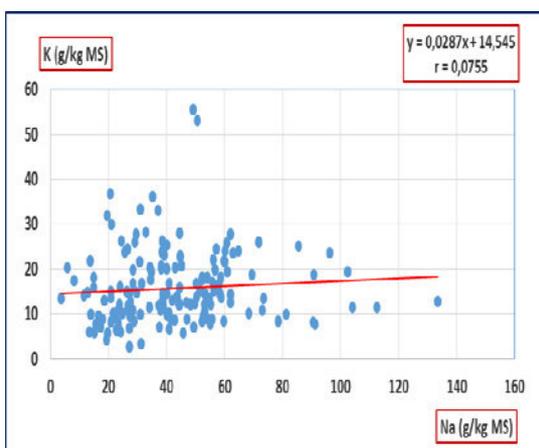


a

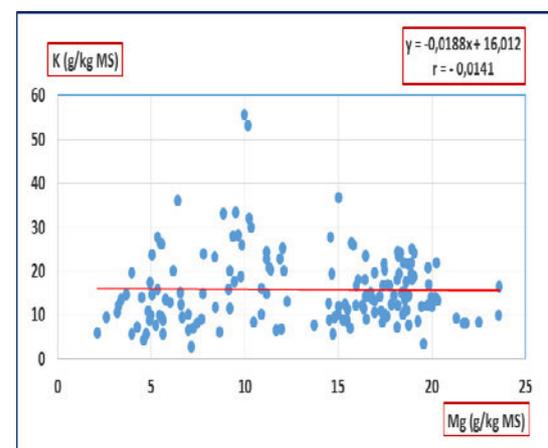


b

**Figure 31 :** Corrélation entre le magnésium et le phosphore (a) et entre le magnésium et le sodium (b) de l'*Atriplex halimus*

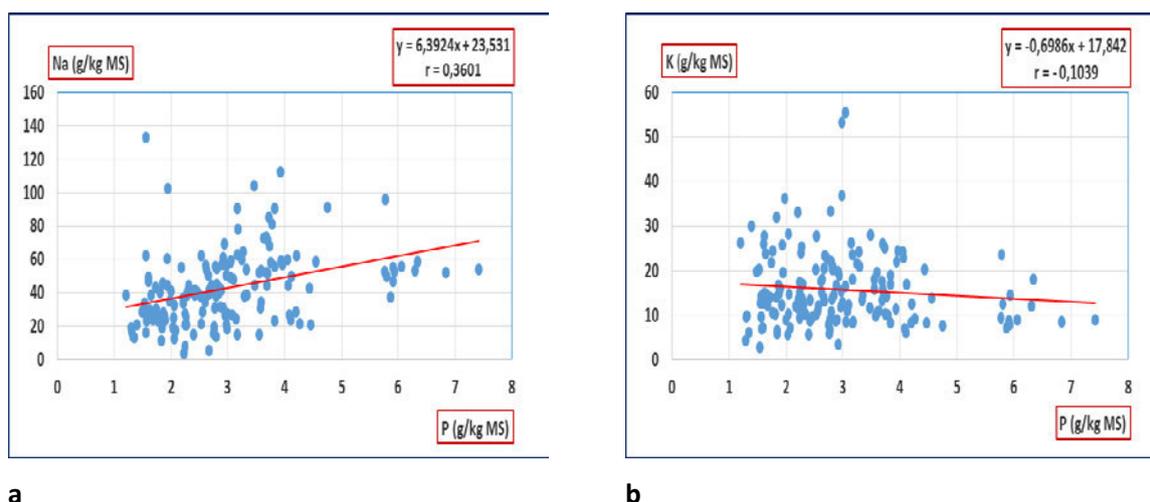


c



d

**Figure 32 :** Corrélation entre le magnésium et le potassium (a) et entre le sodium et le potassium (b) de l'*Atriplex halimus*

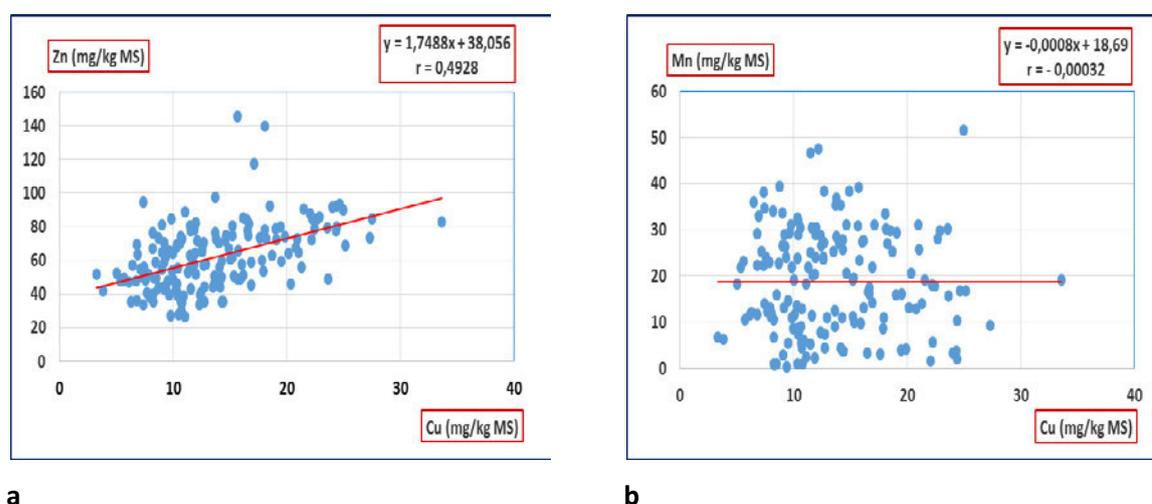


**Figure 33 :** Corrélation entre le phosphore et le sodium (a) et entre le phosphore et le potassium (b) de l'*Atriplex halimus*

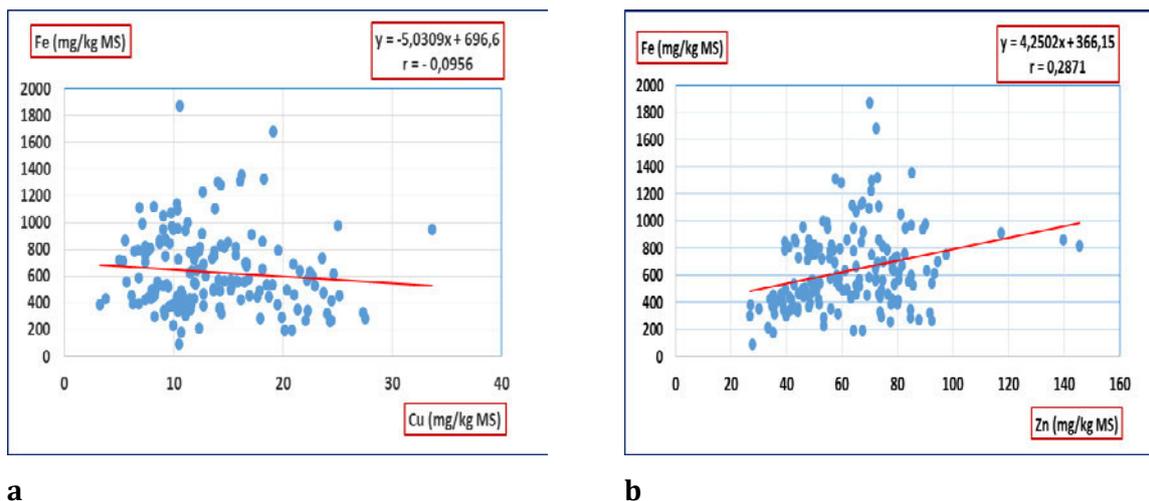
Des corrélations significatives ( $P < 0.01$ ) sont également observées entre le phosphore et le magnésium (figure 31a), le magnésium et le sodium (figure 31b) et entre le phosphore et le sodium (figure 33a), dont les coefficients de corrélation ( $r$ ) sont les suivants : 0.3920 ; 0.5521 et 0.3601 respectivement.

#### **b-Corrélation entre les oligo-éléments :**

Comme il a été mentionné précédemment la corrélation ne sera significative qu'avec des coefficients de corrélation  $r$  sont supérieurs ou égales à 0.1946. Aucune corrélation ( $P > 0.05$ ) n'a été observée entre le cuivre et le manganèse (figure 34b) et entre le cuivre et le fer (figure 35a) avec des coefficients de corrélation ( $r$ ) de l'ordre de  $-0.00032$  et  $-0,0959$  respectivement.

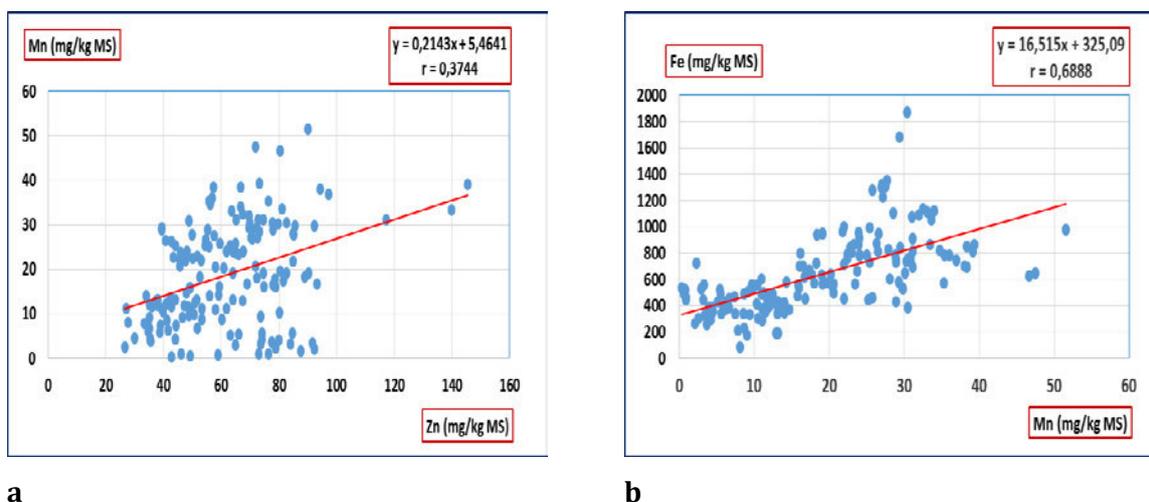


**Figure 34 :** Corrélation entre le zinc et le cuivre (a) et entre le manganèse et le cuivre (b) de l'*Atriplex halimus*



**Figure 35 :** Corrélation entre le fer et le cuivre (a) et entre le fer et le cuivre (b) de l'*Atriplex halimus*

Néanmoins, des corrélations significatives à  $P < 0.01$  sont enregistrées entre le cuivre et le zinc ( $r = 0.4928$  ; figure 34a), le fer et le zinc ( $r = 0.2871$  ; figure 35b), le zinc et le manganèse ( $r = 0.3744$  ; figure 36a) et entre le fer et le manganèse ( $r = 0.6388$  ; figure 36b).



**Figure 36 :** Corrélation entre le manganèse et le zinc (a) et entre le fer et manganèse (b) de l'*Atriplex halimus*

#### II.1.4 Les teneurs moyennes du cadmium et du plomb dans les différentes parties de l'*Atriplex halimus* :

Les concentrations moyennes et les teneurs extrêmes en cadmium et en plomb dans les différentes parties de l'*Atriplex halimus* (feuilles et tiges) et la plante entière sont indiquées dans le tableau 21.

Les teneurs moyennes du Cd dans la plante entière oscillent de 0.044 à 0.489 mg/kg MS, celles des feuilles et des tiges varient de 0.013 à 0.531 et de 0.018 à 0.462 mg/kg MS respectivement. Les concentrations maximales du Cd dans les feuilles (0.531 mg/kg MS) et les tiges (0.462 mg/kg MS) ont été observées au cours des mois suivants : janvier et décembre respectivement.

Les taux moyens du plomb dans l'arbuste *Atriplex halimus* et ses différentes parties : feuilles et tiges sont de l'ordre de  $3.68 \pm 2.30$ ,  $3.67 \pm 2.57$  et  $3.92 \pm 2.70$  mg /kg MS respectivement.

Les valeurs extrêmes sont observées au niveau des tiges dont les concentrations sont les suivantes : 0.03 et 15.84 mg/kg MS (tableau 21).

Les teneurs les plus élevées du plomb dans les feuilles et les tiges sont enregistrées pendant le mois de mars ; les feuilles ont une concentration double que celle des tiges : 13.52 contre 5.84 mg/kg MS.

Le test T ne montre aucun effet morphologie ( $P > 0.05$ ) entre les teneurs du cadmium et du plomb dans les deux parties anatomiques de l'*Atriplex halimus* (tableau 21).

**Tableau 21 :** Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) et valeurs extrêmes du cadmium et du plomb dans *Atriplex halimus* : plante entière, feuilles et tiges

Eléments	<i>Atriplex halimus</i>			Test T Student	
	Plante entière	Feuilles	Tiges	Morphologie	
Cd (mg/kg MS) (n= 10)	$0.181 \pm 0.142$ [0.044 – 0.489]	$0.191 \pm 164$ [0.013 – 0.531]	$0.166 \pm 0.123$ [0.018 – 0.462]	P = 0.2733	ns
Pb (mg/kg MS) (n= 10)	$3.68 \pm 2.30$ [1.13 – 10.27]	$3.67 \pm 2.57$ [0.72 – 13.52]	$3.92 \pm 2.70$ [0.03 – 15.84]	P= 0.3800	ns

ns : non significatif ( $P > 0.05$ ).

## II.2 Etude expérimentale II :

Dans cette deuxième partie nous nous sommes intéressés à l'étude de la composition minérale de l'arbuste *Atriplex halimus* et aussi au sol sur lequel pousse cet arbuste. Comme il a été mentionné dans la partie Matériel et Méthodes, des prélèvements saisonniers ont été effectués au cours de l'année 2014-2015.

Nous allons présenter en premier lieu les différents paramètres étudiés dans *Atriplex halimus* à savoir la matière sèche (MS), la matière minérale (MM), la matière organique (MO), les minéraux essentiels (Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn et Fe) et non essentiels (Cd et Pb). En plus, de ces paramètres un essai de palatabilité de cet arbuste a été réalisé sur des brebis de la race Ouled Djellal au sein de la bergerie du département Vétérinaire.

L'étude des échantillons du sol a concerné l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques (granulométrie, MS, MM, MO et du pH) et des teneurs en éléments minéraux essentiels (Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn et fer) et non essentiels (Cd et Pb).

Les différents paramètres analysés ont fait l'objet d'une comparaison à l'intérieur de la même matrice (sol ou arbuste étudié) en utilisant le logiciel statistique MedCalc afin d'étudier l'effet saison et effet partie anatomique (feuilles et tiges). L'étude des corrélations entre les macro-éléments et les oligo-éléments du sol et de ceux de l'*Atriplex halimus* a été effectuée par le moyen Excel. Les résultats obtenus sont indiqués dans les tableaux et les figures correspondants.

### II.2.1 Les teneurs moyennes en matière sèche, matière minérale et matière organique de l'arbuste *Atriplex halimus* plante entière :

Les teneurs moyennes en matière sèche (MS), humidité (H<sub>2</sub>O) matière minérale (MM) et matière organique (MO) ont été enregistrées au cours des quatre saisons ; automne (10/10/2014), hiver (10/01/2015), printemps (10/04/2015) et été (10/06/2015) (tableau 22). Une comparaison saisonnière a été étudiée entre les différents éléments mesurés afin de relever l'effet saison

#### ✓ Matière sèche et humidité :

A l'observation du tableau 22 nous constatons que les teneurs moyennes de la MS sont faibles ( $P < 0.05$ ) en automne de l'ordre de  $93.50 \pm 0.52$  % par rapport aux autres saisons. Ceux enregistrés au cours de l'hiver, du printemps et de l'été sont comparable ( $P > 0.05$ ). L'humidité est le complément de la matière sèche et elles se corrélaient négativement. Le taux moyen le plus élevé a été observé au cours de l'automne avec un pourcentage de  $6.50 \pm 0.52$ .

L'effet saison est significatif à  $P < 0.05$  aussi bien pour la MS que pour l'humidité (tableau 22).

**Tableau 22 :** Teneurs moyenne ( $\pm$  écart-type) de la MS, humidité, matière minérale et matière organique exprimées en (% MS) dans l'arbuste *Atriplex halimus* plante entière

Saison	<i>Atriplex halimus</i> (plante entière)			
	MS (%)	Humidité (%)	MM (%)	MO (%)
Automne (n = 10)	$93.50 \pm 0.52$	$6.50 \pm 0.52$	$7.47 \pm 1.32$	$92.53 \pm 1.32$
Hiver (n = 10)	$95.08 \pm 1.40$	$4.92 \pm 1.40$	$10.74 \pm 2.12$	$89.26 \pm 2.12$
Printemps (n= 10)	$96.06 \pm 1.03$	$4.03 \pm 1.03$	$8.98 \pm 2.20$	$91 \pm 6.16$
Été (n= 10)	$95.38 \pm 2.21$	$4.62 \pm 2.21$	$12.39 \pm 4.90$	$87.61 \pm 4.90$
Effet saison	P = 0.03	P = 0.03	P = 0.04	P < 0.001
	*	*	*	***

Significativité des effets : \*  $P < 0.05$  ; \*\*\*  $P < 0.001$ .

✓ **Matière minérale et matière organique :**

Les teneurs moyennes de la MM oscillent de plus faibles au cours de l'automne  $7.47 \pm 1.32$  % aux plus élevées pendant l'été  $12.39 \pm 4.9$  %. Par ailleurs, celles de la MO se répartissent inversement que celle de la MM :  $92.53 \pm 1.32$  % et  $87.61 \pm 4.90$  % respectivement en automne et en été. Une variabilité des teneurs moyennes de ces paramètres est révélée d'une saison à une autre avec une significative de  $P < 0.05$  et de  $P < 0.001$  pour la MM et la MO respectivement (tableau 22).

**II. 2.2 Les teneurs moyennes de la matière sèche, matière minérale et de la matière organique dans les feuilles de l'arbuste *Atriplex halimus* :**

✓ **Matière sèche et humidité :**

Les teneurs moyennes les plus élevées en MS dans les feuilles ont été enregistrées au cours de l'été et du printemps de l'ordre de  $96.36 \pm 2.08$  et  $96.19 \pm 2.06$  % respectivement. Par conséquent, une diminution des taux de l'humidité au cours de ces deux saisons est observée (tableau 23). Au cours de l'automne les feuilles sont plus humides avec un pourcentage de  $6.11 \pm 0.62$  % et ce taux reste appréciable au cours de l'hiver de l'ordre de  $5.02 \pm 1.95$  %. Ces deux paramètres sont affectés par la saison avec une significativité de 5 % ( $P < 0.05$ ).

**Tableau 23 :** Teneurs moyennes en MS, humidité, matière minérale et matière organique exprimées en (% MS) dans les feuilles de l'arbuste *Atriplex halimus* en fonction de la saison

Saison	<i>Atriplex halimus</i> : feuilles			
	MS (%)	Humidité (%)	MM (%)	MO (%)
Automne (n = 10)	$93.89 \pm 0.62$	$6.11 \pm 0.62$	$10.89 \pm 2.51$	$89.11 \pm 2.51$
Hiver (n = 10)	$94.98 \pm 1.95$	$5.02 \pm 1.95$	$17.52 \pm 4.12$	$82.48 \pm 4.12$
Printemps (n= 10)	$96.19 \pm 2.06$	$3.81 \pm 2.06$	$14.30 \pm 4.31$	$85.70 \pm 4.31$
Été (n= 10)	$96.36 \pm 2.08$	$3.64 \pm 2.08$	$18.70 \pm 10.71$	$81.30 \pm 10.71$
Effet saison	P = 0.012	P = 0.012	P = 0.037	P = 0.037
	**	**	*	*

Significativité des effets : \*  $P < 0.05$  ; \*\* :  $P < 0.01$ .

✓ **Matière minérale et matière organique :**

Les feuilles ont des teneurs importantes en matière minérale (MM) au cours des quatre saisons. Les taux les plus élevés sont enregistrés au cours de l'été ( $18.70 \pm 10.71$  %) et de l'hiver ( $17.52 \pm 4.12$  %) (Tableau 23). En automne le taux de MM diminue pour atteindre le pourcentage de  $10.89 \pm 2.51$ %.

Paradoxalement, les teneurs en matière organique (MO) diminuent en été ( $81.30 \pm 10.71$ ) et augmentent en automne ( $89.11 \pm 2.51\%$ ). L'effet saison ( $P < 0.05$ ) a été observé également pour les teneurs moyennes de la MM et de la MO (tableau 23).

### II. 2.3 Les teneurs moyennes en matière sèche, matière minérale et en matière organique dans les tiges de l'arbuste *Atriplex halimus* :

#### ✓ Matière sèche et humidité :

Les taux de la MS dans les tiges varient de  $93.10 \pm 0.57$  en automne jusqu'à  $95.74 \pm 0.71$  au printemps. Comparativement aux feuilles, les tiges ont des teneurs appréciables en humidité au cours de l'automne et de l'été avec des valeurs respectives suivantes :  $6.90 \pm 0.57$  et  $5.59 \pm 3.50$  %. L'effet saison est significatif à 5 % ( $P < 0.05$ ) pour les deux paramètres (tableau 24).

#### ✓ Matière minérale et matière organique :

Contrairement aux feuilles, les tiges sont moins chargées en MM (tableau 24). La teneur moyenne la plus élevée a été constatée au cours de l'été de l'ordre de  $6.09 \pm 2.95$  %.

En revanche, les teneurs moyennes en MO dans les tiges sont plus élevées avec des taux allant de  $93.91 \pm 2.95$  en été à  $96.35 \pm 0.64$  au printemps (tableau 24). L'effet saison a été constaté dans la variabilité des teneurs moyennes en MM et en MO avec une significativité de 1% ( $P < 0.01$ ).

**Tableau 24** : Teneurs moyennes en MS, humidité, matière minérale et matière organique exprimées en (% MS) dans les tiges de l'arbuste *Atriplex halimus* en fonction de la saison

Saison	<i>Atriplex halimus</i> : tiges			
	MS (%)	Humidité (%)	MM (%)	MO (%)
Automne (n = 10)	$93.10 \pm 0.57$	$6.90 \pm 0.57$	$4.05 \pm 0.97$	$95.95 \pm 0.97$
Hiver (n = 10)	$95.19 \pm 0.92$	$4.82 \pm 0.92$	$3.96 \pm 0.65$	$96.04 \pm 0.65$
Printemps (n= 10)	$95.74 \pm 0.71$	$4.26 \pm 0.71$	$3.66 \pm 0.64$	$96.35 \pm 0.64$
Été (n= 10)	$94.41 \pm 3.50$	$5.59 \pm 3.50$	$6.09 \pm 2.95$	$93.91 \pm 2.95$
Effet saison	P = 0.019	P = 0.019	P = 0.007	P = 0.007
	*	*	**	**

Significativité des effets : \*  $P < 0.05$  ; \*\*  $P < 0.01$ .

Le tableau 25 est complémentaire aux tableaux 23 et 24. Il résume la variabilité des teneurs en matière sèche (MS), humidité, matière minérale (MM) et matière organique (MO) dans les feuilles et les tiges en fonction des quatre saisons. Les teneurs en MS, humidité, MM et en MO dans les feuilles et les tiges sont comparables ( $P > 0.05$ ) au cours des différentes saisons à l'exception de l'automne ( $P < 0.01$ ). Par ailleurs, les taux en MM et en MO sont significativement

différents ( $P < 0.001$ ) au cours de l'automne, de l'hiver et du printemps. Ils sont significatifs à  $P < 0.01$  pendant l'été (tableau 25).

**Tableau 25 :** Comparaison des teneurs moyennes en MS, humidité, matière minérale et matière organique exprimées en (% MS) dans les tiges et les feuilles de l'arbuste *Atriplex halimus* en fonction de la saison

Eléments	Effet morphologie en fonction de la saison							
	Automne		Hiver		Printemps		Eté	
MS (%)	P = 0.002	**	P = 0.60	ns	P = 0.544	ns	P = 0.130	ns
Humidité (% S)	P = 0.002	**	P = 0.60	ns	P = 0.542	ns	P = 0.130	ns
MM (% MS)	P < 0.0001	***	P < 0.0001	***	P < 0.0001	***	P = 0.01	**
MO (% MS)	P < 0.0001	***	P < 0.0001	***	P < 0.0001	***	P = 0.01	**

Significativité des effets : \*\*  $P < 0.01$  ; \*\*\*  $P < 0.001$  ; ns : non significatif ( $P > 0.05$ ).

## II. 2.4 Les teneurs moyennes des minéraux dans l'arbuste *Atriplex halimus* plante entière :

Nous allons rendre compte des résultats obtenus des éléments minéraux majeurs et mineurs obtenus dans *Atriplex halimus* plante entière en commençant par les macroéléments. Les teneurs moyennes saisonnières des macro-éléments et oligo-éléments sont groupés respectivement dans les tableaux 26 et 27.

### II. 2.4.1 Les macro-éléments :

Les résultats obtenus des taux moyens en éléments majeurs (Ca, P, Ca/P, Mg, Na et K) en fonction des quatre saisons dans l'*A. halimus* (plante entière) sont indiqués dans le tableau 26.

Il ressort que les teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) de chaque macro-élément diffèrent significativement ( $P < 0.001$ ) d'une saison à une autre à l'exception de celles du sodium (Na) qui restent stables et comparables ( $P > 0.05$ ).

La classification observée des macroéléments étudiés en fonction des saisons s'établit comme suit :

- **Ca** :  $10.85 \pm 1.12$  (hiver) >  $6.47 \pm 6.02$  (été) >  $5.54 \pm 0.99$  (printemps) >  $3.78 \pm 1.64$  (automne).
- **P** :  $3.13 \pm 1.80$  (printemps) >  $1.26 \pm 0.29$  (hiver) >  $1.02 \pm 0.29$  (été) >  $0.99 \pm 0.22$  (automne).
- **Ca/P** :  $11.08 \pm 7.64$  (hiver) >  $5.55 \pm 3.82$  (été) >  $4.61 \pm 2.12$  (automne) >  $2.03 \pm 0.75$  (printemps).
- **Mg** :  $19.42 \pm 2.34$  (hiver) =  $18.38 \pm 1.71$  (printemps) >  $9.43 \pm 2.64$  (automne) >  $6.74 \pm 1.37$  (été).

- **Na** :  $50.27 \pm 5.53$  (hiver) =  $49.37 \pm 16.01$  (été) =  $49.05 \pm 6.35$  =  $49.05 \pm 6.35$  (automne) =  $46.33 \pm 4.17$  (printemps).
- **K** :  $15.44 \pm 3.33$  (printemps) =  $15.4 \pm 4.49$  (été) >  $9.54 \pm 3.69$  (automne) >  $7.74 \pm 2.29$  (hiver).

Nous constatons qu'en hiver, les taux enregistrés du calcium, du rapport Ca/P, du magnésium et du sodium sont élevés de l'ordre de  $10.85 \pm 1.12$  g/kg MS ;  $11.08 \pm 7.64$  ;  $19.42 \pm 2.34$  g/kg MS et  $50.27 \pm 5.53$  g/kg MS respectivement et ceux du K sont faibles ( $7.74 \pm 2.29$  g/kg MS).

Par ailleurs, en automne, les concentrations moyennes enregistrées du Ca et du P diminuent nettement à raison de  $3.78 \pm 1.64$  et  $0.99 \pm 0.22$  g/kg MS respectivement. En outre, au cours du printemps nous constatons que les teneurs moyennes du phosphore et du potassium sont élevées avec respectivement des concentrations suivantes :  $3.13 \pm 1.80$  g/kg MS et  $14.44 \pm 3.33$  g/kg MS (tableau 26).

**Tableau 26** : Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) en macro-éléments (g/kg MS), et du rapport Ca/P dans l'*Atriplex halimus* plante entière en fonction des quatre saisons (automne, hiver, printemps et été).

Saison	Ca	P	Ca /P	Mg	Na	K
Automne	$3.78^d \pm 1.64$	$0.99^c \pm 0.22$	$4.61^b \pm 2.12$	$9.43^b \pm 2.64$	$49.05 \pm 6.35$	$9.54^b \pm 3.69$
Hiver	$10.85^a \pm 1.12$	$1.26^b \pm 0.29$	$11.08^a \pm 7.64$	$19.42^a \pm 2.34$	$50.27 \pm 5.53$	$7.74^c \pm 2.3$
Printemps	$5.54^c \pm 0.99$	$3.13^a \pm 1.80$	$2.03^c \pm 0.75$	$18.38^a \pm 1.71$	$46.33 \pm 4.17$	$15.44^{a\pm} 3.33$
Été	$6.47^b \pm 6.02$	$1.02^c \pm 0.29$	$5.55^b \pm 3.82$	$6.74^c \pm 1.37$	$49.37 \pm 16$	$14.5^a \pm 4.5$
Effet	P < 0.001	P < 0.001	P < 0.001	P < 0.001	P = 0.800	P < 0.001
saison	***	***	***	***	ns	***

Significativité des effets : \*\*\* P < 0.001 ; ns : non significatif (P > 0.05), n = 10.

#### II. 2.4.2 Les oligo-éléments :

Les teneurs moyennes saisonnières des oligo-éléments (Cu, Zn, Mn et Fe) dans *Atriplex halimus* sont rassemblées dans le tableau 27. Nous avons constaté une fluctuation saisonnière des taux de ces éléments avec une significativité de l'ordre de P < 0.001 pour le cuivre, le manganèse et le fer et elle est à 1 % (P < 0.01) pour le zinc.

La hiérarchie observée des différents oligo-éléments étudiés en fonction des saisons s'établit comme suit :

- **Cu** :  $13 \pm 3.2$  (automne) >  $10 \pm 1.7$  (printemps) >  $7.4 \pm 1.9$  (été) >  $5.6 \pm 1.7$  (hiver).
- **Zn** :  $43 \pm 19.4$  (hiver) >  $32 \pm 6.5$  (été) >  $27 \pm 4$  (printemps) =  $26 \pm 3$  (automne).
- **Mn** :  $64 \pm 22$  (automne) >  $38 \pm 10$  (printemps) =  $37.6 \pm 12.5$  (hiver) >  $33 \pm 20.1$  (été).
- **Fe** :  $1958 \pm 464$  (hiver) >  $501 \pm 178$  (été) =  $498 \pm 159$  (printemps) >  $228 \pm 56$  (automne).

Il apparaît que l'hiver est la saison au cours de laquelle nous enregistrons les taux les plus élevés en fer ( $1958 \pm 464$  mg/kg MS) et en zinc ( $43 \pm 19.4$  mg/kg MS) et les plus faibles en cuivre ( $5.6 \pm 1.7$  mg/kg MS).

En outre, au cours de l'automne les taux du Cu et du Mn sont élevés de l'ordre de  $13 \pm 3.2$  et  $64 \pm 22$  mg/kg MS respectivement et ceux du zinc et du fer diminuent sensiblement en atteignant les taux respectifs suivants  $26 \pm 3$  et  $228 \pm 56$  mg/kg de la matière sèche (MS).

**Tableau 27** : Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des oligo-éléments (mg/kg MS) dans l'*Atriplex halimus* plante entière en fonction des quatre saisons (automne, hiver, printemps et été)

Saison	Cu (mg/kg MS)	Zn (mg/kg MS)	Mn (mg/kg MS)	Fe (mg/kg MS)
Automne	$13^a \pm 3.2$	$26^c \pm 3$	$64^a \pm 22$	$228^c \pm 56$
Hiver	$5.6^d \pm 1.7$	$43^a \pm 19.4$	$37.6^b \pm 12.5$	$1958^a \pm 464$
Printemps	$10^b \pm 1.7$	$27^c \pm 4$	$38^b \pm 10$	$498^b \pm 159$
Été	$7.4^c \pm 1.9$	$32^b \pm 6.5$	$33^c \pm 20.1$	$501^b \pm 178$
Effet saison	P < 0.001	P = 0.003	P = 0.001	P < 0.001
	***	**	***	***

Significativité des effets : \*\* P<0.01 ; \*\*\* P<0.001.

## II. 2.5 Détermination des teneurs en macro-éléments et en oligo-éléments dans les feuilles et les tiges de l'*Atriplex halimus* en fonction des saisons :

Les tableaux numérotés de 28 à 31 présentent les teneurs moyennes des macro-éléments (Ca, P, Mg, Na et K) et des oligo-éléments (Cu, Zn, Mn et Fe) déterminées dans les feuilles et les tiges en fonction de chaque saison. L'effet morphologie sur les concentrations des différents éléments minéraux étudiés a été mis en évidence par le test T Student pour séries appariées.

### a- Les teneurs en macro-éléments et en oligo-éléments au cours de l'automne :

Les taux moyens des éléments majeurs (Ca, P, Ca/P, Mg, Na et K) et mineurs (Cu, Zn, Mn et Fe) sont rassemblés dans le tableau 28.

L'étude statistique par le test T Student pour séries appariées indique des différences significatives des teneurs en minéraux étudiés entre les feuilles et les tiges avec une probabilité largement inférieure à 5 % (tableau 28). Cependant, les taux moyens du rapport Ca/P et du K sont comparables entre les feuilles et les tiges (P > 0.05).

De point de vue quantitatif, les feuilles sont plus chargées en minéraux comparativement aux tiges. Les teneurs moyennes mesurées en Ca, en P, en Mg et en K dans les feuilles sont le double de celle des tiges. Celle du cuivre, du manganèse et du fer avoisinent le triple par rapport aux teneurs enregistrées dans les tiges (tableau 28).

**Tableau 28 :** Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) et variabilité des éléments minéraux majeurs et mineurs des feuilles et des tiges de l'arbuste *Atriplex halimus* au cours de l'automne.

Saison : automne	<i>Atriplex halimus</i>		Test T apparié	
Eléments	Feuilles (n =10)	Tiges (n =10)	Morphologie	
Ca (g/kg MS)	5.25 $\pm$ 0.86	2.31 $\pm$ 0.42	P <0.0001	***
P (g/kg MS)	1.47 $\pm$ 0.40	0.51 $\pm$ 0.19	P = 0.0001	***
Ca /P	3.89 $\pm$ 1.38	5.32 $\pm$ 2.54	P = 0.1450	ns
Mg (g/kg MS)	13.62 $\pm$ 3.41	5.24 $\pm$ 4.28	P = 0.0012	**
Na (g/kg MS)	81.42 $\pm$ 8.71	16.67 $\pm$ 7.68	P <0.0001	***
K (g/kg MS)	12.71 $\pm$ 6.98	6.37 $\pm$ 1.35	P= 0.067	ns
Cu (mg/kg MS)	18.65 $\pm$ 7.59	7.73 $\pm$ 1.46	P = 0.0035	**
Zn (mg/kg MS)	32.61 $\pm$ 6.70	19.22 $\pm$ 5.83	P = 0.0043	**
Mn (mg/kg MS)	92.21 $\pm$ 38.11	35.25 $\pm$ 13	P = 0.0008	***
Fe (g/kg MS)	0.33 $\pm$ 0.10	0.13 $\pm$ 0.04	P = 0.0001	***

Significativité des effets : \* P<0.05 ; \*\* P<0.01 ; \*\*\* P<0.001 ; ns : non significatif (P>0.05).

En outre les feuilles sont plus chargées en Na (environ 5 fois de plus) de l'ordre de 81.42  $\pm$  8.71 g/kg MS comparativement aux tiges (16.67  $\pm$  7.68 g/kg MS).

#### **b- Les teneurs en macro-éléments et en oligo-éléments au cours de l'hiver :**

Les teneurs moyennes des éléments minéraux majeurs et mineurs évalués dans les feuilles et les tiges pendant l'hiver sont groupées dans le tableau 29.

A l'observation de ce tableau nous constatons que les feuilles ont des teneurs moyennes significativement (P<0.05) plus élevées en différents éléments minéraux étudiés comparativement aux tiges à l'exception des rapports Ca/P (tableau 29).

L'effet morphologie est significativement (P< 0.05) bien distinct pour tous les minéraux à l'exception du potassium, du cuivre et du fer qui ont des teneurs comparables entre les feuilles et les tiges : (8.72  $\pm$  5.26g/kg MS, 6.76  $\pm$  1.48 mg/kg MS et 2.20 $\pm$  0.44 g/kg MS) et (6.76  $\pm$  1.48 g/kg MS ; 4.49  $\pm$  0.4mg/kg MS et 1.71  $\pm$  0.89 g/kg MS) respectivement.

**Tableau 29 :** Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) et variabilité des éléments minéraux majeurs et mineurs des feuilles et des tiges de l'arbuste *Atriplex halimus* au cours de l'hiver

Saison : hiver	<i>Atriplex halimus</i>		Test T apparié	
Eléments	Feuilles (n =10)	Tiges (n =10)	Morphologie	
Ca (g/kg MS)	14.97 <sup>a</sup> $\pm$ 2.45	6.72 <sup>b</sup> $\pm$ 1.16	P<0.0001	***
P (g/kg MS)	1.89 <sup>a</sup> $\pm$ 0.39	0.63 <sup>b</sup> $\pm$ 0.26	P<0.0001	***
Ca /P	8.24 <sup>b</sup> $\pm$ 2.22	13.93 <sup>a</sup> $\pm$ 10.02	P = 0.0542	ns
Mg (g/kg MS)	31.13 <sup>a</sup> $\pm$ 4	7.70 <sup>b</sup> $\pm$ 1.40	P<0.0001	***
Na (g/kg MS)	86.04 <sup>a</sup> $\pm$ 9.78	14.50 <sup>b</sup> $\pm$ 2.98	P<0.0001	***
K (g/kg MS)	8.72 $\pm$ 5.26	6.76 $\pm$ 1.48	P= 0.3463	ns
Cu (mg/kg MS)	6.37 $\pm$ 3.29	4.49 $\pm$ 0.4	P = 0.0585	ns
Zn (mg/kg MS)	61 <sup>a</sup> $\pm$ 37.03	24.56 <sup>b</sup> $\pm$ 5.26	P =0.0106	**
Mn (mg/kg MS)	52.38 <sup>a</sup> $\pm$ 23	22.85 <sup>b</sup> $\pm$ 5.77	P =0.0022	**
Fe (g/kg MS)	2.20 $\pm$ 0.44	1.71 $\pm$ 0.89	P = 0.1750	ns

Significativité des effets : \* P<0.05 ; \*\* P<0.01 ; \*\*\* P<0.001 ; ns : non significatif (P>0.05).

Parmi les minéraux majeurs étudiés dans *Atriplex halimus*, le sodium est l'élément le plus abondant notamment dans les feuilles de l'ordre de 86.04  $\pm$  9.78 g/kg MS contre 14.50  $\pm$  2.98 g/kg MS dans les tiges. En outre, le fer constitue l'oligo-élément le plus important quantitativement aussi bien dans les feuilles (2.20  $\pm$  0.44g/kg MS) que dans les tiges (1.71  $\pm$  0.89 g/kg MS).

### c- Les teneurs en minéraux macro-éléments et oligo-éléments au cours du printemps :

Les éléments minéraux majeurs et mineurs mesurés dans les feuilles et les tiges au cours du printemps sont indiqués dans le tableau 30.

Nous constatons que l'étude statistique par le test T Student pour série appariée indique des différences significatives (P< 0.01 et P< 0.001) entre les teneurs moyennes des macro-éléments et des oligo-éléments dans les feuilles et dans les tiges. Cependant, les taux moyens du rapport Ca/P et du Cu montrent des teneurs comparables (P>0.05) entre les feuilles et les tiges.

Comparativement aux tiges, les feuilles sont les plus chargées en éléments minéraux majeurs et mineurs étudiés (tableau 30).

Les taux moyens du calcium, phosphore, du potassium, du zinc, du manganèse et du fer mesurés dans les feuilles sont le double de ceux des tiges. De plus, les concentrations enregistrées du sodium et du magnésium représentent respectivement quatre et cinq fois de plus que celles des tiges (tableau 30).

**Tableau 30 :** Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) et variabilité des éléments minéraux majeurs et mineurs des feuilles et des tiges de l'arbuste *Atriplex halimus* au cours du printemps

Saison : printemps	<i>Atriplex halimus</i>		Test T apparié	
Eléments	Feuilles (n =10)	Tiges (n =10)	Morphologie	
Ca (g/kg MS)	7.17 <sup>a</sup> $\pm$ 1.18	3.91 <sup>b</sup> $\pm$ 1.42	P = 0.0002	***
P (g/kg MS)	4.52 <sup>a</sup> $\pm$ 1.54	1.73 <sup>b</sup> $\pm$ 0.33	P = 0.0004	***
Ca /P	1.78 $\pm$ 0.72	2.29 $\pm$ 0.73	P = 0.1863	ns
Mg (g/kg MS)	31.10 <sup>a</sup> $\pm$ 2.85	5.66 <sup>b</sup> $\pm$ 1.28	P < 0.0001	***
Na (g/kg MS)	73.24 <sup>a</sup> $\pm$ 4.88	19.42 <sup>b</sup> $\pm$ 7.97	P < 0.0001	***
K (g/kg MS)	20.39 <sup>a</sup> $\pm$ 3.88	10.49 <sup>b</sup> $\pm$ 3.74	P < 0.0001	***
Cu (mg/kg MS)	10.2 $\pm$ 2.09	9.85 $\pm$ 1.52	P = 0.4842	ns
Zn (mg/kg MS)	38 <sup>a</sup> $\pm$ 6.74	15.64 <sup>b</sup> $\pm$ 4.21	P < 0.0001	***
Mn (mg/kg MS)	51.98 <sup>a</sup> $\pm$ 11.58	24.07 <sup>b</sup> $\pm$ 9.92	P < 0.0001	***
Fe (g/kg MS)	0.69 <sup>a</sup> $\pm$ 0.30	0.31 <sup>b</sup> $\pm$ 0.08	P = 0.0040	**

Significativité des effets : \* P<0.05 ; \*\* P<0.01 ; \*\*\* P<0.001 ; ns : non significatif (P>0.05).

#### d- Les teneurs en macro-éléments et en oligo-éléments au cours de l'été :

Le tableau 31 résume les teneurs moyennes des minéraux majeurs et mineurs mesurées au cours de l'été.

L'étude statistique par le test T montre que les taux moyens enregistrés du K et du Cu dans les feuilles et les tiges sont comparables (P > 0.05) avec des concentrations respectives de l'ordre de 16.66  $\pm$  8.22 g/kg MS et 7.10  $\pm$  2.99 mg/kg MS dans les feuilles contre 11.63  $\pm$  2.76 g/kg MS et 7.75  $\pm$  1.98 mg/kg MS dans les tiges (tableau 31).

En revanche, l'effet morphologie est significatif à une probabilité supérieure à 5 % (P < 0.01 et P < 0.001) pour le reste des minéraux (Ca, P, Mg, Na, Zn, Mn et Fe) et du rapport Ca/P.

L'analyse du tableau 31 nous permet de déduire que les tiges sont moins chargées en minéraux que les feuilles. Les concentrations du Ca et du Mg sont cinq fois moins dans les tiges que dans les feuilles et celles du Mn et du Fe sont deux fois moins. Les taux du Na enregistrés sont environ quatre fois de plus dans les feuilles que dans les tiges.

**Tableau 31 :** Teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) et variabilité des éléments minéraux majeurs et mineurs des feuilles et des tiges de l'arbuste *Atriplex halimus* au cours de l'été

Saison : été	<i>Atriplex halimus</i>		Test T apparié	
Eléments	Feuilles (n =10)	Tiges (n =10)	Morphologie	
Ca (g/kg MS)	10.88 <sup>a</sup> $\pm$ 5.64	2.07 <sup>b</sup> $\pm$ 1.28	P = 0.0009	***
P (g/kg MS)	1.35 <sup>a</sup> $\pm$ 0.40	0.69 <sup>b</sup> $\pm$ 0.20	P < 0.0001	***
Ca /P	8.18 <sup>a</sup> $\pm$ 3.71	2.92 <sup>b</sup> $\pm$ 1.31	P = 0.0062	**
Mg (g/kg MS)	11.13 <sup>a</sup> $\pm$ 2.79	2.35 <sup>b</sup> $\pm$ 0.86	P < 0.0001	***
Na (g/kg MS)	77.59 <sup>a</sup> $\pm$ 32.46	21.14 <sup>b</sup> $\pm$ 5.96	P = 0.0005	***
K (g/kg MS)	16.66 $\pm$ 8.22	11.63 $\pm$ 2.76	P = 0.089	ns
Cu (mg/kg MS)	7.10 $\pm$ 2.99	7.75 $\pm$ 1.98	P = 0.564	ns
Zn (mg/kg MS)	36.94 <sup>a</sup> $\pm$ 8.47	26.91 <sup>b</sup> $\pm$ 6.17	P = 0.002	**
Mn (mg/kg MS)	45.46 <sup>a</sup> $\pm$ 31.07	20.49 <sup>b</sup> $\pm$ 11.41	P = 0.010	**
Fe (g/kg MS)	0.71 <sup>a</sup> $\pm$ 0.31	0.29 <sup>b</sup> $\pm$ 0.06	P = 0.0010	***

Significativité des effets : \* P<0.05 ; \*\* P<0.01 ; \*\*\* P<0.001 ; ns : non significatif (P>0.05).

## II. 2.6 Détermination des teneurs du plomb (Pb) et du cadmium (Cd) dans l'arbuste *Atriplex halimus* durant l'automne et l'hiver :

Les teneurs du Pb et du Cd ont été déterminées dans les différentes parties de l'*Atriplex halimus* au cours de deux saisons : automne et hiver (tableau 32). Au cours de l'automne, les taux du Pb varient de 0.87 à 2.6 et de 0.99 à 1.94 mg/kg MS dans les feuilles et les tiges respectivement.

**Tableau 32 :** Les teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) et les valeurs extrêmes du plomb et du cadmium (mg/kg MS) dans les feuilles et les tiges de l'*Atriplex halimus*

Saison	Pb (mg/kg MS)		Cd (mg/kg MS)		Test T Student	
	Feuilles	Tiges	Feuilles	Tiges	Morphologie (Pb)	
Automne (n= 10)	1.49 $\pm$ 0.49 [0.87 - 2.6]	1.41 $\pm$ 0.34 [0.99 - 1.94]	ND	ND	P= 0.3519	ns
Hiver (n= 10)	2.18 $\pm$ 0.46 [1.42 - 2.94]	1.33 $\pm$ 0.64 [0.56 - 2.83]	ND	ND	P= 0.05	*

ND : non détectable ; ns : non significatif (P>0.05) ; \* : P < 0.05

Ceux de l'hiver oscillent de 1.42 à 2.94 mg/kg MS dans les feuilles et de 0.56 à 2.83 mg/kg MS dans les tiges.

L'étude statistique par le test T Student révèle des teneurs comparables ( $P > 0.05$ ) du Pb entre les feuilles et tiges au cours de l'automne. Cependant, une différence significative ( $P < 0.05$ ) liée à l'effet morphologie a été constatée au cours de l'hiver (tableau 32).

Les teneurs du Cd dans les différentes parties de l'*Atriplex halimus* n'ont pas été détectées par le four graphite (ND).

## II. 2.7 Les caractéristiques physico-chimiques et les composants minéraux du sol :

### ✓ La granulométrie :

L'analyse granulométrique sur deux échantillons du sol de la région d'étude montre que le taux d'argile varie de 32.92 à 43.03 %, la fraction fine du limon est de 36.86 à 38.08 % et la partie grossière varie de 5.32 à 8.69%. Les fractions grossière et fine du sable mesurées sont de l'ordre de (0.44 à 1.67%) et (9.76 à 23.23 %) respectivement (tableau 33). Afin de définir la texture du sol de notre région d'étude nous nous sommes référés au diagramme de classification détaillée des textures décrit par **Baize (2000)**.

La projection de nos résultats d'analyse granulométrique sur le triangle textural montre une structure de nature argilo-limoneuse.

**Tableau 33** : Granulométrie du sol de la région Essaada

	Argile (%)	Limon (F) (%)	Limon (G) (%)	Sable (G) (%)	Sable (F) (%)
Echantillon 1	43.03	38.08	8.69	0.44	9.76
Echantillon 2	32.92	36.86	5.32	1.67	23.23

### ✓ Phosphore assimilable ( $P_2O_5$ ) :

Le tableau 34 résume les teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) et les valeurs extrêmes du phosphore assimilable mesurés dans dix échantillons du sol au cours de l'hiver. Le taux moyen enregistré est de l'ordre de  $78.01 \pm 32$  mg/kg MS et les valeurs extrêmes sont respectivement 35 et 113 mg/kg MS.

**Tableau 34** : teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) et valeurs extrêmes du phosphore assimilable du sol au cours de la saison d'hiver

Elément (mg/ kg MS)	Moyenne $\pm$ écart-type [Minimum-Maximum]
Phosphore assimilable (n = 10)	$78.01 \pm 32$ [35 - 113]

**n** : le nombre d'échantillon analysé.

## II. 2.8 Etude des taux moyens de la matière sèche, humidité, matière minérale, matière organique et du pH du sol au cours des quatre saisons.

### a- Matière sèche et humidité :

Les taux moyens de la matière sèche (MS) varient de  $96.30 \pm 1.71$  pendant l'hiver à  $98.24 \pm 1.35$  au cours été. Ceux de l'humidité sont de l'ordre inverse que ceux de la MS, c'est-à-dire le pourcentage le plus élevé est constaté au cours de l'hiver et celui le plus faible est au cours de l'été de l'ordre de  $3.70 \pm 1.77$  et  $1.76 \pm 1.35$  % respectivement (tableau 35).

L'étude statistique révèle une différence significative ( $P < 0.01$ ) des teneurs moyennes de la MS et de l'humidité.

La classification observée de la matière sèche et de l'humidité en fonction des saisons s'établit comme suit :

- **MS** :  $98.24 \pm 1.35$  (été) =  $97.86 \pm 1.13$  (automne) >  $97.04 \pm 0.60$  (printemps) >  $96.30 \pm 1.71$  (hiver).
- **Humidité** :  $3.70 \pm 1.71$  (hiver) >  $2.96 \pm 0.60$  (printemps) >  $2.14 \pm 1.13$  (automne) =  $1.76 \pm 1.35$  (été).

### b-Matière minérale et matière organique :

Les teneurs moyennes de la matière minérale les plus élevées ( $P < 0.001$ ) ont été enregistrées au cours de l'automne de l'ordre de  $79.33 \pm 2.28$  %, une diminution est observée pendant l'été à raison de  $73.74 \pm 1.32$  %. Par ailleurs, au cours de l'hiver et du printemps les taux moyens révélés sont comparables ( $P > 0.05$ ) avec les valeurs respectives suivantes :  $75.59 \pm 3.51$  et  $75.41 \pm 1.01$  % (tableau 35).

A l'inverse de la MM, les teneurs moyennes de la MO enregistrées sont élevées ( $P < 0.001$ ) en été ( $26.26 \pm 1.32$  %) et diminuent en automne ( $20.67 \pm 2.28$  %). En outre, les taux moyens constatés au printemps et en hiver sont comparables ( $P > 0.05$ ) (tableau 35).

Les teneurs moyennes de la MM et de la MO diffèrent significativement ( $P < 0.001$ ) d'une saison à une autre. La hiérarchie observée de la matière minérale et de la matière organique en fonction des saisons est la suivante :

- **MM** :  $79.33 \pm 2.28$  (automne) >  $75.59 \pm 3.51$  (hiver) =  $75.41 \pm 1.01$  (printemps) >  $73.74 \pm 1.32$  (été).
- **MO** :  $26.26 \pm 1.32$  (été) >  $24.60 \pm 1.01$  (printemps) =  $24.42 \pm 3.51$  (hiver) >  $20.67 \pm 2.28$  (automne).

### c- Potentiel hydrogène (pH)

Les valeurs de pH du sol mesuré au cours de l'automne, de l'hiver et du printemps sont comparables ( $P > 0.05$ ) avec des taux respectifs suivants :  $8.01 \pm 0.20$  ;  $8.08 \pm 0.19$  et  $7.97 \pm 0.15$ . Par contre au cours de l'été, la valeur de pH ( $8.30 \pm 0.34$ ) diffère significativement ( $P < 0.05$ ) de celles des autres saisons (tableau 35). Le classement des taux de pH en fonction des saisons se fera comme suit :

**pH** :  $8.30 \pm 0.34$  (été) >  $8.08 \pm 0.19$  (hiver) =  $8.01 \pm 0.20$  (automne) =  $7.97 \pm 0.15$  (printemps).

**Tableau 35** : Les teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) en MS, humidité, MM, MO (exprimés en % MS) et du pH du sol en fonction des saisons.

Saison	Paramètres étudiés dans le sol				
	MS (%)	Humidité (%)	MM (%)	MO (%)	pH
<b>Automne (n = 10)</b>	$97,86^a \pm 1.13$	$2.14^c \pm 1.13$	$79.33^a \pm 2.28$	$20.67^c \pm 2.28$	$8.01^b \pm 0.20$
<b>Hiver (n= 10)</b>	$96.30^c \pm 1.71$	$3.70^a \pm 1.71$	$75.59^b \pm 3.51$	$24.42^b \pm 3.51$	$8.08^{ab} \pm 0.19$
<b>Printemps (n= 10)</b>	$97.04^b \pm 0.60$	$2.96^b \pm 0.60$	$75.41^b \pm 1.01$	$24.60^b \pm 1.01$	$7.97^b \pm 0.15$
<b>Eté (n= 10)</b>	$98.24^a \pm 1.35$	$1.76^c \pm 1.35$	$73.74^c \pm 1.32$	$26.26^a \pm 1.32$	$8.30^a \pm 0.34$
<b>Effet saison</b>	P = 0.007	P = 0.007	P < 0.001	P < 0.001	P = 0.016
	**	**	***	***	*

Significativité des effets : \*  $P < 0.05$  ; \*\*  $P < 0.01$  ; \*\*\*  $P < 0.001$ , n : nombre d'échantillon pour chaque saison

### II. 2.9 Etude des teneurs moyennes des macro-éléments et des oligo-éléments dans le sol :

Les teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des macro-éléments : calcium, magnésium, sodium et potassium (g/kg MS) et des oligo-éléments : cuivre, zinc, manganèse (mg/kg MS) et du fer (g/kg MS) sont regroupés dans le tableau 36.

Nous allons présenter les taux moyens des minéraux majeurs et mineurs dans le sol en fonction des quatre saisons en commençant tout d'abord par les macro-éléments et on termine par les oligo-éléments.

#### a- Les macro-éléments :

Parmi les éléments minéraux majeurs étudiés, le sodium (Na) apparaît avec des teneurs moyennes comparables ( $P > 0.05$ ), dont les taux varient de  $1.60 \pm 1.53$  à  $4.03 \pm 2.58$  g/kg MS.

Les teneurs moyennes du Ca diffèrent significativement ( $P < 0.001$ ) d'une saison à une autre. Le taux le plus élevé a été constaté pendant l'été de l'ordre de  $204.68 \pm 59.43$  g/kg MS et suivie par celui de l'automne avec une concentration de  $172.77 \pm 48.66$  g/kg MS. Ceux qui ont été enregistrés au cours de l'hiver et du printemps sont comparables ( $P > 0.05$ ) :  $133 \pm 15.04$  et  $126.49 \pm 37.10$  g/kg MS respectivement.

Les taux moyens enregistrés du magnésium dans le sol sont comparables ( $P > 0.05$ ) au cours de l'automne, l'hiver et le printemps. Par ailleurs, une différence significative ( $P < 0.001$ ) a été révélée entre le taux moyen du Mg de l'été ( $9.72 \pm 3.36$  g/kg MS) et ceux des autres saisons (tableau 36).

En fonction des quatre saisons nous constatons que les éléments minéraux majeurs se répartissent comme suit :

- **Ca** :  $204.68 \pm 59.43$  (été) >  $172.77 \pm 48.66$  (automne) >  $133 \pm 15.04$  (hiver) =  $126.49 \pm 37.10$  (printemps.)
- **Mg** :  $33.19 \pm 3.16$  (automne) =  $31.42 \pm 2.62$  (hiver) =  $30.83 \pm 3.94$  (printemps) >  $9.72 \pm 3.36$  (été).
- **Na** :  $4.03 \pm 2.58$  (automne) =  $3.77 \pm 3.43$  (printemps) =  $3.65 \pm 1.44$  (hiver) =  $1.60 \pm 1.53$  (été).
- **K** :  $6.86 \pm 1.54$  (printemps) >  $5.71 \pm 2.59$  (automne) >  $4.50 \pm 0.95$  (hiver) =  $3.60 \pm 1.37$  (été).

#### **b- Les oligo-éléments :**

Les teneurs moyennes du Cu enregistrées au cours du printemps sont élevées ( $17.96 \pm 4.51$  mg/kg MS). Les plus faibles sont observées pendant l'hiver et l'été à raison de :  $7.95 \pm 3.38$  et  $8.05 \pm 1.95$  mg/kg MS respectivement (tableau 36).

Comparativement au cuivre, les taux moyens du zinc enregistrés sont élevés au cours de l'été ( $111.27 \pm 55.49$  mg/kg MS) et de l'hiver ( $108.33 \pm 27.72$  mg/kg MS). Ces taux baissent à moitié au cours du printemps et de l'automne en atteignant respectivement les taux suivants :  $64.61 \pm 12.93$  et  $53.38 \pm 15.88$  mg/kg MS.

L'étude statistique a montré une différence significative ( $P \leq 0.001$ ) en fonction des saisons des taux moyens aussi bien pour le cuivre que pour le zinc (tableau 36).

Par ailleurs, les teneurs moyennes du Mn mesurées sont comparables ( $P > 0.05$ ) dont les taux allant de  $230.42 \pm 42.77$  à  $263.26 \pm 67.57$  mg/kg MS. En outre, celles du fer sont similaires ( $P > 0.05$ ) au cours des différentes saisons mis à part de celles du printemps qui diffèrent significativement ( $P < 0.05$ ) du reste (tableau 36).

**Tableau 36 :** Les teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) des éléments minéraux majeurs (Ca, Mg, Na et K) exprimés en g/kg MS et mineurs exprimés en mg/kg MS pour le Cu, Zn, Mn et en g/kg MS pour le fer dans le sol

Eléments	Saison					Effet saison	
	Automne	Hiver	Printemps	Eté			
Ca (g/kg MS)	173 <sup>b</sup> $\pm$ 49	133 <sup>c</sup> $\pm$ 15.04	126.49 <sup>c</sup> $\pm$ 37	204.7 <sup>a</sup> $\pm$ 59.43	P = 0.001	***	
Mg (g/kg MS)	33 <sup>a</sup> $\pm$ 3.2	31.42 <sup>a</sup> $\pm$ 3	31 <sup>a</sup> $\pm$ 4	10 <sup>c</sup> $\pm$ 3.4	P < 0.001	***	
Na (g/kg MS)	4.03 $\pm$ 2.6	3.65 $\pm$ 1.44	3.77 $\pm$ 3.43	1.60 $\pm$ 1.53	P = 0.234	ns	
K (g/kg MS)	6 <sup>b</sup> $\pm$ 2.6	4.50 <sup>c</sup> $\pm$ 0.95	6.86 <sup>a</sup> $\pm$ 1.54	3.60 <sup>c</sup> $\pm$ 1.37	P = 0.001	***	
Cu (mg/kg MS)	18 <sup>a</sup> $\pm$ 4.51	7.95 <sup>c</sup> $\pm$ 3.38	13 <sup>b</sup> $\pm$ 1.89	8.05 <sup>c</sup> $\pm$ 1.94	P < 0.001	***	
Zn (mg/kg MS)	53.4 <sup>c</sup> $\pm$ 16	108 <sup>a</sup> $\pm$ 28	65 <sup>b</sup> $\pm$ 13	111.3 <sup>a</sup> $\pm$ 55.5	P < 0.001	***	
Mn (mg/kg MS)	263.3 $\pm$ 68	249.6 $\pm$ 23	238 $\pm$ 47	230.4 $\pm$ 43	P = 0.447	ns	
Fe (g/kg MS)	27 <sup>a</sup> $\pm$ 9.80	28.3 <sup>a</sup> $\pm$ 4.09	21 <sup>b</sup> $\pm$ 3.04	27.50 <sup>a</sup> $\pm$ 5.41	P = 0.027	*	

Significativité des effets : \* P < 0.05 ; \*\*\* P < 0.001 ; ns : non significatif (P > 0.05).

A partir de ce qui a été décrit précédemment sur la variabilité des concentrations des oligo-éléments en fonction de la saison nous notons la classification suivante :

- **Cu** : 18  $\pm$  4.51 (automne) > 13  $\pm$  1.89 (printemps) > 8.05  $\pm$  1.94 (été) = 7.95  $\pm$  3.38 (hiver).
- **Zn** : 111.3  $\pm$  55.5 (été) = 108  $\pm$  28 (hiver) > 65  $\pm$  13 (printemps) > 53.4  $\pm$  16 (automne).
- **Mn** : 230.42  $\pm$  42.77 (été) = 237.76  $\pm$  46.92 (printemps) = 249.62  $\pm$  22.72 (hiver) = 263.26  $\pm$  67.57 (automne).
- **Fe** : 28.3  $\pm$  4.09 (hiver) = 27.50  $\pm$  5.41 (été) = 28.3  $\pm$  4.09 (automne) > 21  $\pm$  3.04 (printemps).

## II. 2. 10 Etude des corrélations entre les différents éléments (majeurs et mineurs) mesurés dans le sol et dans *Atriplex halimus* :

L'étude de la corrélation nous permet de constater la relation qui pourrait être existé entre les teneurs en minéraux que ce soit majeurs ou mineurs entre le couple sol et plante. Le nombre d'échantillons recensés pour les deux matrices est de 40 échantillons, donc le degré de liberté (ddl) est égal à 38. Avec des coefficients de corrélation  $r$  inférieurs à 0.3044, aucune relation linéaire entre les deux variables n'est détectée. Par ailleurs, avec des coefficients de corrélation  $r \geq 0.3044$ , une corrélation significative a été constaté à une probabilité  $P < 0.05$  et elle est significative à  $P \leq 0.01$  avec des coefficients de corrélation  $r \geq 0.3932$ . Nous allons aborder cette étude des corrélations en commençant par les macro-éléments puis on continue par les oligo-éléments.

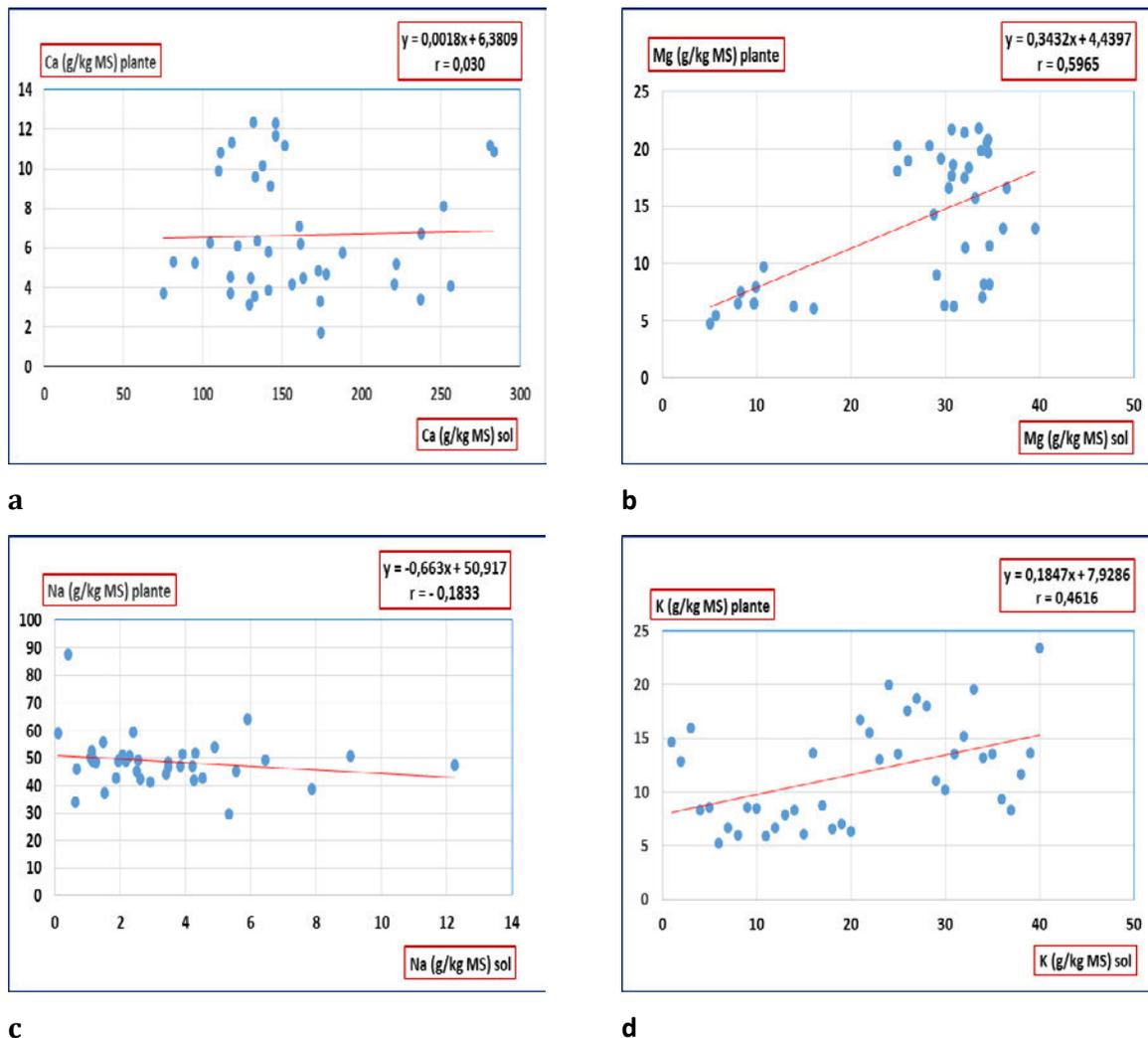
**a-Corrélation entre les macroéléments du sol et ceux de l'*Atriplex halimus* :**

L'étude de la relation des minéraux majeurs du sol et de ceux de l'arbuste objet d'étude a concerné le Ca, le Mg, le Na et le K.

A l'observation de la figure 37, nous ne constatons aucune relation linéaire ( $P > 0.05$ ) entre les teneurs moyennes du Ca (figure 37a) et du sodium (figure 37c) du sol et de celles de l'*Atriplex halimus*. Les coefficients de corrélation  $r$  mesurés pour ces deux éléments sont respectivement de 0.03 et 0.1833.

La figure 37b montre une corrélation significative à  $P < 0.01$  entre la Mg du sol et celui de l'*Atriplex halimus* ( $r = 0.5964$ ). Cela traduit à toute augmentation du Mg de la solution du sol correspond à une augmentation du taux du Mg dans la plante objet de notre étude.

En outre, une corrélation significative à  $P < 0.01$  a été observée entre le K du sol et celui de l'*Atriplex halimus* ( $r = 0.4616$ ), cela indique que les teneurs du K varient d'une façon linéaire et dans le même sens pour le sol et la plante étudiée (figure 37d).

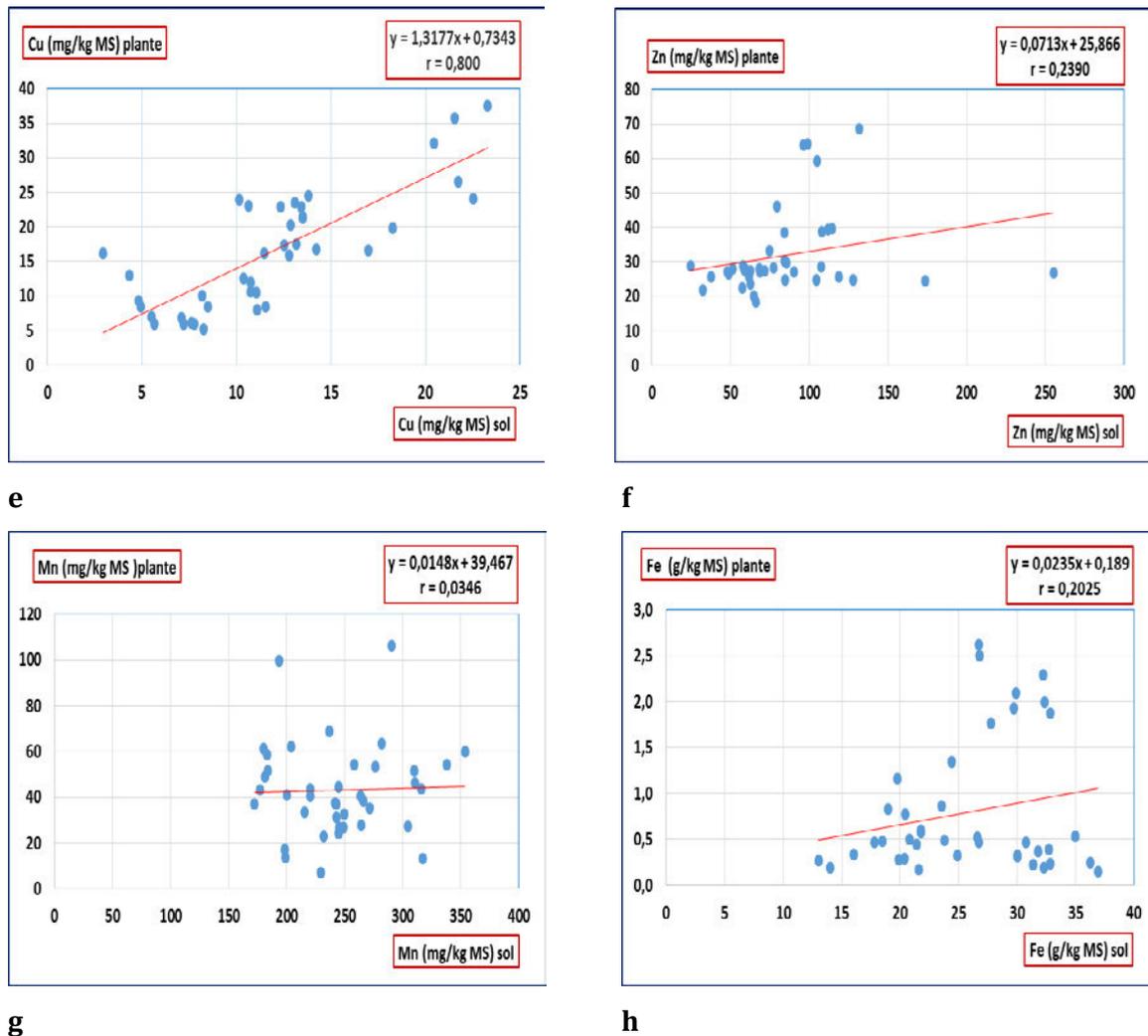


**Figure 37 :** Représentation de la corrélation des macro-éléments du sol et ceux de l'*Atriplex halimus*. **a :** corrélation Ca sol- Ca *Atriplex halimus* ; **b :** corrélation Mg sol- Mg *Atriplex halimus* ; **c :** corrélation Na sol- Na *Atriplex halimus* ; **d :** corrélation K sol- K *Atriplex halimus*.

#### **b-Corrélation entre les oligoéléments du sol et ceux de l'*Atriplex halimus* :**

L'étude de la relation entre le cuivre du sol et celui de l'*Atriplex halimus* révèle une corrélation significative à  $P < 0.01$  (figure 38e). Le coefficient de corrélation calculé est de l'ordre de 0.800, il est proche du 1. Cela montre que les taux du cuivre dans le sol et la plante varient dans le même sens et avec une intensité similaire.

Des corrélations significatives ( $P < 0.05$ ) ont été constatées entre les teneurs en Zn et en Fe du sol et celles du *Atriplex halimus* (figure 38f et 38h). Les coefficients de corrélations calculés de ces éléments sont respectivement comme suit : 0.2390 et 0.2025.



**Figure 38 :** Représentation de la corrélation des oligoéléments du sol et de ceux de l'*Atriplex halimus*. **e** : corrélation Cu sol- Cu *Atriplex halimus* ; **f** : corrélation Zn sol- Zn *Atriplex halimus* ; **g** : corrélation Mn sol- Mn *Atriplex halimus* ; **h** : corrélation Fe sol- Fe *Atriplex halimus*.

## II. 2.11 Comparaison des teneurs moyennes du plomb(Pb) et du cadmium (Cd) dans le sol au cours de l'automne et de l'hiver :

Les teneurs moyennes du plomb et du cadmium mesurées dans le sol au cours de l'automne et de l'hiver sont indiquées dans le tableau 37.

Les teneurs moyennes du plomb varient de 3.69 à 6.78 mg/kg MS au cours de l'automne ; celles de l'hiver allant de 5.20 à 6.71 mg/kg MS.

Les taux moyens du Cd oscillent de 0.087 à 0.303 et de 0.135 à 0.322 mg/kg MS respectivement pendant l'automne et l'hiver.

Nous constatons que les teneurs que ce soit du Pb ou du Cd ne diffèrent pas significativement ( $P > 0.05$ ) au cours des deux saisons et le test T student confirme ce constat (tableau 37).

**Tableau 37** : Les teneurs moyennes ( $\pm$  écart-type) et valeurs extrêmes du plomb et du cadmium (mg/kg MS) dans le sol

Saison	Pb (mg/kg MS)	Cd (mg/kg MS)
Automne (n = 10)	5.50 $\pm$ 1.19 [3.69 – 6.78]	0.200 $\pm$ 0.074 [0.087 – 0.303]
Hiver (n = 10)	5.89 $\pm$ 0.43 [5.20 – 6.71]	0.220 $\pm$ 0.057 [0.135 – 0.322]
Effet saison	P = 0.200	P = 0.277
Test T Student	ns	ns

ns: non significatif ( $P > 0.05$ ). n : le nombre d'échantillon prélevé.

## Chapitre III : Discussion des résultats

### III.1 Discussion du protocole expérimental

Notre travail se place dans le cadre de la détermination du profil minéral de la plante fourragère *Atriplex halimus* et du sol sur lequel pousse cette dernière dans la localité d'El Haouche (Wilaya de Biskra).

La valeur nutritive de l'arbuste en question a été déterminée par la composition chimique et par l'étude *in vitro*, qui permet d'évaluer le processus de dégradation en estimant le taux total du gaz produit et la vitesse avec laquelle se fait cette production (**Yaakoub, 2006**).

Notre sujet a été choisi sur la base de l'importance des éléments minéraux dans la nutrition des ruminants et leurs incidences sur la flore du rumen. Ils sont des constituants importants des tissus et des produits animaux. Leur carence ou excès peut se traduire par une baisse des performances de l'animal (croissance, production laitière, reproduction) ou par des troubles sanitaires (anémie, boiterie, trouble du pelage...).

#### III.1.1 Le choix de la région d'étude, *Atriplex halimus*, nature des prélèvements et des analyses effectuées :

##### a- Région d'étude et *Atriplex halimus* :

La région d'El Haouche au Sud-Est de Biskra est considérée comme une zone extrêmement aride. Les arbustes *Salsola vermiculata*, *Suaeda mollis*, *Atriplex halimus* et l'arbre *Tamarix africana* sont des espèces endémiques dans cette région, pâturées spécialement par les petits ruminants et le dromadaire (**Arab et al., 2016a**). La carte physiographique de la zone d'étude révèle la prédominance de l'*Atriplex halimus*.

**Haddi (1999)** a rapporté que la densité des surfaces occupées par *Atriplex halimus* dans cette région a été estimée de 0.7 tonne/hectare. Le fractionnement de la plante en tiges et en feuilles et en cinq fractions pour chaque partie anatomique, nous permet de mettre en évidence la distribution des éléments minéraux essentiels et non essentiels.

*Atriplex halimus* est un arbuste vivace qui tolère bien les conditions difficiles. C'est une espèce spontanée, pérenne, des régions méditerranéennes arides et semi-arides, qui tolère bien les conditions de sécheresse et de salinité (**Le Houérou, 2000**). Elle constitue une source importante en matières azotées, en minéraux et en vitamines pour les moutons au cours de l'automne et de l'été (**El-Shatnawi et Mohawesh, 2000**), et elle présente une palatabilité et une appétabilité très satisfaisantes (**Nedjimi, 2010**).

La faible production de fourrage dans les régions arides et semi-arides du monde a motivé l'utilisation d'arbustes et d'arbres comme ressources fourragères pour l'alimentation des ruminants (**Ramirez-Orduna et al., 2005**). Dans les régions arides, la diminution notable de la pluviométrie pour plusieurs années consécutives et la mauvaise exploitation des parcours fourragers ont conduit à une détérioration des caractéristiques du sol donnant lieu à un processus de désertification.

Dans les régions arides de l'Algérie, des surfaces cultivables très importantes dans ces zones sont exposées à une désertification continue suite à de faibles et irrégulières précipitations et à une pédogénèse halomorphe, d'où une menace pour l'équilibre alimentaire de ces régions. Des zones entières de parcours se sont transformées en terrains nus, qui dans beaucoup de cas, sous l'action de l'érosion éolienne et hydrique, perdent les couches superficielles du sol et atteignent un stade très avancé de dégradation, et se sont transformées en espace à potentiel biologique quasi nul (**Bencherif, 2011**). Sous ces conditions, la physiologie des plantes est perturbée, certaines espèces spontanées ont disparu, d'autres sont menacées de disparition.

La présence de fortes concentrations en sel dans l'environnement induit des comportements nouveaux chez la plante. Deux problèmes vont se poser à elle : d'une part le sel contrarie son approvisionnement en eau et d'autre part elle doit contrôler son contenu en sel qui ne peut dépasser un seuil toxique variable d'un halophyte à l'autre. Lorsque les concentrations en sel deviennent très élevées dans l'environnement de la plante, une perméabilité sélective en limite la pénétration. L'excrétion de sel est un mécanisme adaptatif qui permet aux halophytes de normaliser les concentrations en ions à l'intérieur des feuilles et donc de faire face à la salinité excessive de l'environnement (**Nedjimi, 2012**). Cette fonction est assurée par les glandes à sel situées au niveau de l'épiderme. Les poils à sel constituent un autre mécanisme de relargage du sel apparenté aux glandes à sel.

Les arbustes fourragers constituent indéniablement un élément de stabilité dans l'alimentation des petits ruminants et ils peuvent même valoriser les terres marginales inutilisables en agriculture (**Nefzaoui et Chermiti, 1991**). D'un point de vue éco-physiologique, la mise en place d'espèces végétales résistantes à la salinité s'impose pour réhabiliter les zones affectées par ce facteur. C'est pourquoi la préservation et la valorisation des halophytes comme l'*Atriplex*, ouvre une voie intéressante en raison des multiples avantages que présentent celles-ci, d'un point de vue écologique et pastoral (**Brinis et Belkhodja, 2015**).

De plus les *Atriplex* sont les arbustes les mieux adaptés aux régions arides et aux sols pauvres. Ils permettent d'améliorer les propriétés physiques du sol (**Walker et al., 2014**), et valorisent les terres marginales inutilisables en agriculture et protègent le sol contre l'érosion éolienne et

hydrique (**Nefzaoui et Chermiti, 1991**). **Nedjimi (2012)** a mentionné que l'arbuste *Atriplex halimus* présente un grand intérêt fourrager en régions arides et semi-arides en raison de sa rusticité, sa bonne valeur fourragère, sa résistance élevée à la sécheresse et sa faculté à tolérer des taux de salinité importants.

#### **b- Le choix de la matrice sol :**

Le sol est la source principale des éléments minéraux majeurs et mineurs pour les plantes. *Atriplex halimus* prélève les éléments nutritifs à partir de sol. Cet arbuste possède un système racinaire très développé, qui permet d'absorber de l'eau et des minéraux profondément jusqu'à 5 mètres (**Walker et al., 2014**).

L'étude de la composition minérale du sol est nécessaire afin d'établir les relations entre les deux matrices sol-plante. La concentration d'un élément minéral dans le sol est surtout fonction de la nature de la roche mère. Alors que sa biodisponibilité, et par conséquent, sa captation potentielle par la plante dépend davantage des caractéristiques pédologiques et agronomiques du sol : humidité, taux de matière organique, pH, fertilisation et amendement, antagonismes minéraux (**Meschy et Guéguen, 1995**).

Une augmentation de 10°C de la température du sol induit, pour la plupart des ions, un doublement ou un triplement de l'absorption (**Calvet, 2003**).

A des pH allant de 5 à 7 l'absorption des oligo-éléments atteint son maximum (**Coïc et Coppinet, 1989**). Par ailleurs, à un pH neutre ou alcalin, le phosphore forme respectivement des complexes insolubles avec le fer et l'aluminium ou avec le calcium et le magnésium (**Lehner, 2014**).

Les ions sont absorbés principalement au niveau de la zone pilifère, qui comporte des poils absorbants. Ils peuvent aussi être absorbés au niveau de la zone subéreuse voisine (figure 9 page 41) ou des zones plus âgées pourvues de microfissures. L'absorption par les feuilles est aussi possible et peut conduire à des applications pratiques. Les niveaux de concentration des ions absorbés paraissent faibles mais les grandes surfaces racinaires et les systèmes actifs d'absorption permettent le prélèvement des nutriments minéraux par les plantes à des niveaux efficaces à partir de la solution du sol.

Des symbioses formées entre des bactéries ou des champignons (mycorhizes) et les racines, participent à l'acquisition de ces éléments minéraux (**Boccon-Gibod, 2014**). Les mycorhizes du sol permettent de transformer le phosphore organique qui n'est pas assimilable par la plante en phosphore inorganique assimilable. Le même phénomène a été observé chez *Atriplex halimus* (**Walker et al., 2014**).

### c- Analyses des éléments minéraux majeurs et mineurs

Une bonne utilisation de l'énergie et de l'azote de la ration exige la fourniture d'une quantité suffisante d'éléments minéraux. Bien qu'ils soient exigés en quantités nettement plus faibles que la source d'énergie et des protéines, les éléments minéraux sont essentiels pour les ruminants pour obtenir une production optimale, une déficience ou un excès de ces éléments provoquent de mauvaises performances. Chez les vaches laitières, une carence en minéraux majeurs et mineurs dans la ration affecte négativement la croissance, la production de lait et l'efficacité de la reproduction (**Bhanderi et al., 2016**).

Les minéraux sont très inégalement répartis dans les différents tissus de l'animal : environ 83 % dans l'os, 10 % dans le muscle et 7 % dans la peau, le sang, le cerveau et les viscères (**Meschy, 2010**). Ces éléments assurent des fonctions variées au sein de l'organisme animal : ils contribuent à la structure des différents tissus (squelette, muscles, architecture cellulaire), interviennent dans le maintien des grands équilibres biologiques (acido-basique et osmotique en particulier), exercent un rôle catalytique dans les systèmes enzymatiques et hormonaux et régulent la réplication et la différenciation cellulaire.

Chez les ruminants, les nutriments, les minéraux compris doivent maintenir l'écosystème du rumen dans des conditions favorables à l'activité des microorganismes. Les minéraux qui arrivent au tube digestif des ruminants ont des effets directs et indirects sur les microorganismes. Indirectement, les minéraux peuvent avoir une influence sur le temps de séjour de l'aliment dans le rumen ou la vitesse d'absorption des métabolites (**Broudiscou et al., 1998**).

La satisfaction des besoins en éléments minéraux des micro-populations du rumen constitue la première étape de l'alimentation rationnelle des ruminants ; cela est d'autant plus vrai que pour certains éléments (phosphore, soufre), ces besoins sont sensiblement supérieurs à ceux de l'animal hôte (**Meschy, 2010**). L'apport alimentaire doit donc permettre d'optimiser les diverses fonctions microbiennes, notamment la croissance de la biomasse, les activités de dégradation des substrats, cellulolytique en particulier mais aussi protéosynthétique.

Les éléments minéraux participent à deux objectifs distincts et complémentaires : Le maintien des constantes physico-chimiques (équilibre acido-basique, pression osmotique et potentiel d'oxydo-réduction) dans des zones de valeurs favorables à l'activité microbienne d'une part et la satisfaction des besoins minéraux propres des différentes micro-populations du rumen d'autre part.

Un déséquilibre de ces éléments est à l'origine de plusieurs maladies nutritionnelles graves (fragilisation osseuse, défaut de croissance et trouble de la reproduction et une production insuffisante en lait et/ou en viande **(Ismail et al., 2011)**).

#### **d- Choix du dosage du Pb et du Cd dans le sol et la plante :**

Les métaux présents dans l'air, le sol ou l'eau évoluent entre les différents milieux, par l'intermédiaire de l'air, de l'eau ou de l'absorption par les végétaux, et colonisent ainsi potentiellement l'environnement tout entier, multipliant les voies d'exposition des ruminants aux contaminants métalliques. Le plomb et le cadmium sont des éléments connus pour être toxiques pour la plante et l'animal mais aussi pour la flore ruminale ; ils sont les plus importants des éléments non essentiels qui peuvent contaminer l'alimentation, l'eau et l'air. L'exposition des ruminants aux métaux résulte à la fois de phénomènes naturels mais aussi (et surtout) de la pollution liée aux activités humaines (mines, fonderies, applications industrielles des métaux) et à leurs rejets **(Gros, 2002)**.

La région choisie n'est pas connue pour être industrielle et il n'y a pas une activité anthropique qui pollue l'environnement par les métaux lourds, mais il est intéressant de connaître les teneurs en Pb et en Cd natives de la roche mère afin de déterminer la teneur naturelle (background level) contenue dans le sol et celle contenue dans l'*Atriplex halimus*.

Les plantes peuvent se contaminer en métaux de deux manières : par absorption racinaire à partir de la solution du sol qui est la voie majeure et par absorption foliaire à partir de l'air atmosphérique contaminé **(Sellaoui, 2017)**.

Naturellement, le Cd n'est pas très abondant dans la croûte terrestre. Ses propriétés physique et chimiques, proches de celles du zinc et du calcium, lui permettent de traverser les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus **(Badache, 2015)**. Les activités humaines (agricoles ou industrielles) conduisent à l'enrichissement des sols en Cd. Les rejets des déchets industriels et l'utilisation massive des fertilisants et de pesticides contribuent à la contamination de notre écosystème.

Chez les plantes, le cadmium n'a aucune fonction biologique connue **(Pokorny et al., 2004)**, Il est toxique à de faibles concentrations : 5 mg/kg MS **(Badache, 2015)**. Son assimilation et son accumulation dans les tissus végétaux peuvent constituer des vecteurs de contamination en cas de consommation animale ou humaine **(Grant et al., 1995)**.

Le plomb est un polluant environnemental, surtout dans les sols et l'atmosphère au voisinage de sites industriels et dans les zones de fort trafic automobile. Il est également un polluant persistant, sa durée de vie dans le sol est de 1700 ans **(Babou, 2014)**, c'est un toxique qui peut

être bioaccumulé dans les chaînes alimentaires. Ce polluant, affecte le métabolisme global de la plante, particulièrement la photosynthèse et il a une forte affinité pour les protéines qui possèdent des groupements thiols (**Pourrut, 2008**).

#### **e- Rythme des prélèvements du sol et de l'arbuste *Atriplex halimus***

La concentration de minéraux dans les plantes fourragères dépend des interactions entre un certain nombre de facteurs, y compris le type de sol, les espèces végétales, le stade de maturité, le rendement en matière sèche, la gestion du pâturage et le climat (**Mirzaei, 2012**).

Les prélèvements mensuels et saisonniers du sol et de l'arbuste étudié ont été effectués. Au niveau du sol les teneurs en minéraux ne varient pas beaucoup au cours d'une année, alors que le végétal se comporte autrement. C'est-à-dire la variation des teneurs en éléments minéraux est liée à la biologie de la plante (stade feuillu, bourgeonnement, début de floraison, fin de floraison et fructification).

#### **III.1.2 Choix des méthodes d'analyses :**

La détermination des teneurs en éléments minéraux essentiels et toxiques a été réalisée par des méthodes analytiques classiques. Sous une forme organique, ces minéraux sont généralement mal quantifiés. De ce fait, le dosage de ces éléments consiste généralement à minéraliser dans un premier temps par calcination cette matière organique.

Nous avons utilisé la technique de la digestion humide (nitro-perchlorique) pour l'extraction des minéraux majeurs et mineurs dans la plante fourragère étudiée. La calcination sèche décrite dans le chapitre matériel et méthodes, a été effectuée pour l'extraction du phosphore, du cadmium et du plomb. La digestion à l'eau régale a été utilisée pour la détermination des taux des éléments minéraux essentiels (sauf le phosphore) et toxiques (Pb et Cd) dans la matrice sol.

#### **III. 1. 3 Discussion des résultats de la première étude expérimentale :**

La composition chimique des arbustes fourragers est influencée par l'espèce, le stade physiologique, les conditions agronomiques et le climat. La valeur nutritive des arbustes dépend essentiellement de leur teneur en matières azotées totales et en cellulose brute.

**Haddi et al. (2009)** rapportaient que la plante halophyte *Atriplex halimus* du même site d'étude est caractérisée par un taux de MS de l'ordre de 24 % de matière fraîche (MF) et celui de la MO est de 78 %. Les taux moyens des extraits éthérés (EE) sont de 18.6 g/kg MS, ceux des fibres NDF, ADF et ADL sont respectivement de l'ordre de : 440, 287 et 81.1 g/kg MS. En outre, l'énergie métabolisable (EM) et la digestibilité de la matière organique (DMO) enregistrées dans

l'arbuste en question, mesurées par la méthode *in vitro* sont de l'ordre de 5.50 MJ/kg MS et 495.1 g/kg MS respectivement (**Haddi et al., 2009**).

**Nefzaoui et Chermiti (1991)** ont rapporté des taux de MS et de MO dans le même arbuste poussant en Tunisie, comparable à nos résultats.

Les teneurs moyennes de la matière azotées analysées dans les feuilles de l'arbuste en question varient de 12 à 20 % MS (**Yaakoub, 2006**). Ces taux sont comparables à ceux mesuré dans les arbustes fourragers poussant en Afrique du Nord (**Boussaid et al., 2004**).

#### **a- Variation des teneurs en minéraux majeurs et mineurs dans les tiges, les feuilles et les fractions d'*Atriplex halimus***

##### **✓ Les minéraux majeurs :**

Les teneurs moyennes en **calcium** des dix mois enregistrées sont plus élevées dans les feuilles que dans les tiges. Chez les plantes, le calcium est un élément indispensable aux processus de croissance et de survie en condition de stress (**Soltner, 1996 ; Boccon-Gibod, 2014 ; Lehner, 2014**). Il joue également un rôle important dans le maintien de l'intégrité et de la sélectivité membranaire (**Nedjimi, 2009**).

Les taux enregistrés en cet élément dans l'arbuste étudié sont plus élevés que ceux de l'halophyte *Sueada mollis* (7.3 g/kg MS) poussant au voisinage de l'arbuste en question (**Yaakoub, 2006**), mais faibles comparativement à ceux enregistrés chez *Tamarix africana* (22 g/kg MS) et chez la légumineuse des régions semi-arides *Hedysarum coronarium* (23 g/kg MS) (**Arab et al., 2009**).

Dans l'organisme animal, le calcium, élément minéral le plus abondant, concentré dans le squelette, agit également à très faible concentration dans la cellule comme messenger cellulaire ou comme facteur coenzymatique dans la coagulation du sang. L'organisme d'un mammifère adulte contient environ 1% de phosphore et 1.6 % de calcium (**McDowell, 2003**). Ces deux éléments représentent plus des trois quarts de l'ensemble des éléments minéraux et sont principalement localisés dans le tissu osseux : 70 à 80 % du phosphore et 99 % du calcium ; le reste du phosphore se répartit entre tissus musculaire, nerveux et splanchnique.

Les besoins recommandés en Ca chez les ruminants se situent dans la fourchette suivante 1.9 (taux minimal) et 2.8 (taux maximal) g/kg MS (**Ghazanfar et al., 2011**). De plus, les concentrations de calcium allant de 2.8 à 5.8 g/kg MS (**Olsen, 2007**) sont nécessaires à la production de lait notamment chez les vaches fortes productrices.

Par ailleurs, **Bhanderi et al. (2016)** rapportent que les besoins d'entretien recommandés en Ca chez les vaches laitières sont de l'ordre de 16 g/ kg MS et ceux de la production de lait sont estimés de 3.21 g de Ca pour chaque kilogramme du lait produit.

Le démarrage de la lactation entraîne une exportation relativement rapide du calcium (Ca) sanguin vers le colostrum. Les besoins en calcium augmentent énormément et de façon brusque d'un moment à l'autre et le corps de l'animal doit s'adapter à un besoin de calcium beaucoup plus important.

La fièvre de lait, également appelée fièvre vitulaire ou hypocalcémie puerpérale, elle se produit habituellement entre 12 heures avant la mise bas et 48 heures après vêlage (Le risque devient important au 3<sup>ème</sup> vêlage). La fièvre du lait est un trouble métabolique complexe de la vache laitière, caractérisé par une chute du taux de calcium sanguin (hypocalcémie) en période post-partum. Une carence vraie en calcium et /ou en vitamine D se traduit par une altération du métabolisme osseux : rachitisme chez le jeune et ostéomalacie chez l'adulte (**Paragon, 1984 ; Jean-Blain, 2002**). La fragilisation du squelette peut alors prédisposer les animaux à des déformations osseuses chez le jeune et à des fractures spontanées chez l'adulte.

Les teneurs moyennes mensuelles en **phosphore** enregistrées dans l'arbuste étudié sont légèrement élevées dans les feuilles que dans les tiges. Elles sont comparables à celles rapportées par **Nefzaoui et Chermiti (1991)** dans le même arbuste poussant en Tunisie, et elles sont plus élevées que celles du même arbuste poussant en Afrique du Sud qui varient de 1.4 à 1.52 g/kg MS (**Van Niekerk et al., 2004**).

Le phosphore est présent chez tous les organismes vivants. Il a un rôle essentiel dans le transfert de l'énergie nécessaire à la croissance et à la productivité des plantes. Il joue un rôle important dans le métabolisme énergétique, la synthèse et le métabolisme des glucides, participe à la composition du noyau cellulaire et se concentre dans les organes reproducteurs du végétal (**Maalem, 2011**).

Chez les ruminants, le phosphore est indispensable pour assurer à la micropopulation du rumen un métabolisme optimal. Toute carence perturbe les processus fermentaires (dégradation de la cellulose notamment, synthèse de protéines microbiennes) et se traduit par un effet global sur la nutrition de l'animal (**Jean-Blain, 2002**).

La pluviométrie, peut influencer fortement la teneur en phosphore des végétaux, qui est réduite d'environ 30 % en année sèche, l'efficacité de la captation racinaire du phosphore étant déterminée par l'abondance de la phase aqueuse du sol (**Meschy, 2010**).

Les apports recommandés en P chez les ruminants ont été estimés de 1.2 à 4.8 g/kg MS, l'apport minimal en cet élément est de 0.82 g/kg MS (**Abdullah et al., 2013**).

De plus, chez les vaches laitières les besoins d'entretien recommandés en P sont évalués de 11 g/kg MS, et ceux de la production d'un kilogramme de lait sont de 1.98 g (**Bhanderi et al., 2016**).

Les teneurs en P enregistrées dans *Atriplex halimus* assurent les besoins d'entretien recommandés chez les ruminants. Une carence modérée en phosphore provoque une chute de l'appétit et une faible baisse de la production laitière ou de la croissance. Une carence sévère en P (< 1 g/kg MS) conduit à une modification du comportement (pica) (**Jean-Blain, 2002**), à des troubles locomoteurs suivis d'une paralysie du train arrière et des fractures spontanées sont observées chez les bovins et aussi chez les petits ruminants (**Meschy, 2010**). Les troubles de la reproduction avec réduction du développement fœtal ont été aussi constatés (**Underwood et Suttle, 1999**).

Le calcium et le phosphore représentent les trois quarts des minéraux de l'organisme. Une carence dans l'un ou l'autre de ces deux éléments peut avoir des conséquences néfastes sur l'état de santé et les performances des animaux à plus ou moins long terme : boiteries, ralentissement de la croissance des jeunes animaux, troubles de la reproduction, baisse de la production laitière.

Les taux mensuels du rapport **Ca/P** varient de  $4.04 \pm 2$  à  $4.61 \pm 2.02$  respectivement dans les feuilles et les tiges.

Ces rapports font partie de la limite de tolérance (estimée à 7) des ruminants (**Kallah et al. 2000**). En outre, **Ramirez-Orduna et al. (2005)** rapportent que les petits ruminants qui broutent des arbustes de la Californie ayant des taux de rapport Ca/P qui varient de 4 à 42, leur métabolisme en P n'est pas affecté. Chez les ruminants, quand les apports de Ca et du P sont suffisants, un rapport phosphocalcique compris entre 1 et 8 (**NRC, 2001**) ou même de 16 (**Meschy, 2010**) ne modifient ni l'absorption ni l'utilisation du phosphore. Par ailleurs, un excès de Ca accentue les effets de la carence en P.

Au pic de lactation afin de maintenir l'homéostasie et la sortie de P et du Ca, la vache et la brebis doivent mobiliser 0.7 % de leurs réserves osseuses par jour (**Underwood et Suttle, 1999**). En outre, durant le début de lactation la vache laitière perd plus de 30 % de P osseux (**Ternouth, 1989**). La salive participe à l'homéostasie du phosphore car sa concentration salivaire est déterminée par celle du sang, jusqu'à saturation vers 2.5 à 3 mmol/l dans le sang (**Marmont, 2013**).

Le taux moyen du **magnésium** enregistré dans les feuilles de l'*Atriplex halimus* est double de celui des tiges, cela s'explique par son utilisation dans la synthèse de la chlorophylle. Ces teneurs sont plus élevées que celle rapportées par **Boussaid et al. (2004)** et par **Van Niekerk et al. (2004)** pour le même arbuste.

En plus de son rôle dans le métabolisme osseux chez l'animal, le magnésium participe à la régulation des flux ioniques entre les cellules et le liquide interstitiel, permettant notamment la contraction musculaire et la transmission de l'influx nerveux. Les besoins recommandés en Mg

chez les bovins et les vaches en lactation varient de 1 à 1.2 g/kg MS (**Olsen, 2007**), jusqu'à 2.1 g/kg MS (**Mirzaei, 2012**) et la concentration acceptable dans la ration alimentaire a été évaluée de 6 g/kg MS (**NRC, 2005**).

Les taux élevés en azote et en potassium dans le régime alimentaire des ruminants inhibent l'absorption du Mg au niveau du rumen (**Mirzaei, 2012**). Lorsque la quantité de magnésium absorbé est insuffisante, une baisse d'appétit et une diminution de la digestibilité des fibres végétales sont constatées. De plus, les concentrations en Mg inférieures à 0.8 g/kg MS induit une réduction de l'activité cellulolytique des microorganismes du rumen (**Durand et Komisarczuk, 1988**). En absence de transition alimentaire à la mise à l'herbe, avec une herbe riche en potassium, un manque de magnésium se traduit par des tétanies d'herbage pouvant entraîner la mort de l'animal.

Contrairement au P, l'apport salivaire en Mg étant faible, la couverture des besoins des microorganismes dépendra des apports alimentaires et de leur disponibilité dans le milieu de rumen et son pH. Lorsque les régimes sont subcarencés, en Mg notamment (taux inférieurs à 1 g/kg MS), et lorsque le pH du rumen est élevé (fortes concentrations en ammoniac), les besoins des micro-organismes ne peuvent pas être couverts (**Thivend et al., 1985**).

Les teneurs en Mg enregistrées dans l'arbuste en question sont élevées que les besoins recommandés chez les ruminants mais ne sont pas toxiques. Les études expérimentales ont montré qu'une toxicité modérée apparaît lorsqu'on atteint 8 à 10 fois la dose recommandée pour les ruminants (**Meschy, 2010**).

Les symptômes de toxicité grave ne sont observés chez les bovins que pour des apports de 25 à 47 g/kg MS (**Chester-Jones et al., 1990**). A de tels niveaux il y aura une diarrhée, une somnolence et une dégénérescence sévère de l'épithélium squameux stratifié du rumen chez les bouvillons et probablement une perte de tonus musculaire et des réflexes tendineux profonds et une paralysie musculaire (**Underwood et Suttle, 1999**).

Les taux moyens de **sodium** enregistrés au cours des dix mois sont élevés dans les feuilles que dans les tiges, ce qui donne un aspect blanchâtre plus ou moins luisant suite à une accumulation d'importante concentration de NaCl à la surface des feuilles. Les teneurs moyennes en Na enregistrées dans cette étude sont comparables à celles mesurées dans *Tamarix africana* (46 g/kg MS) ; halophyte poussant au voisinage de l'arbuste en question (**Arab et al., 2009**). Par ailleurs, ces teneurs sont relativement élevées comparativement à ceux des arbustes de l'Afrique de l'Ouest, qui ne dépassent pas 0.4 g/kg MS (**Kallah et al. 2000**).

Le niveau élevé de Na dans *Atriplex halimus* pourrait faire référence à la possibilité de cette plante à tolérer non seulement un haut niveau de salinité, mais montre une croissance optimale

dans des conditions salines (**Nedjimi, 2012**). La capacité des halophytes à tolérer les sels et par conséquent à vivre sur les sols halomorphes est basée sur une régulation très fine de la concentration et de la distribution des ions.

L'élimination active du sel par des structures spécialisées (glandes à sel et cellules à poils) et la perte d'organes chargés des ions indésirables (cas du genre *Sueada*) sont parmi les mécanismes d'élimination d'excès du sel. À côté de ces processus, les halophytes peuvent empêcher l'absorption excessive de sel au niveau des racines et de la partie inférieure de la tige (**CEVA, 2005**). De grandes quantités de sel sont séquestrées dans les vacuoles pour un ajustement osmotique et le surplus est excrété dans des cellules spécialisées appelées trichomes couvrant la surface des feuilles (**Bendaly et al., 2016**).

Les taux élevés du Na sont stockés dans les poils vésiculaires et les glandes excrétrices à la surface des feuilles (**Nedjimi, 2013**). Il a été rapporté que la croissance chez *Atriplex halimus* ne semble diminuer qu'à partir d'une concentration de 30 g/L, et celle des glycophytes a été signalée à une concentration de NaCl de l'ordre de 3 g/l dans la solution du sol (**Brun, 1980 ; Bouzaida et Debbak, 2007**).

La tolérance des végétaux à la salinité résulte de processus qui permettent au végétal d'absorber l'eau et les sels minéraux à partir de substrats à faible potentiel hydrique, mais aussi de vivre en acceptant la présence importante de sodium dans ses tissus. De plus, suite à une accumulation du sel et de l'élaboration des composés organiques intra-cytoplasmique, les halophytes permettent le maintien d'une haute pression osmotique interne, ce qui favorise les échanges d'eau entre les compartiments externes et cellulaires (**Bouchoukh, 2010**).

Les travaux de **Nedjimi (2010)** sur l'adaptation de *Atriplex halimus* à la salinité confirment que la salinité du milieu stimule la production de la matière sèche, particulièrement à 4 g/l de chlorure de sodium (NaCl) et de 6 g/l de sulfate de sodium (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ou à 8 g/l de chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>). Au-delà de ces concentrations, le sel affecte négativement la production de la matière sèche.

Les grandes quantités de sels présentes dans *Atriplex halimus* notamment les feuilles peuvent limiter la valeur nutritionnelle de cet arbuste. L'abreuvement est crucial, pour les ovins qui consomment l'équivalent de 100 à 200 g de NaCl par jour (**Nefzaoui et Chermiti, 1991**).

Les teneurs en Na de l'arbuste en question dépassent largement les besoins recommandés chez les ruminants allant de 0.6 à 1.8 g/kg MS (**Ghazanfar et al., 2011**). Chez les vaches laitières une concentration de 1 g/kg MS (**Olsen, 2007**) en Na est préconisée pour une production adéquate.

**McDowell (2003)** rapportait que les valeurs maximales acceptables de chlorure de sodium chez les vaches sont de l'ordre de 40 g/kg MS et pour les autres catégories de bovins et les petits ruminants sont estimées de 90 g/kg MS.

L'intoxication par le sodium/chlorure de sodium se rencontre surtout dans les zones arides où l'eau est fortement minéralisée (**Underwood et Suttle, 1999**) ou suite à une consommation brutale de chlorure de sodium. Les signes cliniques d'intoxication sont essentiellement digestifs, nerveux (convulsion intermittentes, opisthotonos, somnolence...) et inappétence avec soif intense (**Paragon, 1984 ; Jean-Blain, 2002**).

Les concentrations mensuelles enregistrées en **potassium** sont plus élevées dans les tiges que dans les feuilles. Ces teneurs sont comparables à celles obtenues dans les arbustes poussant au Niger, qui varient de 9 à 19 g/kg MS (**Kallah et al. 2000**).

Les concentrations du K varient en fonction de l'âge de la plante et des conditions environnementales, l'absorption de cet élément par les racines est liée à l'humidité du sol (**Ramirez-Orduna et al., 2005**). En outre, l'accumulation des ions Na<sup>+</sup> dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup>, et il y aurait une compétition entre Na<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup> pour les mêmes sites de fixation apoplasmique (**Haouala et al., 2007**). La présence d'ion calcium joue un rôle important dans la réponse à la salinité puisqu'il augmente la sélectivité du potassium au dépend du sodium (**Bouchoukh, 2010**).

Les taux recommandés en K dans le régime alimentaire des ruminants varient de 5 à 10 g/kg MS (**Ghazanfar et al., 2011 ; Abdullah et al., 2013**). Une concentration de 6 g/kg MS en K est considérée adéquate pour une bonne production des différentes catégories de bovins (croissance, engraissement, gestation et lactation) (**Olsen, 2007**).

Les concentrations de Na et de K requises pour un bon déroulement des fermentations au niveau du rumen sont importantes (0.5-2 g/l). *In vivo*, l'apport salivaire de Na est généralement suffisant mais celui de K est plus limité. Cependant, le potassium alimentaire est très soluble au niveau du rumen et une carence ne pourra se manifester que pour des taux réduits de K dans l'aliment (inférieurs à 4 g/kg MS) (**Thivend et al., 1985**).

✓ **Les minéraux mineurs :**

De nombreuses activités enzymatiques bactériennes sont régulées par des oligoéléments tels que le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), le cobalt (Co), le molybdène (Mo), le sélénium (Se), le nickel (Ni)... certains oligoéléments rentrent aussi dans la composition d'éléments cellulaires comme les ribosomes ou les membranes. Les teneurs en oligoéléments des microorganismes du rumen sont généralement bien supérieures à celles des aliments que l'animal ingère. En effet, les parois des bactéries sont capables de fixer des oligoéléments par des

liaisons qui sont plus ou moins réversibles en milieu acide. Des études *in vitro* ont montré que l'activité cellulolytique est stimulée par des apports d'oligoéléments ; de même, la croissance des protozoaires en culture de longue durée peut être accrue par un apport de Zn ou de Co (**Thivend et al., 1985**).

Les teneurs moyennes du cuivre enregistrées dans l'arbuste étudié sont comparables entre les feuilles et les tiges. Ces taux sont analogues à ceux des plantes fourragères étudiées par **Arab et al. (2009)** au niveau de la même région d'étude.

Ces concentrations assurent largement les besoins des petits ruminants qui broutent cet arbuste. Par ailleurs, à partir des concentrations de 15 mg/kg MS, les ovins sont sensibles à l'intoxication par cet élément.

**Ramirez-Orduna et al. (2005)** rapportaient que la biodisponibilité du Cu peut être limitée en période de sécheresse, à de pH du sol élevé et avec l'avancement de la maturité des fourrages. Ce dernier facteur s'explique par la fixation de cet élément au niveau des fibres végétales, ce qui empêche sa libération (**Spears, 2003**). L'excès de certains minéraux en particulier le fer, et dans une moindre mesure le calcium et le zinc peuvent pénaliser l'absorption de cet élément (**Meschy, 2010**). L'effet négatif du soufre et du molybdène sur la biodisponibilité du cuivre a été évoqué par plusieurs auteurs (**Paragon, 1984 ; Lamand, 1991 ; Underwood et Suttle, 1999 ; Mc Dowell, 2003**).

L'apport recommandé en Cu chez les ruminants est estimé à 10 mg/kg MS et le seuil de carence est de l'ordre de 7 mg/kg MS (**Meschy, 2007**). Les carences en cuivre peuvent être primaire (défaut d'apport) ou secondaire (suite à une interférence digestive). L'interférence la plus importante et la mieux décrite (**Underwood et Suttle, 1999 ; McDowell, 2003 ; Meschy, 2010**) concerne le soufre et le molybdène qui réduisent l'absorption du cuivre. Les sulfures formés dans le rumen ont une affinité particulière au cuivre, et avec lequel ils forment des sulfures de cuivre (CuS) inabsorbables et insolubles éliminés par la voie fécale. En présence de molybdate ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) dans le rumen, les sulfures forment successivement des dithiomolybdates ( $\text{MoO}_2\text{S}_2^{2-}$ ), des trithiomolybdates ( $\text{MoOS}_3^{2-}$ ) et des tétrathiomolybdates ( $\text{MoS}_4^{2-}$ ) qui complexent le Cu sous une forme insoluble. Les thiomolybdates absorbés, inhibent la synthèse des enzymes cupro-dépendantes, en particulier celle de la céruloplasmine et la lysine oxydase.

La manifestation la plus fréquente de la carence en Cu est l'ataxie enzootique (sway-back) chez l'agneau et le chevreau (**Suttle, 2010**). Cette affection est attribuée à un défaut de synthèse, ou à une dégénération de la myéline (**Meschy, 2010**). Cette maladie a été aussi constatée même au pâturage contenant des concentrations de Cu allant de 7-15 mg/kg MS (**McDonald et al., 2010**).

La décoloration du poil autours des yeux (lunettes) et du mufle est un symptôme spécifique de la carence en cuivre. L'anémie, les troubles cardiaques, fragilisation du squelette, gonflement des articulations, une baisse d'appétit et de croissance, infertilité et les troubles digestifs sont des manifestations moins spécifiques.

La cuprémie est régulée soit par stockage (sous forme de métallothionéines), soit par mobilisation des réserves hépatique. Une sécrétion de Cu dans la bile évite une accumulation excessive et potentiellement toxique (**Meschy, 2010**).

Les ruminants particulièrement les ovins, sont beaucoup plus sensibles à l'intoxication par le cuivre que les espèces monogastriques (**Underwood et Suttle, 1999 ; MacPherson, 2000**), à cause d'une moindre capacité à éliminer l'excès de cuivre hépatique par la voie biliaire (**NRC, 2001**). L'intoxication se déroule en deux phases, silencieuse (baisse de l'appétit et une anémie chronique, nécrose hépatique) et soudaine avec une crise hémolytique mortelle (**McDonald et al., 2010 ; Suttle, 2010**).

Les teneurs moyennes mensuelles enregistrées en **zinc** dans l'arbuste étudié sont élevés notamment dans les feuilles que dans les tiges ( $69 \pm 19$  contre  $54 \pm 18$  mg/kg MS). Ces concentrations sont comparables ( $P > 0.05$ ) à celles enregistrées dans la graminée *Cynodon dactylon* (56.20 mg/kg MS) de la même région d'étude (**Arab, 2006 ; Arab et al., 2009**). Par ailleurs, **Van Niekerk et al. (2004)** ont enregistré des taux moyens en Zn faibles ( $11 \pm 2$  mg/kg) pour le même arbuste poussant au site aride Lovedale en Afrique du Sud comparativement à celui de notre région d'étude.

Les concentrations du Zn enregistrées dans l'arbuste en question (tiges et feuilles) sont adéquates pour assurer les besoins recommandés chez les ruminants.

La carence en zinc est souvent à la fois une carence d'apport et d'utilisation (facteurs concomitants à diminuer sa disponibilité). Lorsque la carence en Zn se met en place, le premier symptôme à apparaître est bien souvent la perte d'appétit (**Underwood et Suttle, 1999**), accompagné de retard de croissance ou d'amaigrissement. Chez les adultes, la reproduction est également atteinte, particulièrement chez les mâles (**Jean-Blain, 2002**).

Les troubles cutanés et des phanères sont des symptômes assez spécifiques de la carence en Zn et leur observation peut permettre de poser le diagnostic assez aisément. Cependant, ce sont des symptômes qui apparaissent tardivement par rapport aux autres. On note également une parakératose (**McDonald et al., 2010**), qui est une affection chronique, non inflammatoire et non fébrile, une alopecie qui siège généralement autour des yeux, du mufle et des oreilles (**Laurent, 2008**).

Il existe de nombreux symptômes généraux qui ne sont pas typiques de la carence en zinc : diminution de l'appétit, modification du comportement alimentaire par ingestion de laine, diminution de la vitesse de croissance, amaigrissement, la laine est fine sans consistance et a tendance à tomber (**Marx, 2002**). La zincémie normale oscille entre 0.8-1.2 mg/l de plasma (**Jean-Blain, 2002**). La teneur en Zn du plasma constitue un paramètre fiable pour détecter ou confirmer une carence.

Dans les conditions naturelles la toxicité au Zn est improbable. Les effets toxiques deviennent notoires qu'à partir de 1000 ppm de Zn dans la ration (**Jean-Blain, 2002**).

**Bonhomme et al. (1979)**, ont montré un effet inhibiteur *in vitro* de Zn sous forme de sulfate sur la digestion microbienne de la cellulose à une concentration de 10 mg/l du liquide ruminal et l'inhibition s'accroît à un taux de 25 mg/l avec une chute rapide du nombre des ciliés dans le milieu. Par ailleurs **Forsberg (1978)** a rapporté que à des concentrations (> 400 µg/ml de Zn) l'effet inhibiteur n'a pas été observé.

Les principales conséquences d'un large excès de zinc sur l'animal sont une diminution de l'appétit (**McDonald et al., 2010**) et de la vitesse de croissance, probablement induites par des perturbations de l'activité microbienne dans le rumen, et un comportement de pica pour les apports les plus élevés (1700 mg/kg MS) (**Meschy, 2010**). Lorsque la concentration en zinc est très forte dans la lumière intestinale, des signes d'anémie peuvent être observés (**Chesters, 1997**), suite à une diminution d'absorption du Cu et du Fe.

Les taux moyens du **manganèse** mesurés dans l'arbuste en question pendant les dix mois sont le triple dans les feuilles que dans les tiges (27 contre 8 mg/kg MS). Ils sont faibles comparativement à ceux du même arbuste poussant en Afrique du Sud, dont les teneurs varient de 116 (± 6) à 395 (± 49) mg/kg MS (**Van Niekerk et al., 2004**).

Les concentrations du Mn enregistrées au cours de cette première étude sont légèrement déficitaire pour subvenir les besoins recommandés chez les ruminants (30 à 50 mg/kg MS).

Chez la plante, le Mn est nécessaire à la production d'oxygène lors de la photosynthèse. Les taux faibles du Mn dans l'arbuste en question peuvent être dus à des taux élevés en Ca dans le sol (**Underwood et Suttle, 1999**). La disponibilité de cet élément peut être compromise lorsqu'une proportion élevée allant de 22 à 94 % du Mn est liée à la paroi cellulaire (**Ramirez-Orduna et al., 2005**). Il a été montré aussi que le calcium et/ou le phosphore diminue l'utilisation du Mn chez la vache laitière, l'effet antagoniste de l'excès de phosphore sur l'utilisation du manganèse a été confirmée au niveau de l'intestin (**Henry, 1995**).

Les anomalies du squelette sont les symptômes les plus évocateurs d'une carence en Mn. La carence clinique en Mn est connue chez les bovins et les volailles (**McDonald et al., 2010**). Elle se traduit principalement par des troubles ostéo-articulaires (**Henry, 1995 ; Jean-Blain, 2002**). Le jarret droit est un signe caractéristique de la carence chez l'adulte. Des déformations osseuses avec épaissement des articulations et raccourcissement des os des membres ont été observés chez les jeunes animaux. Les performances de reproduction sont également affectées avec œstrus discret (**Paragon, 1984**).

Pour les ruminants, le Mn est le moins toxique des éléments minéraux d'intérêt nutritionnel et l'intoxication est improbable suite à sa faible disponibilité et son élimination fécale rapide. L'excès du Mn interfère avec le métabolisme du fer. A des apports alimentaires entre 3000 et 4500 mg/kg MS, une baisse de l'appétit et de la croissance des agneaux ont été observés (**Meschy, 2010**). L'excès du Mn est éliminé par la bile au niveau hépatique (**MacPherson, 2000**).

Le fer est l'oligo-élément le plus majoritaire dans *Atriplex halimus* (400 à 800 mg/kg MS), cela s'explique par l'abondance de la forme assimilable ( $Fe^{2+}$ ) en cet élément dans la solution du sol. Les teneurs enregistrées sont comparables à celles des arbustes du Mexique avec des concentrations allant de 141 à 405 mg/kg MS (**Ramirez-Orduna et al., 2005**), et plus élevées que celles des arbustes poussant au Niger (**Kallah et al., 2000**).

Il n'y a pas ou peu de risque de carence de fer chez les ruminants adultes car l'organisme est très économe de son fer. Les fourrages renferment le plus souvent plus de 150 mg/kg MS de Fe, ce qui couvre largement les besoins (**Jean-Blain, 2002**).

L'anémie est le signe caractéristique de la carence surtout chez les nouveaux nés carencés (chute d'hématocrite), avec chute d'appétit, fatigabilité et une diminution de résistance aux infections. Cette carence entraîne alors chez les agneaux une perturbation de l'érythropoïèse qui va se manifester par une anémie de type ferriprive. Cette anémie peut encore être aggravée chez les animaux très parasités par des endoparasites digestifs de type *Haemonchus contortus*, *Trichostrongylus axei*, *Fasciola hepatica* (**Marx, 2002**).

Les ruminants ont une bonne tolérance à l'excès de fer (jusqu'à 1000 ppm) (**Olsen, 2007**). Cependant, son excès peut entraîner une chute d'appétit et de la lactation et provoque la diarrhée et le poil piqué (**Paragon, 1984**). En revanche, les taux de fer allant de 250 à 1200 mg/kg MS, pénalisent l'absorption du Cu chez les ruminants, qui deviennent déficitaires (**Ramirez-Orduna et al., 2005**).

### ✓ Les teneurs mensuelles des minéraux majeurs et mineurs

Les teneurs mensuelles des macroéléments et des oligo-éléments enregistrées au cours des dix mois (2002-2003) sont rassemblées dans le tableau 1 en annexe 1.

Les taux moyens de Ca sont élevés au cours de mois de mai (15 et 13.5 g/kg MS), suivis de mois de décembre (14 et 13 g/kg MS) respectivement dans les feuilles et dans les tiges. Les concentrations mensuelles mesurées en Ca dans l'arbuste en question assurent les besoins recommandés chez les caprins estimés de 2.6 g/kg MS (**Ramirez-Orduna et al., 2005**), et ceux recommandés chez les bovins au cours des différents stade physiologiques, évalués de 1.6 à 5.8 g/kg/MS (**Olsen, 2007**).

Au cours du mois de février, le taux moyen du P est de l'ordre de 6.2 et 4 g/kg MS dans les feuilles et dans les tiges respectivement. Une diminution de ce taux est observée au cours du mois de juillet dans les tiges et dans les feuilles (2.22 et 1.6 g/kg MS) respectivement. Les taux faibles en cet élément peuvent s'expliquer par la diminution de la forme disponible au niveau de la solution du sol, suite au taux élevés du Ca et du Na qui engendrent une diminution de son assimilabilité. Le taux élevé du pH pourrait favoriser sa précipitation et donc sa faible disponibilité. Dans les milieux dotés de conditions extrêmes de pH, soit très acides ou très calcaires, les phosphates évoluent vers des formes cristallisées insolubles et par conséquence, soustraites au cycle biologique : ce processus est nommé rétrogradation (**Maalem, 2011**).

Donc, dans notre région d'étude le sol carbonaté favorise la rétrogradation du P par formation des composés particulièrement insolubles. Les besoins d'entretien recommandés en cet élément sont assurés au cours des différents mois à l'exception du mois de juin et juillet, ceux de gestation et de production laitière doivent être compléter par un supplément à base de phosphore. L'apport excessif de Ca alimentaire est susceptible de diminuer l'absorption du P, surtout si l'apport global est marginal.

Les concentrations mensuelles du Mg varient de 14 à 22 g/kg MS et de 5 à 10 g/kg MS dans les feuilles et les tiges respectivement. Ces taux enregistrés assurent les besoins recommandés chez les ruminants indiqués par plusieurs auteurs (**McDowell et Valle, 2000 ; Kessler, 2001 ; Ramirez-Orduna et al., 2005 et Olsen, 2007**).

Les taux moyens du Na sont élevés au cours des différents mois, allant de 37 à 53 g/kg MS. Les teneurs élevées en sodium de l'*Atriplex halimus*, particulièrement au niveau des feuilles est une caractéristique des chénopodiacées.

Les teneurs mensuelles du K dans les feuilles et les tiges varient de 10 à 39 g/kg MS. La forme disponible de cet élément est liée aux concentrations du Na dans l'arbuste étudié d'une part et

à celle du Ca d'autre part ; ce dernier pourrait favoriser l'assimilabilité du K (**Ramirez-Orduna et al., 2005**).

Ces taux enregistrés dépassent les besoins recommandés chez les ruminants évalués de 5 à 10 g/kg MS (**Ghazanfar et al., 2011**) et de 2.2 g/kg MS chez les caprins (**Ramirez-Orduna et al., 2005**).

L'excès du K dans la ration alimentaire chez les ruminants, engendre un phénomène d'adaptation au niveau rénal, ce qui permet une grande excrétion de cet électrolyte. Dans les conditions chaudes, environ 30 % du K est éliminé à travers la peau chez les ovins (**Casenave, 2005**). Un excès de potassium dans les fourrages induit une insuffisance de d'autres minéraux (Mg, Ca) et une immunodépression (**Mirzaei, 2012**). La toxicité du potassium est rapportée à partir d'un seuil relativement haut, de 30 g/ kg MS (**Meschy, 2010**). L'excès du K peut toutefois perturber le métabolisme du calcium et du magnésium, augmentant le risque de la fièvre vitulaire et de tétanie.

Les teneurs mensuelles en Cu enregistrées assurent les besoins recommandés chez les ruminants (10 mg/kg MS), à l'exception des taux du mois de juin et du mois de décembre. Les concentrations du Cu enregistrées au cours du mois de janvier (21.02 mg/kg MS) et du mois d'avril (21.68 mg/kg MS), peuvent probablement engendrer une intoxication chez les ovins, qui sont plus sensibles au taux élevés du Cu ( $\geq 15$  mg/kg MS).

Les taux mensuels en Zn des feuilles et des tiges varient de 37 à 83 mg/kg MS. Ces concentrations assurent les besoins recommandés (30 mg/kg) chez les caprins et les bovins (**Ramirez-Orduna et al., 2005 ; Olsen, 2007**). Par ailleurs, le taux recommandé par INRA chez les ruminants est de 50 mg/kg MS et la limite de carence est de l'ordre de 45 mg/kg MS (**Meschy, 2007**). Par conséquent, les teneurs enregistrées dans les feuilles et les tiges de l'arbuste étudié assurent les besoins indiqués, à l'exception de celle révélées au cours des mois d'octobre, novembre et décembre pour les tiges ( $< 45$  mg/kg MS).

Les taux du Mn mesurés pendant les dix mois sont faibles allant de 2 à 39 mg/kg MS. Les taux les plus élevés sont enregistrés dans les feuilles au cours des mois de mars et de mai : 32 et 39 mg/kg MS respectivement. Comparativement aux besoins recommandés chez les ruminants estimés de 30 mg/ kg MS (**Olsen, 2007**) à 50 mg/kg MS (**Coïc et Coppenet, 1989 ; Meschy, 2007**), l'arbuste en question est déficitaire en cet élément. Un supplément en Mn sera nécessaire aux ruminants qui consomment cet arbuste seul.

Les taux mensuels du fer enregistrés varient de 278 à 1337 mg/kg MS. Les concentrations élevées en cet élément, suggère l'abondance de l'élément en forme disponible dans la solution du sol, ce qui facilite son prélèvement par l'arbuste et son accumulation particulièrement dans les

feuilles. Au mois de février les taux moyens du Fe enregistrés dans les feuilles atteignaient 1337 mg/kg MS. Cela pourrait s'expliquer par la contamination du prélèvement par le sol, qui est pratiquement riche en fer. Les apports en Fe mesurés dans *Atriplex halimus* dépassent largement les besoins recommandés chez les ruminants qui ont été estimés de l'ordre de 30 à 50 mg/kg MS.

Il est connu que les fourrages sont riches en fer, et le taux maximum tolérable chez les ruminants est de 1000 mg/kg MS (Olsen, 2007). L'intoxication par cet élément chez cette catégorie d'animaux n'est pas réponde (Arab *et al.*, 2016a). Cependant, l'ingestion prolongée des taux élevés en Fe pourrait déclencher une intoxication chez les ruminants (McDonald *et al.*, 2010).

✓ **Les fractions des feuilles :**

Les éléments minéraux P, Mg, Na, le K, Cu, Zn, Mn et Fe se répartissent d'une manière homogène dans les cinq fractions des feuilles. Donc la mobilité de ces minéraux se fait de la même manière ce qui engendre des teneurs comparables. La transpiration de la plante et la poussée racinaire permettent une bonne circulation de la sève dans les différentes fractions des feuilles.

Au sommet de la plante la concentration du Ca est faible, cela peut s'expliquer par sa faible mobilité d'une part et de son stockage dans les parties basales d'autre part. Il en est de même pour le fer. Les concentrations les plus élevées de cet élément se localisent au niveau des fractions IV et V et les plus faibles sont enregistrés dans la fraction I.

✓ **Les fractions des tiges :**

Comparativement aux feuilles, la répartition des minéraux dans les cinq fractions des tiges diminue du plus haut vers le plus bas, de la fraction I vers la fraction V. Nous suggérons que les minéraux que ce soit majeurs ou mineurs s'accumulent essentiellement au sommet (fraction I), suite à leur faible recirculation dans les différentes sections des tiges.

Les concentrations des minéraux obtenus que ce soit dans les tiges, les feuilles ou dans les cinq fractions correspondantes permettent d'assurer les besoins recommandés en minéraux à l'exception du manganèse qui est déficitaire. Un complément minéral à base du Mn afin de pallier le déficit en Mn dans cet arbuste est nécessaire.

**Ramirez-Orduna *et al.* (2005)** rapportaient que les besoins recommandés en minéraux chez les chèvres exprimés par rapport à un kg de MS, sont les suivants :

**Ca** : 2.6 g/kg ; **P** : 1.9 g/kg ; **Mg** : 1.7 g/kg ; **Na** : 0.7g/kg ; **K** : 2.2 g/kg ; **Mn** : 30 mg/kg ; **Cu** : 9 mg/kg ; **Zn** : 30 mg/kg et le **Fe** : 35 mg/kg MS.

Les caprins et particulièrement les chèvres qui consomment les différentes fractions de l'arbuste fourrager objet de notre étude, peuvent assurer leurs besoins nutritifs en minéraux étudiés mis à part le Mn.

➤ **Corrélation entre les minéraux majeurs et mineurs de l'*Atriplex halimus* :**

Parmi les minéraux majeurs étudiés, des corrélations significatives ont été observées entre le calcium et le magnésium, le calcium et le sodium, le phosphore et le magnésium, le magnésium et le sodium, et le phosphore et le sodium.

Pour les oligo-éléments, des relations linéaires sont aussi observée entre le cuivre et le zinc ; le fer et le zinc ; le manganèse et le zinc et entre le fer et le manganèse.

De plus, nous constatons aussi que plus le coefficient de corrélation se rapproche de 1 plus la corrélation est plus linéaire. Ces corrélations positives entre ces différents minéraux peuvent s'expliquer par la vitesse de la mobilité qui se rapprochent, et l'absorption racinaire qui se fait de la même manière.

**b- Teneurs en plomb et en cadmium de l'arbuste *Atriplex halimus* :**

Les teneurs moyennes en Pb et en Cd mesurées au cours du premier protocole sont classées comme teneurs naturelles. Aucune différence n'a été révélée entre les concentrations de deux métaux des tiges et des feuilles.

Il a été montré que les halophytes jouent un rôle principal dans la circulation des éléments traces dans les sols grâce à la phénologie de leurs feuilles. De plus, les mycéliums intra et extraracinaires des isolats fongiques sont capables de piéger les éléments traces métalliques et de promouvoir la croissance des plantes en augmentant l'absorption des nutriments par les racines **(Sleimi et al., 2014)**.

**Le cadmium** est parmi les métaux lourds les plus toxiques pour l'environnement et la santé humaine et animale. Au-delà de certaine limite, il engendre l'apparition de certains symptômes d'intoxication, de chlorose et de l'inhibition de la croissance des plantes. Il est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en interférant avec l'assimilation de certains éléments essentiels (fer, magnésium et calcium), soit par substitution ou par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire **(Nedjimi, 2009)**.

La toxicité du Cd est considérée de 2 à 20 fois plus élevée que celle des autres métaux lourds **(Das et al., 1997)**. Son assimilation et son accumulation dans les tissus des végétaux peuvent constituer des vecteurs de contamination en cas de consommation animale ou humaine **(Grant et al, 1995)**. Cependant, la sensibilité à l'égard du cadmium varie suivant les espèces et même les cultivars d'une même espèce **(Fodor, 2002 ; Kuldeep et Brar, 2002 ; Badache, 2015)**.

Les symptômes d'intoxication par le Cd observés chez les plantes sont une inhibition de la croissance pondérale, une réduction de l'activité photosynthétique et également une diminution de l'absorption des nutriments à partir du sol.

Le Pb affecte le métabolisme de la plante, particulièrement la photosynthèse et entraîne aussi des dommages des membranes cellulaires. Par ailleurs, l'exposition au plomb perturbe le prélèvement et la translocation des éléments essentiels à la plante, principalement le  $\text{Ca}^{2+}$ , et également le  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{M}^{2+}$  et le  $\text{Zn}^{2+}$  (**Babou, 2014**).

Il a été démontré que l'addition des doses croissantes de calcium dans le milieu de culture chez *Atriplex halimus* sous stress du Cd, améliore l'assimilation des nutriments essentiels au niveau des tissus d'une part et inhibe son absorption d'autre part (**Nedjimi, 2009**).

**Ben Hassine et Bouzid (2008)** ont montré que l'*Atriplex halimus* poussant au Sud de la Tunisie est l'écotype le plus résistant au stress lié au cadmium que celui du Nord. De plus, *Atriplex halimus* tolère des concentrations élevées en Cd, Pb, Cu, Ni et Zn dans le milieu de culture au moment de croissance (**Walker et al., 2014**).

La tolérance de l'*Atriplex halimus* au stress du Cd a été expliquée par la précipitation de cet élément par les oxalates dans les tiges d'une part, et par son excrétion par les poils vésiculaires des feuilles d'autre part. L'étude réalisée par **Podlipná et al. (2011)** sur l'accumulation du Cd *in vitro* par l'halophyte *Juncus gerardii* Loisel et la non halophyte *Juncus inflexus* L montre que l'accumulation du Cd par l'halophyte en question se fait notamment en absence du NaCl dans le milieu de culture. Plus les concentrations du sel augmentent dans le milieu de culture, celles du Cd diminuent dans les tissus de *Juncus gerardii*. Par ailleurs, la non halophyte *Juncus inflexus* montre une augmentation progressive de l'accumulation de ce métal du premier jour jusqu' au 7ème jours en absence du NaCl en milieu de culture.

L'étude de **Babou (2014)** montre que le stress métallique du nitrate du plomb dans le milieu de culture de l'*Atriplex halimu*, engendre une accumulation du  $\text{Na}^+$  et du  $\text{K}^+$  dans les feuilles et dans les racines, et une diminution du calcium. Cette diminution pourrait résulter d'un antagonisme entre le Ca et le plomb. Ce métal se lie principalement aux parois cellulaires, il peut être précipité dans l'espace intercellulaire. Ce qui peut expliquer sa faible mobilité d'une part et sa moindre toxicité pour les cellules végétales notamment celles d'*Atriplex halimus*, d'autre part.

Chez les ruminants, la consommation des fourrages contaminés par des métaux lourds engendre une perturbation de la flore ruminale d'une part et des processus digestifs des pré-estomacs d'autre part (**Salem et al., 2011**).

La toxicité du cadmium dépend de la quantité ingérée, la voie et la forme d'administration et l'espèce animale concernée. Avec des concentrations supérieures à 50 mg/kg MS dans le régime alimentaire, les ruminants peuvent s'intoxiquer et le Cd s'accumule dans le foie et le rein (Tableau 10 page 26).

L'effet inhibiteur du Cd a été constaté notamment sur l'activité bactérienne du rumen des moutons suivis par celle des bovins (**Salem et al., 2011**). Les symptômes d'une intoxication au Cd s'apparentent en partie à ceux de la carence en zinc : ralentissement de la croissance, la parakératose chez les ovins, troubles de la reproduction affectant les mâles et les femelles (**Underwood et Suttle, 1999**). Il est aussi à noter que le cadmium peut inactiver des enzymes riches en zinc (**Marx, 2002**).

La toxicité du Cd provient de son accumulation dans le foie (50-160 mg/kg) et surtout dans le rein (100-250 mg/kg) (**Puls, 1994 ; Underwood et Suttle, 1999**). L'accumulation du cadmium conduit à un dysfonctionnement rénal, la réabsorption tubulaire des acides aminés, du glucose et du phosphate étant fortement réduite (**McDowell, 2003**). L'effet inhibiteur du Cd *in vitro* sur l'activité des enzymes bactériennes (uréase, glutamate déhydrogénase et gamma-glutamyltransférase) a été constaté par **Faixova et Faix (2002)**.

En outre, la croissance bactérienne a été diminuée de 50 % en présence d'une concentration de 175 mg de Cd par litre de liquide ruminal (**Forsberg, 1978**). L'administration du sélénium diminue la toxicité du Cd en modifiant la métallothionine par une protéine de grande masse moléculaire, ce qui empêche la distribution du Cd vers les tissus (**Bremner, 1978**).

Par ailleurs, le cadmium peut avoir des effets négatifs sur l'activité de la flore du rumen. De nombreux travaux ont porté sur l'étude de l'efficacité de divers agents sur l'activité de plusieurs enzymes du rumen. L'effet inhibiteur *in vitro* des ions du cadmium sur l'uréase du liquide ruminal des brebis a été relevé par **Faixova et Faix (2002)**. L'effet inhibiteur est plus élevé sur les bactéries telles que : *Ruminococcus albus* et *Bacteroides amylophilus* (**Forsberg, 1978**). La sensibilité de la flore bactérienne au Cd chez les moutons et les buffles est plus élevée que celle des vaches (**Salem et al., 2011**).

L'absorption du Ca peut être diminuée en présence du Pb, suite à une compétition vis-à-vis des récepteurs de la paroi digestive. Il a été noté que le zinc peut réduire de manière significative la proportion du Pb absorbée (**Delphine, 2001**). Une fois absorbé, la quasi-totalité du Pb est fixée aux globules rouges : 85 à 90% chez le mouton et 63 à 70 % chez les bovins (**Humphrey, 1991**).

L'absorption de doses de plomb à long terme provoque l'apparition d'action toxique multiple puisque cet élément est un toxique cumulatif dont l'intoxication à long terme est le saturnisme. Certaines études ont ainsi mis en évidence que le plomb pouvait s'accumuler dans le foie, les

reins, les os et les muscles des animaux même si la plus grande partie est éliminée avec les excréments. Les coliques de plomb sont les effets toxiques les plus connus du métal mais ses principaux organes cibles sont : le système nerveux, les reins, le foie et le sang **(Miquel, 2001)**.

Les signes de l'intoxication du Pb se traduisent par des troubles gastro-intestinaux, une nécrose du foie et des reins. La toxicité chronique du plomb résulte de son accumulation dans le tissu osseux, et à un moindre degré dans le foie et le rein. Les principaux signes cliniques sont l'anémie provenant de la diminution de la synthèse d'hémoglobine **(Gensheng et Bruce, 2008 ; Sellaoui, 2017)**, les troubles nerveux et le dysfonctionnement rénal **(Meschy, 2010)**.

L'ostéoporose est également constatée et les jeunes animaux sont particulièrement sensibles au saturnisme (en raison du transfert important du plomb au fœtus et dans le lait). Le Pb a des propriétés immunodépressives, suite à ses effets cytotoxiques sur les cellules du système immunitaire **(Kouassi et Fournier, 2003 ; Sellaoui, 2017)**.

Contrairement au Cd, le Pb présente une moindre toxicité sur la flore bactérienne du rumen **(Salem et al., 2011)**. Un effet non inhibiteur du Pb a été constaté sur l'activité et la croissance bactérienne du rumen (essai *in vitro*) à une concentration supérieure à 400 µg/ml du liquide ruminal **(Forsberg, 1978)**.

### III. 1.4 Discussion des résultats de la deuxième étude expérimentale :

#### III. 1.4.1 Paramètres étudiés dans l'*Atriplex halimus* :

➤ **Les teneurs saisonnières en MS, humidité, MM et MO de l'arbuste *Atriplex halimus***

*Atriplex halimus* objet de notre étude est caractérisé par des taux de MS élevés, aussi bien pour les feuilles que pour les tiges. Le taux le plus faible a été constaté au cours de l'automne, suite aux pluies torrentielles qui ont frappé la région au mois de septembre et ont fait écouler Oued Djedi. Les saisons hiver et printemps étaient très chaudes et sèches, ce qui a engendré des taux en MS élevés comparativement à ceux de l'été.

Nos résultats de MS enregistrés sont plus élevés comparativement à ceux enregistrés par **Longo et al. (1989)**, pour les Acheb et les plantes vivaces du Sud de l'Algérie, à l'exception de *Chebrok*, plante vivace qui a une teneur en MS (93.14 %) analogue à celle de notre arbuste au cours de l'automne. De plus le taux d'humidité enregistré dans l'arbuste étudié était élevé pendant la même saison.

Les teneurs en MM sont plus élevées dans les feuilles que dans les tiges, dont les taux les plus élevés sont enregistrés au cours de l'été suivi de l'hiver : 18.7 et 17.5 % respectivement.

Ces concentrations sont similaires à celles mesurées dans les herbacées *Cynodon dactylon*, *Cyperus conglomeratus* et la tamaricacée *Tamarix africana* de la même région d'étude (**Arab et al., 2009**).

Le climat aride et sec de la région d'étude d'une part et l'appartenance d'*Atriplex halimus* aux halophytes d'autre part, influent d'une manière directe et significative sur sa teneur en MM.

Les taux de la MO des feuilles de l'arbuste étudié sont comparables à ceux des arbustes du Niger allant de 83 à 89.4 % (**Kallah et al., 2000**), et ils sont plus élevés par rapport aux ceux rapportés par **Nefzaoui et Chermiti (1991)** dans le même arbuste de la Tunisie (75 %).

➤ **Les teneurs en minéraux dans l'*Atriplex halimus* plante entière en fonction des quatre saisons :**

Les taux enregistrés en macroéléments dans l'*Atriplex halimus*, plante entière sont variables d'une saison à une autre à l'exception du Na. Les concentrations du Ca les plus élevées sont constatées au cours de l'hiver ( $11 \pm 1.12$  g/kg MS), et les plus faibles sont enregistrés en automne ( $4 \pm 1.64$  g/kg MS).

Ces teneurs sont en accord avec celles obtenues par **Yaakoub (2006)** dans le même arbuste du même site. Par ailleurs, **Nefzaoui et Chermiti (1991)** et **Boussaid et al. (2004)** ont enregistrés des taux plus élevés, de l'ordre de 18 et 19 g/kg MS respectivement.

Les teneurs enregistrées en Ca sont adéquates pour satisfaire les besoins recommandés chez les ruminants, qui ont été estimés de l'ordre de 2.6 g/kg MS chez les chèvres (**Ramirez-Orduna et al., 2005**), et de 1.8 à 8.2 g/kg MS pour les autres ruminants (**McDowell et Valle, 2000**).

Les teneurs en P enregistrées au cours des quatre saisons sont élevées au cours du printemps et faibles pendant l'automne et l'été. Ces taux sont comparables à ceux obtenus dans les arbustes poussant au Mexique pour les mêmes saisons (**Ramirez-Orduna et al., 2005**), et à ceux qui ont été rapportés par **Van Niekerk et al. (2004)** et par **Boussaid et al. (2004)** pour le même arbuste.

Comparativement aux besoins recommandés en P par les différents auteurs, nous considérons que les taux obtenus dans l'arbuste en questions plante entière sont déficitaires au cours des quatre saisons à l'exception de ceux du printemps.

Les taux du rapport Ca/P enregistrés dans *Atriplex halimus* varient de 2 à 11. Comparativement à ceux signalés par **Meschy (2010)**, les résultats obtenus dans notre étude sont dans les normes et ne perturbent pas le métabolisme du P.

Les concentrations du Mg enregistrées sont élevées notamment au cours de l'hiver et du printemps ;  $19.42 \pm 2.34$  et  $18.38 \pm 1.71$  g/kg M respectivement. Les besoins du Mg recommandés chez les chèvres et les vaches laitières hautes productrices sont respectivement 1.7 et 1.5 g/kg MS (**Kessler, 1991 ; Kessler, 2001**). Les taux obtenus en cet élément dans l'arbuste étudié assurent largement les apports recommandés.

Les concentrations du Mg acceptables dans la ration sont évaluées de 6 g/Kg MS (**NRC, 2005**). C'est à partir des apports du Mg allant de 25 à 47 g/kg MS, les symptômes de toxicité apparaissent chez les bovins (**Chester-Jones et al., 1990**). Par conséquent, les concentrations enregistrées au cours de l'hiver et du printemps dans l'arbuste en question ne sont pas considérées comme toxiques.

Les teneurs du Na sont stables au cours des quatre saisons. Elles sont significativement plus élevées ( $P < 0.05$ ) que celles enregistrées au cours des mêmes saisons dans les arbustes du Mexique, qui ne dépassent pas les 3 g/kg MS (**Ramirez-Orduna et al., 2005**).

L'accumulation de grande quantité de sel est une caractéristique des plantes halophytes, ce qui contrarie ses approvisionnements en eau d'une part, et elles doivent contrôler leur contenu en sel afin de ne pas dépasser un seuil toxique d'autre part. La salinité est l'un des facteurs limitant pour la croissance des plantes.

Selon **Chretien (1992)**, le métabolisme de la plante dans les milieux fortement salés est lié :

- A une résistance de la plante à la déshydratation ;
- A une adaptation de son potentiel osmotique afin de rétablir les relations hydriques,
- A une alimentation en eau convenable ;
- A un contrôle efficace des flux ioniques intra tissulaires et extracellulaires.

En cas de stress salin, toute une série de gènes sont particulièrement activés, codant pour des protéines responsables du maintien de l'homéostasie. La tolérance des végétaux à la salinité résulte de processus qui permettent au végétal d'absorber l'eau et les sels minéraux à partir de substrats à faible potentiels hydriques, mais aussi de vivre en acceptant la présence importante de sodium dans ses tissus. Les taux élevés en sel ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ...) dans le sol, peuvent réduire la disponibilité de certains ions ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{HPO}_4^{+}$ ...) (**Bouchoukh, 2010**).

Les plantes halophytes présentent un haut pouvoir d'ajustement osmotique, renforcé par l'absorption des électrolytes et leur conduite vers les feuilles (**Nedjimi, 2010**). La présence des poils à sel, qui se forment à partir des cellules épidermiques, permet à *Atriplex halimus* de concentrer le sel ( $\text{NaCl}$ ) dans ces vésicules, ce qui engendre une pression osmotique importante. Ce stockage empêche toute intoxication par les différents électrolytes.

Les taux du K enregistrés sont variable d'une saison à une autre, et sont légèrement faibles comparativement à ceux rapportés par **Nefzaoui et Chermiti (1991)** et par **Boussaid et al. (2004)** de l'ordre de 25 et 26 g/kg MS respectivement pour le même arbuste.

**Bendaly et al. (2016)** rapportaient que la diminution des teneurs en K dans les feuilles d'*Atriplex halimus* poussant en Tunisie, peut s'expliquer par une concurrence de K avec le Na pour les mêmes sites de liaison ou par une régulation négative des gènes impliqués dans le transport de K. Par conséquent, dans notre étude, une forte concentration en Na et un stress hydrique pendant l'hiver pourraient être la cause de la faible concentration de K chez *Atriplex halimus*.

Un excès alimentaire de potassium est normalement excrété rapidement du corps, principalement dans les urines. La forte absorption de l'élément peut interférer avec l'absorption et le métabolisme du magnésium chez l'animal, ce qui peut être un facteur important dans l'étiologie de la tétanie hypomagnésémique (**McDonald et al., 2010**).

Les teneurs en K de l'arbuste étudié assurent les besoins recommandés pour les ruminants estimés de 6 à 8 g/kg MS (**McDowell et Valle, 2000**) et ceux des chèvres évalués de 2.2 g /kg MS (**Kessler, 1991 ; Ramirez-Orduna et al., 2005**).

Chez les vaches laitières les besoins recommandés en Na et en K sont estimés respectivement de 1,8 et 9 g /kg MS (**Bhanderi et al., 2016**).

Les oligoéléments (Cu, Zn, Mn et Fe) mesurés dans l'arbuste en question, varient d'une saison à une autre. Les taux élevés du Cu ont été enregistrés au cours de l'automne, les plus faibles en hiver, suivis de ceux de l'été. Ces teneurs sont analogues à celles obtenus dans les plantes fourragères de la même région d'étude et celles de la légumineuse *Hedysarum coronarium* poussant dans la région semi-aride Constantine (**Arab et al., 2009**).

Les concentrations en Cu obtenus dans cette étude au cours des quatre saisons assurent les besoins recommandés aux ruminants estimés de 9 à 10 mg/kg MS, à l'exception de celles de l'hiver (**Meschy, 2007 ; Abdullah et al., 2013 ; Bhanderi et al., 2016**).

Les taux du zinc obtenus sont significativement élevés ( $P < 0.05$ ) à ceux obtenus dans les arbustes fourragers du Mexique au cours des quatre saisons (**Ramirez-Orduna et al., 2005**).

Comparativement aux apports du Zn recommandés qui varient de 30 à 50 mg/kg MS, ceux obtenus au cours de l'automne et de l'été sont déficitaires. Cela pourrait s'expliquer par le taux élevé du Ca dans le sol. Une supplémentation en cet élément sera nécessaire pour les ruminants qui broutent cet arbuste.

Les taux du Mn enregistrés dans *Atriplex halimus* en question sont analogues à celles obtenus par **Yaakoub (2006)** pour le même arbuste. Cependant, ces teneurs sont relativement faibles par comparaison à celles obtenus dans *Atriplex halimus* poussant en Afrique du Sud (**Van Niekerk et al., 2004**).

Les besoins recommandés en Mn sont assurés au cours d'automne et ils sont déficitaires pour les autres saisons. Ce déficit en cet élément pourrait être dû à la nature du sol calcaire et son pH alcalin qui empêche l'absorption du Mn.

Contrairement aux oligoéléments cités précédemment, les taux de fer dans *Atriplex halimus* sont très élevés. Ces concentrations mesurées sont comparables ( $P > 0.05$ ) à celles obtenues dans les arbustes du Mexique (**Ramirez-Orduna et al., 2005**), et à celles de la *Tamaricaceae Tamarix africana* qui pousse au voisinage de l'arbuste en question (données personnelles). Cela peut s'expliquer soit par la caractéristique des arbustes qui ont la capacité d'accumuler cet élément ou par la nature du sol qui est riche en oxyde de fer. Par ailleurs, l'excès de cet élément peut pénaliser l'absorption du cuivre.

➤ **Les teneurs en minéraux majeurs et mineurs des tiges et des feuilles d'*Atriplex halimus* en fonction de la saison :**

✓ **Au cours de l'automne :**

Les teneurs en macroéléments et en oligoéléments diffèrent significativement ( $P < 0.05$ ) entre les tiges et les feuilles à l'exception des taux du rapport Ca/P, qui sont comparables ( $P > 0.05$ ) entre eux. Les feuilles sont plus chargées en minéraux majeurs et mineurs que les tiges, ce qui explique la mobilisation des différents minéraux depuis les racines vers les feuilles. A ce niveau-là il y aura déroulement du phénomène de la photosynthèse sous l'effet de la lumière solaire et en présence de  $CO_2$  et de minéraux.

Au cours de cette saison, l'animal peut assurer ces besoins en minéraux en consommant les feuilles seules, à l'exception du phosphore. Les tiges constituent une bonne source de Na, de Mn et de fer.

✓ **Au cours de l'hiver :**

Pendant l'hiver, les teneurs en K, Cu et en Fe sont similaires ( $P > 0.05$ ) entre les feuilles et les tiges. Les feuilles ont les taux les plus élevés en Ca, P, Mg, Na, Zn et en Mn et les taux les plus faibles en rapport Ca/P. Au cours de cette période, les feuilles peuvent assurer tous les besoins en minéraux à l'exception du Cu, dont les taux sont à la limite du seuil de carence. Les tiges constituent une source importante de Ca, Mg, Na, K et du fer.

✓ **Au cours du printemps :**

Seulement les taux du rapport Ca/P et du Cu sont comparables entre les tiges et les feuilles au printemps.

Comparativement aux tiges, les feuilles comportent 2 fois plus de P, K, Zn, Mn et du Fe. Le taux du Na est presque quatre fois plus élevé dans les feuilles que dans les tiges, tandis que le taux du Mg est 6 fois plus élevé. Les feuilles seules assurent les besoins recommandés chez les ruminants à l'exception du taux du Zn, qui est inférieur à la limite de carence évaluée de l'ordre de 45 mg/kg MS. Au cours de cette saison, les tiges sont déficitaires en P, Zn et en cuivre.

✓ **Au cours d'été :**

Comparativement à la saison précédente on note une baisse des taux de la majorité des minéraux, à l'exception du Ca, Ca/P, du Na et du fer qui grimpent un petit peu dans les feuilles. Pour les tiges, l'augmentation a été observée pour le Na, le K et le Zn.

De point de vue apport minéral, les feuilles sont déficitaires en P, Cu et en Zn. Par ailleurs, les tiges ont des teneurs adéquates pour le Ca/P, Mg, Na, du K et du Fe.

En récapitulatif de ce que nous avons discuté précédemment, nous constatons que dans les feuilles : les taux les plus élevés en Ca, Ca/P, Mg, Na, Zn et du fer sont enregistrés au cours de l'hiver. De plus, au cours de la même saison les taux du Ca, Ca/P, Mg et du Fe sont aussi élevés dans les tiges. Pendant le printemps, les teneurs en P dans les tiges et les feuilles sont les plus élevées. Il en est de même pour le potassium et le cuivre respectivement dans les feuilles et les tiges.

En automne, les taux du Cu et du Zn sont élevés dans les feuilles, tandis que ceux du Mn sont élevés dans les tiges. En été, nous avons enregistré les taux les plus faibles en P, Mg, et en Mn dans les feuilles. Cependant, les teneurs en Na, K et du Zn sont élevés dans les tiges au cours de la même saison.

➤ **Les teneurs en plomb et en cadmium dans les tiges et les feuilles d'*Atriplex halimus* au cours d'automne et d'hiver**

Les teneurs en Pb enregistrées au cours des deux saisons ne dépassent pas les 3 mg/kg MS. Elles sont similaires ( $P > 0.05$ ) au cours de l'automne entre les tiges et les feuilles. Cependant, une différence significative ( $P < 0.05$ ) a été constatée entre les deux parties anatomiques au cours d'hiver, dont les taux les plus élevés sont enregistrés dans les feuilles. Les taux du Cd n'ont pas été détectés, suite aux teneurs inférieures à la limite de détection (0.5 µg/l).

**Badache (2015)** rapporte que les concentrations du Pb qui varient de 5 à 10 mg/kg MS dans les parties aériennes des plantes sont des teneurs normales, et elles deviennent toxiques qu'à partir de 30 à 300 mg/kg MS. Celles du Cd sont considérées naturelles quand elles se limitent entre 0.05 à 0.2 mg/kg MS, et elles sont toxiques à partir du 5 à 30 mg/kg MS.

En prenant en considération les valeurs indiquées précédemment, nous confirmons que les taux du Pb mesurés dans *Atriplex halimus* de notre région d'étude sont naturels et reflètent ceux de la roche mère.

### **III. 1.4.2 Les paramètres physico-chimiques étudiés dans le sol :**

Le climat est fait partie des facteurs déterminants de l'évolution du sol, la pluviométrie intervient sur la biomasse végétale d'une part et sur la dynamique du calcaire et des sels en fournissant l'eau indispensable à leur dissolution, transport et re-précipitation (**Calvet, 2003**). Les régions arides et sahariennes, sont caractérisées par des sols gypseux calcaires et salins, qui ont une influence défavorable sur les propriétés physico-chimiques, notamment la disponibilité et l'absorption des éléments minéraux nécessaires pour la vie végétale (**Guimeur et Barkat, 2014**).

**Dekhinat et al. (2010)** rapportaient que les sols de la région de Biskra (Station Ain Benoui) sont peu évolués et se caractérisent par deux horizons A et C et le taux de calcaire moyen est de 19 %. De plus, le gypse est estimé de 2 %, le pH est légèrement alcalin avec 8,7 en moyenne et la matière organique est assez bien représentée (2 %). Le calcium issu des sols calcaires et gypseux très abondant dans les sols, forme avec le phosphore, des phosphates de moins en moins solubles, donc également plus difficiles à mobiliser.

➤ **Granulométrie :**

Le sol est la couche de terre plus ou moins épaisse qui recouvre les roches et au sein de laquelle, les plantes plongent leurs racines pour se nourrir. Le sol est constitué de trois phases dont les proportions, la structure et l'organisation varient d'un sol à un autre :

\* phase solide est constituée d'éléments minéraux (sables, limons, argiles, oxydes et hydroxydes métalliques) et d'une fraction organique (organismes vivants, débris végétaux et animaux, humus) ;

\* phase liquide constituée par l'eau contenue dans le sol dans laquelle sont dissoutes les substances solubles ;

\* phase gazeuse ayant une composition très proche de celle de l'atmosphère terrestre mais généralement enrichie en CO<sub>2</sub> par l'activité respiratoire des micro-organismes du sol (**Mebirouk, 2014**).

L'analyse granulométrique du sol de la région d'étude révèle une texture argilo-limoneuse. Le limon fait partie des minéraux incomplètement altérés, dénommés les éléments sableux. Par contre l'argile est issue de la partie des minéraux altérés, suite à une modification chimique des minéraux de la roche-mère en même temps qu'une diminution extrême de leur taille.

L'argile a aussi un aspect collant, se trouve aussi associée avec la silice, des cristaux de calcaire très fins (- de 2 $\mu$ ) et des oxydes de fer et d'alumine dénommés colloïdes. Les sols contenant 25 à 40 % d'argile présentent une bonne aptitude au transport de l'eau par action capillaire depuis les couches profondes, mais la vitesse est faible, donc les exigences en eau des végétaux ne sont pas couvertes par cette eau capillaire. La couleur de ces sols est plus sombre et leur agrégation est plus distincte (**Soltner, 1996**).

**Pouget (1980)** a mentionné que le sol des zones arides de l'Algérie est caractérisé par la présence de carbonate de calcium, gypse et de sels très solubles en surface. La quasi-totalité des sols de ces zones arides est calcaire dès la surface ; il en résulte des pH basiques, et des complexes absorbants saturés et la nature des roche-mères, pratiquement toujours calcaire.

✓ **Propriétés de l'argile :**

L'argile est hydrophile, elle peut être **dispersé** (mélange homogène avec l'eau) ou **floculée** (l'argile et l'eau se séparent facilement, les micelles s'agglutinant et se condensant autour des éléments sableux qui se trouvent soudés en de solides agrégats). Dans le sol la décomposition de la matière organique d'origine végétale ou animale et son humification permet l'obtention de **l'humus stable**. L'humus est un colloïde acide (n'acidifie normalement pas le sol), hydrophyle et électronégatif. Ses charges négatives sont celles des groupements COOH qui se dissocient en COO<sup>-</sup> et H<sup>+</sup>. L'argile favorise l'humification et protège l'humus contre l'attaque microbienne (**Soltner, 1996**). L'argile absorbe majoritairement les cations métalliques tels que K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup> et dans une moindre mesure les anions (**Mebirouk, 2014**).

✓ **Les carbonates :**

Les carbonates possèdent un double rôle dans les sols. D'une part, ils contrôlent partiellement le pH par leurs équilibres de dissolution, une teneur élevée rendant le sol alcalin et favorisent certains mode de fixations. D'autre part, leur surface peut être le siège de phénomène de rétention des métaux principalement par précipitation et adsorption (**Duchaufour, 1997**).

➤ **Taux de matière sèche et d'humidité du sol :**

Les échantillons du sol analysés au cours des quatre saisons sont caractérisés par des taux de MS élevés particulièrement au cours de l'été. Cela s'explique par la faible pluviométrie dans la zone d'étude. L'insuffisance des précipitations conjuguées aux fortes pertes en eau par évaporation à partir du sol font partie des facteurs qui concourent au processus de salinisation.

Le déséquilibre hydrique provoque dans le profil du sol une accumulation des sels au cours du temps sans pouvoir être lessivé par les rares eaux de pluies, ce qui conduit ces sols à devenir incultes. Les sols chargés de concentrations anormalement élevées de sels solubles, exposent les plantes à un stress permanent (**Brinis et Belkhodja, 2015**).

Le taux le plus élevé en humidité du sol enregistré a été observé au cours de l'hiver, suivis du printemps. L'eau est un élément essentiel dans le sol, elle favorise la solubilité des minéraux, ce qui augmente leur assimilabilité depuis les racines vers la partie aérienne. L'humidité du sol facilitera plus ou moins les quantités assimilables présentes dans les solutions des sols.

La biodisponibilité des substances dans le sol résulte de l'enchaînement de deux étapes et elle dépend du temps (**Calvet, 2003**) :

- **La mobilisation** des substances de nature minérale ou organique et leur passage dans la phase fluide, liquide ou gazeuse (adsorption, dissolution, diffusion moléculaire et transformations chimiques)

- **Le transport** par convection et diffusion moléculaire des substances dissoutes ou en phase gazeuse vers une membrane d'un organisme vivant (racines, microflore ou microfaune) pour avoir un effet bénéfique ou toxique après absorption et transport à l'intérieur de l'organisme

➤ **Taux de la matière minérale et de la matière organique :**

Nous constatons que les échantillons du sol de notre zone d'étude sont chargée de MM, et le taux le plus élevé a été enregistré au cours de l'automne. C'est la caractéristique du sol des zones arides.

La matière organique exerce un rôle très important sur le sol, elle améliore ses propriétés physiques (stabilité structurale, capacité de rétention en eau) et chimiques par la libération progressive des éléments nutritifs et l'augmentation de leur pouvoir absorbant en éléments minéraux apportés par les engrais

L'estimation de la MO dans le sol a été effectuée par la Perte au Feu (PF : 525°C) en anglais c'est loss on ignition (LOG). Nous avons constaté que les taux obtenus en MO sont comparables à ceux rapportés par **Temgoua et al. (2015)** au Cameroun par la même technique.

Par ailleurs, cette méthode évalue le taux de la MO par excès comparativement à la technique **Walkley-Black (1934)** décrite par **Mebirouk (2014)**. Cela peut s'expliquer par le taux élevé du calcaire dans le sol de notre région d'étude, ce qui rend cette technique non adéquate pour ce type de sol.

La technique **Walkley-Black** permet de déterminer la teneur en carbone organique directement par oxydation humide de la matière organique par le mélange dichromate de potassium/acide sulfurique puis titration de l'excès de bichromate par le sulfate ferreux en présence de l'indicateur Diphénylamine.

Les taux de matière organique enregistrés dans les régions arides au Sud de Biskra varient de 0.43 à 3.14 % avec une moyenne de 2 % **Dekhinat et al. (2010)**.

- **Effets de la matière organique sur le sol :**

La matière organique est composée de résidus végétaux et de formes plus dégradées comme l'humus. Ces résidus ont un haut pouvoir chélateur pour les métaux. Les micro-organismes du sol peuvent aussi jouer un rôle en détruisant la matière organique et libérant ainsi les minéraux chélatés (**Gros, 2002**).

Les matières organiques (MO) améliorent les qualités physiques du sol, elles améliorent la structure des sols trop légers dont elles cimentent les particules en agrégats stables, et des sols lourds dont elles diminuent l'adhésivité en les rendant plus friables. Elles régularisent l'humidité de tous les types de sols ; en favorisant l'évacuation de l'eau en excès des sols argileux, en augmentant la capacité de rétention en eau des sols sableux. La MO améliorent les qualités chimiques du sol : par sa réaction acide, ses propriétés colloïdales, et sa minéralisation continue, source d'aliments pour la plante, l'humus agit sur les caractéristiques chimiques du sol et sur la nutrition des plantes.

➤ **Le pH du sol :**

Les taux moyens du pH obtenus au cours des quatre saisons à une profondeur de 20 cm sont alcalins, ils varient de 7.97 à 8.30. L'alcalinité du sol de la région d'étude est due à la présence importante des cations bivalents dans le sol à savoir :  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ .

Ces teneurs sont comparables à celles obtenues par **Sleimi et al. (2014)** sur des échantillons de sol prélevés au centre et aux bords de la lagune Bizerte (Tunisie) à des différentes profondeurs (0-20, 20-40 et 40-60 cm). En outre, les mêmes auteurs ont montré une baisse des valeurs du pH avec l'augmentation de la salinité du sol d'une part et avec la profondeur du prélèvement effectué d'autre part.

Le pH du sol est considéré comme le principal facteur contrôlant la biodisponibilité des éléments minéraux dans le sol (**Sleimi et al., 2014**). L'excès de calcium augmente brutalement le pH, ce qui rend les oligoéléments (Mn, Fe, le bore, Cu et Zn) moins assimilables (**Soltner, 1996**).

À l'exception de phosphore, qui est très disponible dans une plage de pH de 6 à 7, les macronutriments (N, K, Ca, Mg et S) sont plus disponibles dans une gamme de pH de 6,5 à 8, alors que la majorité des oligoéléments (B, Cu, Fe, Mn, Ni et Zn) sont plus disponibles dans une gamme de pH de 5 à 7 (**McCauley et al., 2009**). En dehors de ces plages optimales, les nutriments disponibles pour les plantes sont à des quantités moindres.

Avec des valeurs de pH supérieures à 6, les oligoéléments essentiels aux végétaux précipitent sous des formes hydroxydes chélatées qui diminuent la fraction librement accessible aux racines (**Gros, 2002**). En outre, l'acidification de la rhizosphère influe positivement sur la disponibilité de nombreux nutriments et les éléments traces.

### **III. 1.4.3 Les teneurs en minéraux essentiels et non essentiels (Cd et Pb) dans le sol :**

Le sol constitue une source majeure de nutriments minéraux nécessaires aux végétaux, qui assurent leur nutrition minérale en prélevant par leurs racines des ions minéraux dissous dans la solution du sol. Cette nutrition résulte pour une large part, du fonctionnement de la

rhizosphère, cette dernière est définie comme étant le siège de processus physiques et chimiques spécifiques liés à l'alimentation hydrique et minérale des plantes (**Girard et al., 2005**).

Les éléments minéraux présents dans le sol de notre région d'étude sont importants pour le développement et la croissance des plantes. Cependant, la possibilité d'alimentation des plantes en éléments minéraux ne dépend pas de la quantité globale de ces éléments mais d'une petite fraction appelée « assimilable, disponible ou bio-disponible ». Cette fraction existe essentiellement sous forme d'ions (cations, anions) est soumise dans le sol à un certain nombre de contraintes : adsorption par les colloïdes du sol, composition de la solution du sol dont les éléments les plus perturbants sont les ions  $H^+$  et  $Ca^{++}$  (**Coïc et Coppenet, 1989**).

La différence des forces d'adsorption des colloïdes du sol vis-à-vis des divers ions de macroéléments et, corrélativement la différence de concentration de chacun de ces ions dans la solution du sol, ont pour conséquence une très grande différence dans la modalité d'alimentation de la plante vis-à-vis de chacun de ces ions. Les ions sont absorbés (sauf le  $Ca^{++}$  et le  $Mg^{++}$ ) de façon sélective et à des vitesses variables selon la nature de l'ion : cette sélectivité est due aux canaux et aux transporteurs ioniques intégrés dans la membrane plasmique des cellules épidermiques racinaires (**Boccon-Gibod, 2014**).

Trois mécanismes assurant l'alimentation des plantes dans le sol ont été décrits par **Coïc et Coppenet (1989)** :

- ✓ Interception par la racine, suite à sa croissance et sa prise de volume dans le sol.
- ✓ Déplacement de l'eau (Mass-flow) : le déplacement de l'eau (flux) du sol vers la surface racinaire permet de transporter aussi les anions et des cations dissouts dans cette eau.
- ✓ Diffusion : une diffusion de l'ion considéré vers la racine est faite suite un gradient de concentration établi entre la surface (concentration basse) et la racine.

➤ **Le phosphore assimilable :**

Le phosphore assimilable ( $P_2O_5$ ) est la fraction soluble pour les plantes. Dans notre étude cette partie est de  $78.01 \pm 32$  mg/kg. Nos résultats sont significativement élevés ( $P < 0.05$ ) comparativement à ceux obtenus dans le sol de la région aride Lovedale en Afrique du Sud de l'ordre de 14 mg/kg MS (**Van Niekerk et al., 2004**).

**Soltner (1996)** a décrit que dans le sol, le phosphore peut exister sous différentes formes telle que :

- Le phosphore dissous dans la solution du sol, qui est assimilable ;

- Le phosphore adsorbé ou auto-diffusible est plus ou moins échangeable ;
- Le phosphore peu soluble ou insoluble est une réserve très lentement utilisable ;
- Le phosphore organique, intermédiaire entre le phosphore minéral et la plante.

Dans les sols désertiques, la présence de l'arbuste *Atriplex halimus* augmente les spores du champignon mycorrhize (**He et al., 2002 ; Walker et al., 2014**), qui transforment le P organique non assimilable par les plantes en P assimilable. Cependant, ce nombre décline quand cet arbuste est soumis un stress salin (NaCl) important (**Asghari et al., 2005 ; Walker et al., 2014**).

➤ **Les teneurs en macroéléments dans le sol :**

Les éléments très fins du sol se comportent en milieu aqueux comme des colloïdes. Le complexe colloïdal argilo-humique (CAH) retient à sa surface et plus ou moins énergiquement des ions qui peuvent aussi s'échanger entre eux. Les complexes argilo-humiques (CAH) jouent un rôle important dans la nutrition minérale des plantes. Ils sont chargés négativement et sont capables de lier l'eau et des cations ( $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $H^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $NH_4^+$ ...) à leur surface. Ils sont ainsi des réservoirs de cations, constituent donc une surface d'échange cationique (CEC) (**Boccon-Gibod, 2014**). L'affinité de la liaison dépend de la nature de l'ion considéré (trivalent, bivalent, monovalent), mais aussi de la taille relative de l'ion considéré. Les cations sont adsorbés plus ou moins énergiquement dans l'ordre suivant :  $Al^{3+} > H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$  (**Lehner, 2014**).

Les teneurs saisonnières des minéraux majeurs mesurées dans le sol varient largement d'une saison à une autre à l'exception du Na, qui reste stable pendant les quatre saisons. Les taux de Ca enregistrés étaient plus élevés au cours de l'été ( $205 \pm 59$  g/kg MS), suite aux faibles précipitations et à l'accumulation de cet élément à la surface du sol.

Nos résultats montrent que les concentrations du Ca obtenus au cours d'été sont très élevées comparativement à celles obtenues au Pakistan au cours de la même saison, évaluées de  $580 \pm 0.14$  mg/kg MS (**Ghafoor et al., 2012**).

Comparativement au calcium, les taux du Mg sont faibles pendant l'été et élevés en automne suivis de l'hiver. Cela pourrait s'expliquer par la compétitivité d'absorption au niveau de rhizosphère entre les deux éléments. C'est-à-dire l'absorption des minéraux est liée d'une part à l'affinité des éléments aux colloïdes et aux facteurs physico-chimiques du sol (pH) d'autre part.

Les taux du Mg analysés dans le sol en Afrique du Sud (**Van Niekerk et al., 2004**) et ceux rapportés au Pakistan (**Ahmed et al., 2012**) sont plus faibles ( $P < 0.05$ ) comparativement à ceux de notre région d'étude, qui ont été estimés de 400 et 42 mg/kg MS respectivement.

Les concentrations du Na dans le sol sont élevées en automne et diminuent en hiver. Nous constatons que ces taux sont relativement faibles comparativement à l'arbuste étudié. Les tiges de ce dernier contiennent jusqu'à 20 g/kg MS et les feuilles comportent quatre fois plus.

Les taux faibles en Na du sol comparativement à ceux de la plante en question, sont probablement dus à la faible profondeur des prélèvements effectués, qui ne dépasse pas les 20 cm. De plus, cet arbuste se caractérise aussi par des racines très développées, qui assurent une bonne absorption de l'eau et des minéraux (jusqu'à 5 mètres). Le Na a une faible affinité aux substances colloïdales du sol, ce qui facilite son absorption de la rhizosphère par les racines de l'arbuste étudié.

Les concentrations du Na dans les différents types de sol au Pakistan sont plus faibles (210 à 735 mg/kg MS) comparativement à nos résultats (**Khan et al., 2007**).

Les mêmes observations des teneurs en Na ont été constatées pour le K, dont les taux faibles ont été enregistrés au cours de l'été suivis de l'hiver. Par ailleurs, ces taux restent supérieurs à ceux enregistrés en Afrique du Sud, qui varient de 200 et 337 mg/kg MS (**Van Niekerk et al., 2004**).

➤ **Les teneurs en oligo-éléments dans le sol:**

Les taux des oligoéléments mesurés dans notre étude sont influencés par la saison, à l'exception de ceux du Mn qui restent constants.

Les concentrations du Cu sont élevées au cours de l'automne ( $18 \pm 4.51$  mg/kg MS) et une nette diminution a été observée au cours d'été et d'hiver dont les teneurs sont respectivement de l'ordre de  $8.05 \pm 1.94$  et  $7.95 \pm 3.38$  mg/kg MS. Le taux élevé du Cu constaté au cours de l'automne peut s'expliquer par l'abondance de la forme assimilable dans la solution du sol. Sachant que la solubilité de cet élément est liée au taux de pH; et elle diminue avec l'augmentation de celui-ci.

**Khan et al. (2006)** ont rapporté que la concentration du Cu de 0.6 mg/kg MS, est considérée comme suffisante pour une bonne croissance des plantes. En se basant sur ce constat, nous déduisons que les concentrations enregistrées sont largement suffisantes pour une bonne croissance de la plante fourragère objet de notre étude. Nos résultats révèlent des taux en Cu élevés comparativement à ceux enregistrés au Pakistan (**Khan et al., 2006**; **Ahmad et al., 2012**), qui ne dépassent pas 4 mg/kg MS.

Les taux moyens en Zn du sol sont variables d'une saison à une autre ( $P < 0.0001$ ). Les concentrations les plus élevées ont été constatées au cours d'été suivies par l'hiver. **Khan et al., (2007)** ont mentionné que les concentrations seuil optimales pour la croissance des plantes, ont

été limitées à 2.5 mg/kg MS. Nos résultats obtenus dépassent largement à ceux qui ont été indiqués pour les besoins des plantes.

Contrairement au Cu et au Zn, les taux du Mn sont similaires au cours des quatre saisons, allant de  $230 \pm 43$  à  $263 \pm 68$  mg/kg MS. Les teneurs enregistrées dans notre étude sont plus élevées que celles obtenues au Pakistan (**Khan et al., 2005 ; Khan et al., 2006**) quelle que soit la saison, et elles sont faibles par rapport aux résultats obtenus au Kenya allant de 525 à 730 mg/kg MS (**Shisia et al., 2014**).

Par ailleurs, **Khan et al. (2006)** ont mentionné que la concentration du Mn de l'ordre de 5 mg/kg MS, assure une croissance optimale des plantes. Les teneurs enregistrées dans le sol de notre région d'étude, permettent d'assurer un apport optimal à l'arbuste en question.

**Gros (2002)** rapportait que une fois les éléments métalliques (Cu, Zn, Mn...) absorbés, souvent sous forme d'ions, migrent vers les parties aériennes des plantes, associé à d'autres ions, à des acides organiques ou à de petits acides aminés. Le transfert peut être limité ; ainsi, les éléments métalliques (tel que le cuivre ou le manganèse) s'accumulent dans les racines des plantes où ils peuvent atteindre un niveau potentiellement toxique. Par ailleurs, **Boccon-Bibod (2014)** mentionnait que l'oligoélément absorbé sous forme d'ion, ne migrent pas seul, mais généralement associé à des molécules qui le complexent en formant avec lui un chélate, et qui de cette manière le soustrait à des échanges et à des compétitions avec des éléments minéraux.

Les teneurs du Fe du printemps sont faibles comparativement aux autres saisons ( $P < 0.05$ ). Les taux les plus élevés varient de  $27 \pm 10$  à  $28 \pm 4.1$  g/kg MS. Ces teneurs élevées sont comparables ( $P > 0.05$ ) à celles rapportées au Kenya (**Shisia et al., 2014**). Le Fe est un élément relativement abondant dans de nombreux sols cultivés, avec une moyenne de 20 à 40 g / kg (**Colombo et al., 2013**). La concentration en Fe indiquée à titre optimale à la croissance des plantes a été estimée de 2,5 mg / kg (**Khan et al., 2006**).

Le fer est parmi les micro-éléments cationiques qui posent des problèmes d'assimilabilité concernant leur solubilité et leur valence. La solubilité de cet élément dépend essentiellement du pH (**Arab et al., 2016b**). Sa disponibilité pour les plantes diminue avec l'augmentation du pH du sol (**Rengel, 2015**). Le pH élevé favorise la formation des complexes de carbonate ou d'hydroxyle qui pourraient diminuer la disponibilité de fer pour les plantes. Le fer ferrique ( $Fe^{3+}$ ) n'existe pratiquement pas en solution, et en présence d'ions  $OH^-$ , il y a formation d'hydroxyde ferrique qui se transforme rapidement en rouille  $Fe_2O_3 \cdot x H_2O$  qui est inassimilable par la plante (**Coïc et Coppenet, 1989**).

Le fer devient soluble et assimilable pour la plante qu'après complexation à des substances organiques qui peuvent provenir des racines tel que l'acide caféique, ce qui favorise la réduction

du fer de la forme insoluble ( $\text{Fe}^{3+}$ ) à une forme soluble ( $\text{Fe}^{2+}$ ) qui est assimilable pour la plante. Les phytosidérophores (PS) libérés de l'exsudat des racines, chélatent le fer, et le complexe fer-PS est réabsorbé au niveau du poil absorbant et le fer sera libéré à l'intérieur des cellules des racines (**Boccon-Bibod, 2014**)

Des niveaux élevés de fer dans le sol de la présente étude sont probablement dus à la nature du sol, qui est riche en complexes d'oxyde et d'hydroxyde de fer 'une part, et à l'abondance de la forme assimilable d'autre part.

➤ **Les taux du cadmium et du plomb dans le sol :**

Le Cd fait partie des polluants les plus toxiques et les plus mobiles dans le système sol-plante. Le plomb est un polluant environnemental, surtout dans les sols et l'atmosphère au voisinage de sites industriels et dans les zones de fort trafic automobile (**Boufedda, 2015**). Naturellement, le cadmium n'est pas très abondant dans la croûte terrestre. Dans les sols non pollués, le contenu en cadmium est généralement entre 0,1 et 2 ppm et la plupart du temps il est inférieur à 1 ppm (**Kabata-Pendias et al., 2001**).

Les apports naturels de plomb dans l'environnement ne représentent qu'environ 4 % des émissions totales et se font essentiellement sous forme inorganique (**Matias, 2008**). Le plomb dans le sol se trouve sous forme ionique, dissoute ou liée plus ou moins aux particules du sol. Il est donc plus difficilement extractible par les plantes. Une fois pénétrée dans le système racinaire, la très grande majorité du plomb va y rester. Bien qu'il existe quelques espèces capables de transférer de grandes quantités de ce métal vers les parties aériennes, la racine agit comme une barrière très efficace contre les mouvements du plomb à l'intérieur de la plante. Ce phénomène de barrière n'est pas commun à tous les éléments traces métalliques (ETM), et son intensité est très spécifique au plomb (**Pourrut, 2008**).

Dans notre étude, les teneurs moyennes du Cd et du Pb mesurées au cours de l'automne et de l'hiver sont similaires. Les concentrations du Pb varient de 4 à 7 mg/kg MS, celles du Cd sont de 0.1 à 0.322 mg/kg MS. La concentration de 10 mg/kg de Pb est tolérable par les végétaux. Par ailleurs les concentrations allant de 30 à 300 mg/kg sont très toxiques (**Kabata-Pendias et Pendias, 1992 ; Badache, 2015**).

Ce polluant, affecte le métabolisme global de la plante, particulièrement la photosynthèse, inhibe l'élongation racinaire et peut causer des dommages membranaires. En outre, il a une forte affinité pour les protéines qui possèdent des groupements thiols ou des cofacteurs métalliques (métallo-enzymes) (**Pourrut, 2008 ; Babou, 2014**).

Comparativement aux valeurs rapportées par les différents auteurs, nous confirmons que les taux du Pb et du Cd mesurés dans le sol de notre région d'étude sont ceux de la roche mère.

➤ **Biodisponibilité du cadmium et du plomb :**

La biodisponibilité d'un métal signifie son accessibilité pour les organismes vivants. Plusieurs paramètres physico-chimiques peuvent jouer un rôle important dans la biodisponibilité du Cd et du Pb dans la solution du sol et donc dans leur biodisponibilité pour les organismes vivants. Dans la nature, le Cd est généralement lié au plomb et au zinc, et se présente sous forme de sulfure (**Gros, 2002**). Il se trouve à l'état de traces dans l'écorce terrestre.

Le plomb est un constituant important de l'écorce terrestre avec des teneurs atteignant 16 mg/kg de sol (**Gros, 2002**). Il est essentiellement sous forme minérale et le composé majeur identifié dans le sol est le sulfate de plomb, relativement insoluble dans l'eau.

Les métaux (Pb et Cd) entrent par les racines par voie symplastique (en traversant les membranes cellulaires) et apoplastique (par les espaces intracellulaires) (**Tremel-Schaub et Feix, 2005**). Une fois dans le xylème, les métaux sont transportés vers les feuilles où ils peuvent être séquestrés dans différents compartiment cellulaires (cytosol, paroi cellulaire, vacuole) ou être volatilisés par les stomates (**Badache, 2015**).

Dans les sols calcaires, la faible solubilité du carbonate de cadmium ( $\text{CdCO}_3$ ) limite la concentration des ions libres du  $\text{Cd}^{2+}$  dans la solution du sol. L'adsorption des métaux aux argiles, aux oxydes de fer et de manganèse et aussi au carbonate de calcium permet une grande mobilité de ces métaux dans le sol mais cela limite leur biodisponibilité et leur distribution.

Le pH est un des facteurs déterminants de la mobilité des métaux. La diminution du pH favorise la mobilité de la plupart des métaux (Cd et Pb) par la mise en solution des sels métalliques ou la destruction de la phase de rétention. Ce qui facilite leur passage à travers les racines vers les parties aériennes.

Ceci pourrait être expliqué par le fait qu'à faible pH, les protons  $\text{H}^+$  qui sont en concentration élevée dans la solution du sol vont se fixer sur les colloïdes à la place des ions métalliques ce qui augmente la concentration des ions métalliques libres accessibles pour l'absorption racinaire (**Gros, 2002**). Les composés organiques ont une grande affinité vis-à-vis des métaux, ce qui limitent leur disponibilité, en plus leur complexation avec des ligands inorganiques (minéraux) réduit ainsi leur solubilité.

**Sauvé et al. (2000)** ont montré que la rétention du Cd par le sol était 30 fois plus élevée dans un sol riche en matière organique que dans un sol minéral. Par conséquent, une diminution de la biodisponibilité de cet élément sera constatée. L'augmentation de la température favorise l'absorption du Cd et du Pb par les plantes. La biodisponibilité du cadmium est conditionnée par

son environnement chimique. En fait, une augmentation de calcium dans le milieu conduit à une diminution de l'absorption de cadmium, suggérant une compétition entre  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Cd}^{2+}$  au niveau de la surface racinaire (**Kim et al., 2002 ; Sarwar et al., 2010**).

Par ailleurs, il est également connu que le chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ) augmente la biodisponibilité des métaux lourds dans le sol. En effet, les ions chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) forment des complexes stables avec les ions  $\text{Cd}^{2+}$ . Ce processus de complexation semble augmenter la mobilité des ions  $\text{Cd}^{2+}$  dans le sol ainsi que leur biodisponibilité (**Ghnaya et al., 2005**).

De ce fait, l'enrichissement du sol en  $\text{NaCl}$  stimule le prélèvement de Cd par les plantes (**Xu et al., 2010**). Cependant, l'étude de **Badache (2015)** a montré qu'un traitement salin combiné à la présence de Cd améliore la production de la biomasse ainsi que le fitness de la plante *Atriplex nummularia*.

De plus, la salinité affecte de manière significative l'accumulation et la translocation du Cd des racines vers les parties aériennes de la plante. Néanmoins, le niveau de toxicité du Cd dans les feuilles des plantes n'est pas atteint ; ceci suggère que l'*A. nummularia* utilise un mécanisme d'exclusion afin d'éliminer l'excès des métaux de ses tissus sensibles comme un mécanisme possible de détoxification.

Une exposition des plantes au plomb perturbe le prélèvement et la translocation des éléments essentiels notamment le  $\text{Ca}^{2+}$  et les cations suivants : le  $\text{Mg}^{2+}$ , le  $\text{K}^+$ , le  $\text{Mn}^{2+}$ , le  $\text{Zn}^{2+}$ , le  $\text{Cu}^{2+}$ , le  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$ ) et également des anions. Par ailleurs, une diminution du taux de calcium dans les feuilles et les racines chez *Atriplex halimus* et *Atriplex canescens* stressées par du plomb a été constatée, ceci pourrait résulter d'un antagonisme entre le Pb et le Ca (**Babou, 2014**). Puisque, ce métal est un élément non essentiel et ne possède pas des canaux spécifiques sur la membrane cellulaire, et par conséquent, il emprunte les canaux calciques.

En outre, le cadmium est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en interférant avec l'assimilation de certains éléments essentiels (fer, magnésium, calcium, cuivre, manganèse), soit par substitution, ou par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire (**Nedjimi, 2009**).

#### **III. 1.4. 4 Etude des corrélations entre les minéraux du sol et de ceux de l'*Atriplex halimus***

Les teneurs en Mg et en K du sol et celles de l'*Atriplex halimus* varient dans le même sens, et une corrélation linéaire positive a été observée. Cela s'explique par l'abondance des deux éléments dans la solution du sol sous une forme assimilable, ce qui permet leur passage depuis les racines vers la partie aérienne de l'arbuste étudié.

De plus, des corrélations significatives ont été constatées entre les taux des oligoéléments du sol et ceux de l'*Atriplex halimus* à l'exception du manganèse.

**CONCLUSION GENERALE**

**ET**

**PERSPECTIVES**

## Conclusion générale et perspectives

Les objectifs de ce travail de thèse étaient d'évaluer les teneurs en minéraux majeurs (Ca, P, Mg, Na et K) et mineurs (Cu, Zn, Mn et Fe) de l'arbuste *Atriplex halimus* et du sol en région aride (El haouche et Essaada au Sud-Est de Biskra), mais aussi d'évaluer les taux des métaux (Cd et Pb) dans les mêmes matrices.

Pour cela, des démarches d'échantillonnages et analytiques ont été mises en place sous forme de deux protocoles expérimentaux, pour obtenir les résultats les plus représentatifs possibles.

À l'issue de cette étude, les principales conclusions peuvent être résumées comme suit :

### ➤ **Les caractéristiques physico-chimiques du sol de la région d'étude :**

Les analyses effectuées sur le sol révèlent qu'il est de texture argilo-limoneuse, un pH alcalin, un faible taux d'humidité qui ne dépasse pas 4 % au cours de l'hiver. Les taux de la MS et de la MM sont plus élevés respectivement en été et en automne.

### ➤ **Les concentrations en minéraux majeurs et mineurs dans le sol :**

Les teneurs en minéraux majeurs et mineurs du sol sont variables d'une saison à une autre ( $P < 0.05$ ) à l'exception du sodium et du manganèse.

Au cours de l'été nous avons enregistré les taux les plus élevés en Ca, en zinc et en fer d'une part, et les taux les plus faibles en Mg, Na, K, Cu et en Mn.

Au regard des valeurs des minéraux majeurs et mineurs enregistrées, nous considérons que le sol étudié constitue une source intéressante dans l'approvisionnement des nutriments aux plantes fourragères vivaces et éphémères.

D'après la littérature, les taux enregistrés en minéraux majeurs et mineurs du sol sont des teneurs adéquates pour une croissance optimale des plantes.

### ➤ **Teneurs en Cd et en Pb du sol :**

Les taux enregistrés du Cd et ceux du Pb sont similaires ( $P > 0.05$ ) au cours des deux saisons (automne et hiver). Ce sont des teneurs naturelles qui reflètent le fond géochimique de la roche mère.

➤ **L'évaluation des teneurs en minéraux majeurs et mineurs dans *A. halimus* dans les tiges et les feuilles :**

Cette détermination révèle que les taux moyens des différents minéraux mesurés pendant les dix mois sont plus élevés ( $P < 0.05$ ) dans les feuilles que dans les tiges, à l'exception des taux du K et ceux du rapport Ca/P. Les valeurs de ce rapport étaient élevées au cours du mois de mai. Les concentrations du Cu sont similaire ( $P > 0.05$ ) entre les feuilles et les tiges.

➤ **La détermination des minéraux majeurs et mineurs dans les cinq fractions des feuilles et des tiges :**

Les teneurs moyennes des minéraux majeurs enregistrées dans les cinq fractions des feuilles sont généralement comparables ( $P > 0.05$ ). Par ailleurs, la fraction I apicale révèle le taux le plus faible en Ca et en rapport Ca/P respectivement  $9.2 \pm 2.7$  g/kg MS et  $3.10 \pm 2.1$ .

En revanche, les taux moyens des mêmes minéraux majeurs enregistrés dans les cinq fractions des tiges diffèrent significativement ( $P < 0.05$ ) et une diminution a été constatée de la fraction I apicale vers la fraction V basale. A contrario, les taux du P mesurés sont analogues ( $P < 0.05$ ) entre les cinq fractions des tiges.

En ce qui concerne les oligoéléments mesurés dans les différentes fractions des feuilles et des tiges, nous constatons des teneurs comparables ( $P > 0.05$ ) à l'exception du fer dans les fractions des feuilles, et du cuivre et du zinc dans celles des tiges.

➤ **Etude des corrélations entre les minéraux dans *Atriplex halimus***

L'étude des relations entre les éléments majeurs indique des corrélations significatives ( $P < 0.05$ ) positives entre le magnésium et le calcium ( $r = 0.4735$ ) ; le sodium et le calcium ( $r = 0.2095$ ) ; le phosphore et le magnésium ( $r = 0.3919$ ) ; le sodium et le magnésium ( $r = 0.5521$ ) et entre le sodium et le phosphore ( $r = 0.3601$ ).

Les corrélations établies entre les oligo-éléments étudiés révèlent, des relations positives ( $P < 0.05$ ) entre le cuivre et le zinc ( $r = 0.4928$ ) ; le zinc et le fer ( $r = 0.2871$ ) ; le manganèse et le zinc ( $r = 0.3744$ ) et entre le manganèse et le fer ( $r = 0.6888$ ). Ce qui suggère que ces éléments ont un comportement et un métabolisme analogues compte tenu de leurs structures chimiques correspondants aux ions divalents.

➤ **Les teneurs moyennes mensuels du Cd et du Pb dans les tiges et les feuilles de l'*Atriplex halimus* :**

Les concentrations mesurées en Pb et en Cd dans les feuilles et les tiges sont comparables ( $P < 0.05$ ). Les taux du Cd varient de 0.013 à 0.531 mg/kg MS pour les feuilles, et de 0.018 à 0.462 mg/kg pour les tiges. Les concentrations du Pb sont de l'ordre de 0.72 à 13.52 et de 0.03 à 5.84 mg/kg MS dans les feuilles et les tiges respectivement. Les valeurs enregistrées sont considérées comme des teneurs naturelles non nocives pour les ruminants qui broutent cet arbuste.

➤ **Les teneurs saisonnières en MS, humidité, MM et MO dans *Atriplex halimus* au cours des quatre saisons :**

Les taux moyens de la MS enregistrés sont élevés au cours du printemps pour la plante entière et les tiges. Au cours de l'été les feuilles ont le taux le plus élevé en MS. Les taux d'humidité ne dépassent pas 7 % révélés au cours de l'automne. Les feuilles de l'arbuste étudié sont plus chargées en MM notamment en été (19 %). Par contre, les tiges sont plus riches en MO au cours du printemps et de l'hiver.

➤ **Les taux moyens en minéraux essentiels et non essentiels au cours des quatre saisons dans *Atriplex halimus* :**

L'effet saison a été constaté pour tous les minéraux étudiés ( $P < 0.001$ ) dans la plante entière, à l'exception des taux du Na qui restent invariables ( $P > 0.05$ ). La répartition des différents éléments minéraux entre les feuilles et les tiges montre une différence significative ( $P < 0.01$  ;  $P < 0.001$ ) ; les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans les feuilles, qui peuvent atteindre le double ou le quadruple et voire plus.

Les teneurs moyennes du K et du Cu sont analogues ( $P > 0.05$ ) au cours de l'hiver et de l'été. Les taux du rapport Ca/P sont similaires ( $P > 0.05$ ) en automne et au printemps. Pour le fer Les concentrations sont comparable en hiver ( $P > 0.05$ ).

Les concentrations en minéraux majeurs enregistrées dans la plante entière peuvent satisfaire les besoins recommandés chez les différentes catégories des ruminants (caprins, ovins, bovins, camélidés, vaches en gestation et en lactation), à l'exception du P qui nécessite une supplémentation au cours des quatre saisons.

Le fer est l'oligoélément le plus abondant dans la plante entière *Atriplex halimus*. Les taux obtenus assurent largement les besoins recommandés (30 à 35 mg/kg MS). Les teneurs élevées enregistrées peuvent agir négativement sur le métabolisme des autres oligo-éléments particulièrement le cuivre.

Les taux de cuivre enregistrés dans la plante entière, assurent les besoins recommandés (10 mg/kg MS) au cours de l'automne et du printemps. En été les taux enregistrés sont à la limite de carence (7 mg/kg).

Les concentrations du Zn révélés dans l'arbuste en question peuvent assurer les besoins recommandés (30 à 50 mg/kg MS), au cours d'hiver et d'été. Une supplémentation en cet élément est nécessaire pour les autres saisons.

Les teneurs moyennes en Mn enregistrées assurent les besoins recommandés (30 à 50 mg/kg) uniquement au cours de l'automne. Les taux obtenus au cours des autres saisons assurent les besoins recommandés chez les chèvres comme il a été rapporté par **Ramirez-Orduna et al. (2005)**.

Contrairement aux taux notés dans la plante entière, les feuilles révèlent des apports très satisfaisant aussi bien en minéraux majeurs que mineurs. De plus, la palatabilité des feuilles de l'arbuste étudié est plus élevée que celles des tiges.

Les teneurs moyennes en Pb dans *Atriplex halimus* au cours de l'automne et de l'hiver sont tout à fait naturelles et ne posent pas d'effets nocifs sur la santé des ruminants qui le consomment. Une différence significative ( $P < 0.05$ ) a été constatée entre les taux du Pb des feuilles et celles des tiges au cours de l'hiver.

➤ **Les corrélations entre les différents minéraux du sol et ceux de l'*Atriplex halimus* :**

Des corrélations significatives ( $P < 0.01$ ) ont été constaté entre les taux du Mg, du K et du Cu du sol et ceux de l'arbuste *Atriplex halimus*. Cela suggère l'importance de la forme assimilable de ces minéraux dans la solution du sol, ce qui favorise leur prélèvement par la plante.

Au terme de cette conclusion, nous disons que la plante *Atriplex halimus* présente un réel intérêt de point de vue nutritionnel et environnemental. Elle a la capacité de tolérer les sels (NaCl) et par conséquent de vivre sur les sols halomorphes. Cette capacité est basée sur une régulation très fine de la concentration et de la distribution des ions. Les taux du Na élevés sont accumulés au niveau des vésicules à sel des feuilles, ce qui constitue un mécanisme d'adaptation aux taux élevés en cet élément, pour un bon réajustement osmotique.

Elle peut être utilisé comme moyen de lutte contre l'érosion, la désertification et dans la réhabilitation des terres dégradées. Ces caractéristiques font de l'*Atriplex halimus* une excellente espèce pour la réhabilitation des zones dégradées pastorales.

## Perspectives

Au regard des principaux résultats obtenus au terme de cette étude, de multiples pistes s'ouvrent pour des recherches futures. Il serait intéressant d'étudier la palatabilité de l'arbuste *Atriplex halimus* en mettant en œuvre un protocole expérimental rigoureux et d'étudier les relations entre qualité nutritionnelle et performance zootechniques chez les animaux brouteurs de l'arbuste en question.

En plus de ses potentialités fourragères très intéressantes dans l'alimentation des ruminants, *Atriplex halimus* est considérée parmi les arbustes les mieux adaptés aux sols pauvres des zones arides.

Face aux changements climatiques contraignants, il convient de réfléchir aux stratégies possibles pour mettre en valeur les sols pauvres et dégradés. Des investigations sont nécessaires pour comprendre les mécanismes mis en jeu par les plantes pour s'adapter à ces nouvelles conditions environnementales.

L'introduction des plantes halophytes telles que *Atriplex halimus* constitue une approche prometteuse pour la valorisation et la réhabilitation des zones marginales et non favorables aux différentes cultures destinées à la consommation humaine.

En outre, cet arbuste constitue un meilleur moyen pour la désalinisation du sol d'une part, et dans la dépollution des zones contaminés par les métaux lourds d'autre part.

Il semble également que la flore halophyte colonisant les bordures de lagune, peut changer les caractéristiques physico-chimiques du sol par l'accumulation des éléments traces et la sécrétion des composés organiques capables de complexifier ces éléments. Ces propriétés font de ces plantes des candidats potentiels pour la restauration et la réhabilitation des sols pollués par les éléments traces métalliques.

Une bonne connaissance des facteurs de l'environnement et ceux propres à la végétation des zones arides permettraient de définir des stratégies d'exploitations optimisant l'utilisation des ressources naturelles en garantissant leur pérennité.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

### Références bibliographiques

1. **Abbad A., Cherkaoui M., Wahid N, El HadramiA., Benchaabane A., 2004.** Variabilités phénotypique et génétique de trois populations naturelles d'*Atriplex halimus*. C. R. Biologies 327, 71-380.
2. **Abdullah M., Ahmead Khan., R., Yaqoob S., Ahmad M., 2013.** Mineral Profile of Browse Species Used as Feed by Grazing Livestock in Cholistan Rangelands, Pakistan. *Pakistan Journal of Nutrition*, 12 (2): 135- 143.
3. **Afri-Mehennaoui F-Z., Mehennaoui S., 2004.** Comparaison de trois techniques d'extractions pour la détermination des éléments traces métalliques dans les sédiments de l'Oued Rhumel et son affluent l'Oued Boumerzoug zone urbaine (Constantine). *Sciences et Technologie*, 21 : 29-38.
4. **Ahmad K., Khan Z-I., Shaheen M., Seidavi A., 2012.** Dynamics of magnesium, copper and zin from soil to forage grown in semarid area in Sargodha, Pakistan. *Legume Res.*, 35 (4): 294-302.
5. **Ammar H., Lopez S., Gonzalez J-S., 2005.** Assessment of the digestibility of some Mediterranean Shrubs by *in vitro* techniques. *Animal Feed Sciences and Technology*, 119, 223-331.
6. **A. N.A.T., 2002.** Agence nationale de l'aménagement du territoire.
7. **Arab H., 2006.** Evaluation de la valeur nutritive des principaux fourrages des zones arides et semi-aride. Mémoire de Magister en Sciences Vétérinaire, Université de Batna, 122p.
8. **Arab H., Haddi M.L., Mehennaoui S., 2009.** Evaluation de la valeur nutritive par la composition chimique des principaux fourrages des zones arides et semi-arides en Algérie. In : *Sciences et Technologies*, C, 30. p. 50-58.
9. **Arab H., Haddi M.L., Mehennaoui S., 2016a.** *Atriplex halimus*: halophyte plant as potential forage for ruminants in the arid area of South-East Algeria. In: *Options Méditerranéennes*, A, no. 114, Ecosystem service and socio-economic benefits of Mediterranean grasslands, 87-90.
10. **Arab H., Haddi M.L., Boudaoud A., Mehennaoui S., 2016b.** Seasonal variation of Cu, Zn, Mn and Fe levels in soil and *Atriplex halimus* in arid zones of South-East Algeria. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical*, ISSN: 0975-8585, 7 (6): 1727-1733.
11. **Asghari H. R., Marschner P., Smith S.E., Smith F. A., 2005.** Growth response of *Atriplex nummularia* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi at different salinity levels. *Plant Soil*, 273, 245-256.
12. **Auza N., 1983.** Le cuivre chez les ruminants, une revue. *Ann. Rech. Vet.*, 14, 21-37.

- 13. Baba Sidi- Kaci S., 2010.** Effet du stress salin sur quelques paramètres phoenologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'*Atriplex* en vue d'une valorisation agronomique. Mémoire de Magister, Université de Ouargla. 133p.
- 14. Babou F.Z., 2014.** L'action du plomb sur les marqueurs de résistance d'*Atriplex halimus* L. et d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Mémoire de Magister. Université d'Oran. 93p.
- 15. Badache K., 2015.** Modifications physiologiques et biochimiques observées chez les plantes en C<sub>4</sub> soumises à un stress métallique (Cd). *Thèse de doctorat, Université de Annaba*, 129p.
- 16. Baize D., 2000.** Guide des analyses en pédologie : choix, expression, présentation, interprétation, INRA. Paris, 257p.
- 17. Baker D. H., Ammerman C. B., 1995.** Copper bioavailability. In: *Bioavailability of Nutrients for Animals Aminoacids, Minerals, and Vitamins*. (C.-B. Ammerman, D.-H. Baker, A.-J. Lewis, eds.), Academic Press, 127-156.
- 18. Bazri K., Ouahrani G., 2015.** Contribution à une analyse de la dynamique de la végétation des parcours steppiques dans la région de Biskra au Sud-est Algérien. *European Scientific Journal*, 11 : 32, 1857 – 1881.
- 19. Belkhodja M. and Bidai Y., 2004.** Réponse des grains d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, 15 (4), 331-335.
- 20. Belkhodja M. and Benlaldj A., 2007.** The eco physiological interest of halophytic plants in the rehabilitation of arid and semi-arid areas in Algeria. *African Crop Science Conference Proceeding*, 8, 1699-1702.
- 21. Bencherif S., 2011.** L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne Évolution et possibilité de développement. *Doctorat ParisTech. AgroParisTech*. 295p.
- 22. Bendaly A., Messedi D., Smaoui A., Ksouri F., Bouchereau A., Abdelly C., 2016.** Physiological and leaf metabolome changes in the xerohalophyte species *Atriplex halimus* induced by salinity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 103: 208-218.  
Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/plaphy](http://www.elsevier.com/locate/plaphy).
- 23. Benderradji M.E., Alatou D., Arfa A. M.T., Benachour K., 2006.** Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation Impact du phénomène en Algérie. *NEW MEDIT.*, 4, 15-22.
- 24. Ben Hassine A., Bouzid S., 2008.** Evaluation des capacités de résistance d'*Atriplex halimus* L. face au cadmium. *Geo- Eco- Trop*, 32: 17-20.

- 25. Benz S-A., 1995.** Magnesium bioavailability. In: *Bioavailability of Nutrients for Animals Aminoacids, Minerals, and Vitamins*. (C.-B. Ammerman, D.-H. Baker, A.-J. Lewis, eds.), Academic Press, 201-238.
- 26. Bhanderi B. M., Groswami A., Garg M. R., Samanta S., 2016.** Study on minerals status of dairy cows and their supplementation through area specific mineral mixture in the state of Jharkhand. *Journal of Animal Science and technology*, 58 (42): 1-8. DOI 10. 1186/s40781-016-0124-2.
- 27. Bismuth C., Baud F., Conso F., 2002.** Toxicologie Clinique-Flammarion Médecine-Sciences, 5<sup>ème</sup> édition, Paris, 1092p.
- 28. Bisson M., Houeix N., 2014.** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Institut National de recherche et de sécurité (INRS)-France.
- 29. Boccon-Gibod J., 2014.** Connaître la nutrition minérale des végétaux pour bien fertiliser. *Botanique-Jardins de France 631.Septembre-Octobre*, 45-47.
- 30. Bonet A., 2011.** Effets du cadmium sur l'expression d'enzymes de biotransformation au cours de la différenciation entérocytaire. Maîtrise en biologie. Université du Québec à Montréal, 131p.
- 31. Bonhomme A., Durand M., Dumay C. H., Beaumatin P., 1979.** Etude in vitro du comportement des populations microbiennes du rumen en présence de zinc sous forme de sulfate. *Ann. Biol. Anim. Biophys.*, 19(3B) : 937-942.
- 32. Bouchoukh I., 2010.** Comportement écophysiological de deux chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin. Mémoire de Magister 205/Mag/0.09/SN. Université de Constantine. 164p
- 33. Boufedda N., 2015.** Modification biochimiques, hématologiques et interactions avec les éléments essentiels (Zn et Cu) chez la brebis de la race Ouled-Djellal, après une exposition réitérée au plomb et /ou au cadmium. Mémoire de Magister, Université de Batna, 120 p.
- 34. Boussaid M., Ben Fadhel N., Zaouali Y., Ben Salah A., Abdelkefi A., 2004.** Plantes pastorales en milieux arides de l'Afrique du Nord. In : Ferchichi A (comp.), Ferchichi A. (collab.). Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens. Zaragoza : CIHEAM, *Options Médit.*, 62, 55-59.
- 35. Bouzaida Y., Debbakh Z., 2007.** Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur la chlorophylle foliaire chez *Atriplex halimus L.* et *Atriplex canescens* (pursh) Nutt. Mémoire de fin d'étude. Université d'Ouargla. 77p.

36. **Bremner I., 1978.** Cadmium toxicity. *World Review of Nutrition and Dietetics* 32, 165–197.
37. **Brinis A., 2010.** Evaluation de la valeur nutritive d'*Atriplex halimus* L. conduite sous contrainte salin. Mémoire de Magister. Université d'Oran. 86p.
38. **Brinis A. Belkhodja M., 2015.** Effet de la salinité sur quelques traits physiologiques et biochimiques chez *Atriplex halimus* L. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 31 : 42-51.
39. **Broudiscou L.P., Papon Y., Broudiscou A.F., 1998.** Effets de la supplémentation minérale sur le métabolisme azoté des micro-organismes du rumen, étude en fermenteur à effluent double. *Renc. Rech. Ruminant.*, 5, 294p. <http://prodinra.inra.fr/record/52266>.
40. **Broudiscou L.P., Papon Y., Broudiscou A.F., 1999.** Effects of minerals on feed degradation and protein synthesis by rumen microorganisms in a dual effluent fermenter. *Reprod. Nutr. Dev.*, 39 : 255-268.
41. **Brun A., 1980.** Effets comparés de différences de concentrations de NaCl sur la germination, la croissance, et composition de quelques populations de luzernes annuelles d'Algérie. Thèse doctorat 3ème cycle. Montpellier.
42. **Calvet R., 2003.** Le sol propriétés et fonctions Tome 2 Phénomènes physiques et chimiques Applications agronomiques et environnementales. Editions France Agricole, 511p.
43. **Casenave P., 2005.** Intérêt de l'administration orale de potassium pour le traitement de l'hypokaliémie chez les bovins, Thèse de Doctorat : Tou 3-4054, 100p.
44. **CEAEQ (centre d'expertise en analyse environnementale du Québec), 2003.** Méthode d'analyse Détermination de la matière organique par incinération : méthode de perte au feu (PAF), MA. 1010-PAF 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec, 9p.
45. **CEVA, 2005.** Les halophytes : plantes des milieux salés. Algo Rytme, N° 69, 1<sup>er</sup> trimestre, 8p.
46. **Chehma A., Gaouar A., Semadi A., Faye B., 2004.** Productivité fourragère des parcours camelins en Algérie cas des pâturages à base de « Drinn » *Stipagrostis pungens* (Desf.). *Sciences & Technologie C.*, 21 : 45-52.
47. **Chehma A., 2005.** Etude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara septentrionale Algerien cas des régions de Ouargla et Ghardaia. *Thèse de Doctorat, Université Annaba Département de Biologie.* 178p.
48. **Chesters J. K., 1997.** Zinc. In: *Handbook on Nutritionally Essential Minerals* (B. L. O'Dell, R. A. Sunde, eds.), Marcel Dekker, New York, 185-230.

- 49. Chester-Jones H., Fontenot J.P., Veit H.P., Webb K.E., 1990.** Physiological effects of feeding high levels of magnesium to steers. *J. Anim. Sci.*, 68, 4400-4413.
- 50. Chretien D., 1992.** La résistance au sel chez le jojoba (*Simmondsia chinensis* LS) : croissance et modifications du contenu lipoprotéique de cals cultivées en présence d'une teneur élevée en NaCl. *Thèse doct.* Univ. Paris VI, 144 p.
- 51. Coïc Y et Coppenet M., 1989.** Les oligo-éléments en agriculture et élevage, INRA, Paris, 114p.
- 52. Colombo C., Palumbo G., He J-Z., Pinton R., Cesco S., 2013.** Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants, and microbes. *J. Soils Sediments*, DOI 10.1007/s11368-013-0814-z.
- 53. Das P., Samantaray S., Rout G.R., 1997.** Studies on cadmium toxicity in plants: A review. *Environ. Pollut.*, 98: 29-36.
- 54. Deghrouche K., 2011.** Etude de certains paramètres zootechniques et du métabolisme énergétique de la brebis dans les régions arides (Biskra), *Thèse de Doctorat en Sciences Vétérinaire, Université de Batna*, 255 p.
- 55. Dekhinat S., Bensaid R., Bensid Z., Koreib F., Mouna Y., 2010.** Analyse de la variabilité spatiale de la salinité des sols dans une palmeraie Algérienne (Biskra, Algérie). *Sciences et Technologie D- 31* : 9-14.
- 56. Delphine D., 2001.** Intoxication par le plomb chez les bovins : Données bibliographiques et présentation des résultats du laboratoire de toxicologie de Lyon de 1998 à 2001. *Thèse doctorat, Université Claude Bernard- Lyon*, 187 p.
- 57. Djaalab I., 2011.** Statut mineral des brebis reproductrices en relation avec leurs rations alimentaires. Mémoire de Magister Université de Batna, 147 p.
- 58. Djebaili S., 1984.** Steppe Algérienne Phytosociologie et écologie. O.P.U. Alger, 177 p.
- 59. Duchaufour P., 1997.** Abrégé de pédologie : Sol, Végétation, Environnement. 5<sup>ème</sup> Ed0 Masson, 520 p.
- 60. Durand M., Kawashima R., 1980.** Influence of minerals in rumen microbial digestion. In: *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants* (Y. Ruckebusch, P. Thivend, eds.), MTP, Lancaster, UK, 375-408.
- 61. Durand M., Komisarczuk S., 1988.** Influence of major minerals on rumen microbiota. *J. Nutr.*, 118, 249-260.

- 62. Elmer P., 1994.** Analytical methods for atomic absorption spectrometry. The Perkin Elmer Corporation, USA. 300 p.
- 63. El-Shatnaoui M. K. J and Mohawesh Y. M., 2000.** Seasonal chemical composition of saltbush in semiarid grasslands of Jordan. *J. Range Manage.* 53: 211-214.
- 64. Ewing W. N., Charlton S. J., 2005.** The Minerals Directory, Context, Packington, UK, pagination multiple.
- 65. Faixova Z., Faix S., 2002.** Influence of metal ions on ruminal enzyme activities. *Acta Veterinaria Brno.*, 71: 451-455.
- 66. Faiz H., 2011.** Etude par spectroscopie RMN du carbone 13 de la toxicité métabolique du cadmium dans les tubules rénaux proximaux murins et humains. *Diplôme de Doctorat*, Ecole Doctorale Interdisciplinaire Science-Santé, Université Claude Bernard Lyon, 95 p.
- 67. 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.
- 68. FAO., 2005.** "Thésaurus multilingue du foncier". 2ème Édition.
- 69. Faroon O., Ashizawa A., 2012.** Toxicological profile for cadmium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)/ Environmental Toxicology Branch and the American (ACOEM). USA. 487p.
- 70. Fodor F., 2002.** Physiological responses of vascular plants to heavy metals. In: *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants*, Prasad M.N.V. et Strzalka K. eds, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 149-177.
- 71. Fonty G., Forano E., Gaudet G., Komisarczuk S., Gouet P., 1988.** Données nouvelles sur les bactéries cellulolytiques du rumen. *Reprod. Nutr. Dev.*, 28 (Suppl. 1), 19-32.
- 72. Forsberg C. W., 1978.** Effects of heavy metals and other trace elements on the fermentative activity of the rumen microflora of functional important rumen bacteria. *Can. J. Microbiol.* 24 : 298-306.
- 73. Franclet A., Le Houérou N. H., 1971.** Les *Atriplex* en Tunisie et en Afrique du Nord, *Doc. Tech.*, N° 7, FAO, 240p.
- 74. Gensheng W., Bruce A.F., 2008.** Roles of biomarkers in evaluating interactions among mixtures of lead, cadmium and arsenic. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 233: 92-99.

- 75. Ghnaya T., Nouairi I., Slama I., Messedi D., Grignon C., Abdelly C., Ghorbel M.H., 2005.** Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum*, *Journal of Plant Physiology*, 162: 1133-1140.
- 76. Ghafoor A., Mahmood A., Mahmood Qureshi T., 2012.** Periodic Transfer of Calcium Concentration from Forage Plants and Soil to Small Ruminants. *Pakistan J. Zool.*, 44 (4): 963 - 968.
- 77. Ghazanfar S., Latif A., Mirza I. H., Nadeem M. A., 2011.** Macro-minerals concentrations of major fodder tree leaves and shrubs of District Chakwal, Pakistan. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10 (5):480-484.
- 78. Girard M.C., Remy J.C., Berthelin J. et Morel J.B., 2005.** Sol et environnement ; Ed; Dunod. Paris; 816p.
- 79. Grant C.A., Bailey L.D., Selles F., Uckley W.T., 1995.** Cadmium accumulation in crops, Canadian Network of Toxicology Centres National Workshop on Cadmium Transport in to Plants, Work Shop Proceedings, Ottawa, p. 55-71.
- 80. Gros K., 2002.** Pollution par les métaux et intoxications chez les ruminants. Thèse de Doctorat N° 184, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 132 p.
- 81. Guimeur K., Barkat D., 2014.** Conséquence d'un apport gypseux en présence de la matière organique sur quelques paramètres essentiels du sol et du blé dur (*Triticum turgidum L.*) *Courrier du Savoir*, 18 : 123-128.
- 82. Gupta R., Abrol P., 1990.** Salts affected soils: their reclamation and management for crop production. *Adv. Soil Scie.*, 273-287.
- 83. Haddi M-L., 1999.** Caractéristiques de la cinétique de fermentation *in vitro* des polymères de la paroi cellulaire végétale par la flore ruminale mixte de dromadaire. Thèse de doctorat. Université de Constantine. 133 p.
- 84. Haddi M. L., Arab H., Yacoub F., Hornick J. L., Rollin F., Mehennaoui S., 2009.** Seasonal changes in chemical composition and *in vitro* gas production of six plants from Eastern Algerian arid regions. *Livestock Research for Rural Development*, 21, 4. 11p.
- 85. Halitim A., 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. Office des publications universitaires : 06-88, 384 p.

- 86. Haouala F., Ferjani H. et Ben El Hadj S., 2007.** Effet de la salinité sur la répartition des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$ ) et du chlore ( $\text{Cl}^-$ ) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11, 3, 235-244.
- 87. Haouchine A., 2010.** Hydrogéologie en zone semi-aride et aride : région de Biskra (Algérie). Thèse Doctorat, Univ. Houari Boumediene -Alger. 155 p.
- 88. Harisson G.A., Dawson K. A. and Hemken R.W., 1992.** Effects of high iron and sulfate ion concentrations on dry matter digestion and volatile fatty acid production by ruminal microorganisms. *J. Anim. Sci.* 70: 1188-1194.
- 89. Harris E.D., 1997.** Copper. In: *Handbook on Nutritionally Essential Minerals* (B.L. O'Dell, R.A. Sunde, eds.), Marcel Dekker, New York, 231-273.
- 90. He X., Mouratov S., Steinbeger Y., 2002.** Spatial distribution and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi under the canopies of desert halophytes. *Arid Land Res. Manag.*, 16, 149-160.
- 91. Henry P-R. 1995.** Manganese bioavailability. In: *Bioavailability of nutrients for animals amino acids, minerals, and vitamin* (C-B. Ammerman, D. H.Baker, A.J. Lewis, eds). ACADEMIC PRESS. 239- 256.
- 92. Henry P.R., Miller E.R., 1995.** Iron bioavailability. In: *Bioavailability of nutrients for animals amino acids, minerals, and vitamin* (C-B. Ammerman, D. H.Baker, A.J. Lewis, eds). ACADEMIC PRESS. 169-194.
- 93. Higazy M., Shehata M., Allam A., 1995.** Free proline relation to salinity of three sugar beet varieties. *Egypt. J. Agric. Res.*, 73: 175-189.
- 94. Horst R.L., Goff J.P., Reinhardt T.A., Buxton D.R. 1997.** Strategies for Preventing Milk Fever in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.*, 80 :1269-1280.
- 95. Houmani M., 1997.** Évolution des terres de parcours et bilan fourrager dans les zones arides algériennes. Dans : *Actualité Scientifique : Biotechnologies, Amélioration des Plantes et Sécurité Alimentaire. Collection Universités Francophones.* Ed. ESTEM, Paris, 175-176.
- 96. Houpert P., Mehennaoni S., Joseph-Enriquez B., Federspiel. B., Milhaud G., 1995.** Pharmacokinetics of cadmium following intravenous and oral administration to non-lactating ewes. *Veterinary Research* 26, 145–154.
- 97. Humphreys D. J., 1991.** Effect of exposure to excessive quantities of lead on animals. *Br.Vet. J.*, 147 :18–30.

- 98. INRA, 2007.** Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux-valeur des aliments. Tables INRA, Editions Quæ, Versailles, 307p
- 99. Ismail S., Ben Romdhane S., Ibn Hadji Slama J., Romdane M.N., 2011.** Carences en cuivre et en zinc chez les bovins de la région de Béja : relations sol-plante animal. *Revue Méd. Vét.*, 162 :10, 468-474.
- 100. ISSeP., 2010.** Extraction des éléments métalliques en traces (ETM) solubles dans l'eau régale. CWEA.4p.
- 101. Jarrige R., Grenet E., Démarquilly C., Besle J-M., 1995.** Les constituants de l'appareil végétatif des plantes fourragères. *In : Nutrition des ruminants domestiques, ingestion et digestion.* (R. Jarrige, Y. Ruckebush, C. Demarquilly, M-H. Farce, M. Journet, eds.), INRA Éditions, Versailles, 25-81.
- 102. Jean-Blain C., 2002.** Introduction à la nutrition des animaux domestiques. Editions Tec et Doc., Paris, 424 p.
- 103. Joseph H., Soares Jr., 1995.** Calcium Bioavailability. *In: Bioavailability of Nutrients for Animals Aminoacids, Minerals, and Vitamins.* (C.-B. Ammerman, D.-H. Baker, A.-J. Lewis, eds.), Academic Press, 95-118.
- 104. Kabata-Pendias A., Pendias H., 1992.** Trace elements in soil and plants. *Boca Raton: CRC Press* 365 p.
- 105. Kabata-Pendias A., Pendias H., 2001.** Trace elements in soils and plants. 3<sup>rd</sup> CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.
- 106. Kallah M. S., Bale J. O., Abdullahi U.S., Muhammad I. R., Lawal R., 2000.** Nutrient composition of native forbs of semi-arid and dry sub-humid savannas of Nigeria. *Animal Feed Sciences and Technology*, 84: 137-145.
- 107. Kamoun M., 2008.** Recueil de méthodes d'analyses et de mesures utilisées en alimentation animale, Ecole Nationale de Médecine Vétérinaire de Sidi-Thabet, Centre de Publication Universitaire, 164 p.
- 108. Kanoun A., Kanoun M., Yakhlef H., Cherfaoui M. A., 2007.** Pastoralisme en Algérie : Systèmes d'élevage et stratégies d'adaptation des éleveurs ovins. *Renc. Rech. Ruminants*, 14: 181-184.U
- 109. Kessler J., 1991.** Mineral nutrition of goats. *In: Morand-Fehr, P. (Ed.), Goat Nutrition*, vol. 46. EAAP Publication, pp. 104-119.

- 110. Kessler J., 2001.** L'alimentation minérale de la vache laitière en bref. Station fédérale de recherche en production animale, rapactuel. [www.admin.ch/sar/rap](http://www.admin.ch/sar/rap).
- 111. Khan Z. I., Hussain A., Ashraf M., Valeem E-E., Javed I., 2005.** Evaluation of variation in soil and forage micro-mineral concentrations in a semiarid region of Pakistan. *Pak. J. Bot.*, 37 (4): 921- 931.
- 112. Khan Z. I., Hussain A., Ashraf M., McDowell L. R., 2006.** Mineral status of soils and forages in southwestern Punjab-Pakistan: Micro-minerals. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 19 (8): 1139-1147.
- 113. Khan Z-I., Ashraf M., Valeem E-E., Ahmad K., Danish M., 2007.** Pasture concentration of minerals in relation to the nutrient requirements of farm livestock. *Pak. J. Bot.*, 39 (6): 2183 – 2191.
- 114. Kim Y.Y., Yang Y.Y., Lee Y., 2002.** Pb and Cd uptake in rice roots. *Physiol. Plant.*, 116 : 368-372.
- 115. Koller E., 2004.** Traitement des pollutions industrielles, Ed. Dunod, Paris, 424p.
- 116. Komisarczuk S., Durand M., 1991.** Effects of minerals on microbial metabolism. In: *Rumen Microbial Metabolism and Ruminant Digestion* (J-P. Jouany, ed.), INRA Editions, Versailles, 179-188.
- 117. Komisarczuk S., Durand M., Durnay C., Morel T., 1986.** Use of a semicontinuos culture system (Rusitec) to study the effects of phosphorus deficiency on rumen microbial digestion. *Biol. Anaer. Bact.* 47-53.
- 118. Kouassi E., Fournier M., 2003.** Système immunitaire. Environnement et santé publique, Fondement et pratiques, Edisen, tec. et Doc., Acton Vale, Paris.
- 119. Kuldeep S., Brar J.S., 2002.** Genotypic differences in effects of cadmium on yield and nutrient composition in *Brassica* plants. Symposium No 42, paper No 218, presentation: Poster, 17th WCSS, 14-21.
- 120. Lamand M., 1991.** Les oligo-éléments en médecine vétérinaire. In : *Les oligo-éléments en médecine et biologie* (P. Chappuis, ed.), Lavoisier Tech Doc, Paris, 76-110.
- 121. Laurent B., 2008.** Diagnostic des carences en oligo-éléments chez les bovins. *Thèse de Docteur Vétérinaire, Nationale Vétérinaire de Lyon*, 142p
- 122. LGBP (Laboratoire de Génétique et Biophysique des plantes), 2013.** Adaptation (et acclimatation) des plantes à l'environnement, Master MBVB, 32 p.

- 123. Lehner A., 2014.** La nutrition hydrique et minérale chez les plantes partie1/2. Laboratoire de Glycobiologie et Matrice Extracellulaire Végétale. Université de Rouen. 118 p.
- 124. Le Houérou H. N., 1992.** The role of saltbushes (*Atriplex* spp.) in arid land rehabilitation in the Mediterranean basin: a review *Agroforestry systems*, 18: 107-148.
- 125. Le Houérou H. N., 2000.** Utilization of fodder trees and shrubs in the arid and semiarid zones of west Asia and North Africa. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 14, 101-135.
- 126. Longuo H. F., Chelma A., Ouled Belkher A., 1989.** Quelques aspects botaniques et nutritionnels des pâturages du dromadaire en Algérie. *Option Méditerranéennes- Série Séminaires*, 2 : 47-53.
- 127. Lotmani B., Mesnoui M., 2011.** Effects of copper stress on antioxidative enzymes, chlorophyll and protein content in *Atriplex halimus*. *Afr. J. Biotechnol.*, 10, 10143-10148.
- 128. Maalem S., Rahmoune C., 2009.** Toxicity of the salt and pericarp inhibition on the germination of some *Atriplex* species. *American-Eurasian Journal of Toxicologic Sci.*, 1, 43-49.
- 129. Maalem S., 2011.** Etude de l'impact des interactions entre le phosphore et le chlorure de sodium sur trois espèces végétales halophytes du genre *Atriplex* (*A. halimus*, *A. canescens* et *A. nummularia*), thèse de doctorat, Université de Annaba, Département de biologie, 169 p.
- 130. MacPherson A., 2000.** Trace-mineral status of forages. In: *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition* (D.I Givens, E. Owen, R.F.E. Axford, H.M. Omed, eds.), CABI Publishing, 345-371.
- 131. Malcolm C.V., Lindley V.A., O'Leary J.W., Runciman H.V., Barrettlennard E. G., 2003.** Halophytes and glycophytes salt tolerance at germination and the establishment of halophyte shrub in saline environments, *Plant soil*, 253, 171-185.
- 132. Marmont A., 2013.** Intérêt de la mesure du pH urinaire et du dosage des macro-éléments urinaires chez la vache : état des lieux des connaissances et étude de cas. Vét. Agro. Sup. Campus Vétérinaire de Lyon, thèse de Doctorat N° 068, 70 p.
- 133. Martens H., Leonhard S., Gäbel G., 1991.** Minerals and digestion: exchange in the digestive tract. In: *Rumen Microbial Metabolism and Ruminant Digestion* (J.-p. Jouany, ed.), INRA Editions, Paris, 192-216.
- 134. Martinez J. P., Ledent J. F., Bajji M., Kinet J. M., Lutts S., 2003.** Effect of water stress on growth, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> accumulation and water use efficiency in relation to osmotic adjustment in two populations of *Atriplex halimus* L., *Plant Growth Regul.*, 41, 63-73.

- 135. Marx D. J., 2002.** Les maladies métaboliques chez les ovins. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, 140 p.
- 136. Mathieu C., Pieltain F., 2003.** Analyse chimique des sols Méthodes choisies, Editions Tec et DOC, Lavoisier, ISBN : 2-7430-0620-X, p. 239-292.
- 137. Matías M.S.A., 2008.** Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. *Thèse doctorat de l'université de Toulouse*, 498 p.
- 138. McCauley A., Jones C., Jacobsen J., 2009.** Soil pH and organic matter. *Nutrient Management Module*, N° 8, 12 p.
- 139. McDonald P., Edwards R-A., Greenhalgh J-F-D., Morgan C-A., Sinclair L-A., Wilkinson R-G., 2010.** *Animal nutrition*. Seventh Edition. Prentice Hall is an imprint of PEARSON, p.103-137.
- 140. McDowell L. R. 2003.** Minerals in Animal and Human Nutrition, Elsevier Science B. V., Amsterdam, 644 p.
- 141. McDowell L.R., Valle G., 2000.** Major Minerals in Forages. *In: Forage Evaluation in Ruminant Nutrition* (eds D.I. Givens, E. Owen, R.F.E. Axford and H.M. Omed), CAB International, 373-397
- 142. Mebirouk O., 2014.** Etude du mode de tolérance de *Thymus algeriensis* et *Artémisia herba alba* aux sols métallifères dans la zone minière du Djebel Hamimat (Oum el Bouaghi), *Mémoire de Magister en Ecologie et Environnement, Université Mentouri Constantine 1*, 120 p.
- 143. Megueni-Tani A., 2013.** Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe du Moi-plio-quadernaire de la région Sud de la ville de Biskra, Algérie. Mémoire de Master Académique, Université de Biskra ,70 p.
- 144. Mehennaoui S., 1995.** Toxicité du plomb chez les ruminants : I. Surveillance biologique du saturnisme subclinique chez les bovins. II. Toxicocinétique chez la brebis en lactation : modifications provoquées par le zinc et le cadmium. *Thèse de doctorat vétérinaire, Université de Paris VII*, 132 p.
- 145. Meschy F., Guéguen L., 1995.** Ingestion et absorption des éléments minéraux majeurs. *In : Nutrition des ruminants domestiques ingestion et digestion* (R. Jarrige, Y. Ruckebusch, C. Demarquilly, M-H. Farce, M. Journet, eds.), INRA Editions, Versailles, 721-758.

- 146. Meschy F., 2007.** Alimentation minérale et vitaminique des ruminants, actualisation des connaissances. *INRA Prod. Anim.*, 20, 119-128.
- 147. Meschy F., 2010.** Nutrition minérale des ruminants. Editions Quæ, 208 p.
- 148. Meziane T., 2001.** Contribution à l'étude de l'effet de la salinité de l'eau de boisson sur certains paramètres sanguins des brebis de race Ouled Djellal du Sud des hauts plateaux sétifiens. Thèse de doctorat, Université de Constantine, 162p.
- 149. Mihalikova K., Varadyova Z., Pristas P., Javorsky P., Kisidayova S., 2009.** Tolerance of a ruinant ciliate *Entodinium caudatum* against mercury, copper and chromium. *Biologia*, 64 (6): 1141-1145.
- 150. Miquel G., 2001.** Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, N° 2979. Nationale Vétérinaire d'Alfort, Faculté de médecine de Créteil. 69 p.
- 151. Mirzaei F., 2012.** Minerals profile of forages for grazing ruminants in Pakistan. *Open Journal of Animal Sciences*, 2(3): 133-141.
- 152. Moussi Abdelhamid, 2012.** Analyse systématique et étude bio-écologique de la faune des acridiens (Orthoptera, Acridomorpha) de la région de Biskra. *Thèse de doctorat. Biologie Animale. Université Mentouri Constantine.* 132 p.
- 153. Mueller R.F., Steiner A., 1992.** Inhibition of anaerobic digestion caused by heavy metals. *Water Sci. Technol.*, 26: 835-846.
- 154. Nedjimi B., Homida M., 2006.** Problématique des zones steppiques Algériennes et perspectives d'avenir. *مجلة*, 04, 13-19.
- 155. Nedjimi B., 2009.** Le calcium peut-il protéger *Atriplex halimus* subsp. *Schweinfurthii* contre la toxicité du cadmium? *Acta Bot. Gallica*, 156 (3), 391-397.
- 156. Nedjimi B., 2010.** Etude de la résistance d'*Atriplex halimus* subsp. *Schweinfurthii* aux sels solubles. *Acta Bot. Gallica*, 157 (4), 787-791.
- 157. Nedjimi B., 2012.** Seasonal variation in productivity, water relations and ion contents of *Atriplex halimus* spp. *Schweinfurthii* grown in Chott Zehrez wetland, Algeria, *J. Saudi Soc. Agri. Sci.*, 11, 43-49.
- 158. Nedjimi B., Guit B., 2012.** Les steppes algériennes : causes de déséquilibre. *Algerian J. Arid Environ.*, 2, 50-61.

- 159. Nedjimi B., Guit B., Toumi M., Beladel B., Akam A., Daoud Y., 2013.** *Atriplex halimus* subsp. *schweinfurthii* (Chenopodiaceae): Description, écologie et utilisations pastorales et thérapeutiques. *Fourrages*, 216, 333-338.
- 160. Nedjraoui D., 2001.** Le profil fourrager de l'Algérie. URBT, 30p disponible sur : <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/Algeria/Algérie.htm>.
- 161. Nefzaoui A., Chermiti A., 1991.** Place et rôles des arbustes fourragers dans les parcours des zones arides et semi-arides de la Tunisie. *CIHEAM-Options Médit.*, 16, 119-25.
- 162. Nemat Alla M.M., Khedr A.H.A., Serag M.M., Abu-Alnaga A.Z., Nada R.M., 2012.** Regulation of metabolomics in *Atriplex halimus* growth under salt and drought stress. *Plant Growth Regul.*, 67, 281-304.
- 163. NRC, 1996.** Nutrient requirements of beef cattle. 7<sup>th</sup> (revised) edition, Washington, DC, National Academy Press.
- 164. NRC, 2000.** Nutrient requirements of beef cattle. 7<sup>th</sup> edition, National Academies Press, Washington D. C.
- 165. NRC, 2001.** Nutrient Requirements of Dairy Cattle, National Academy Press, Washington DC, 510 p
- 166. NRC, 2007.** Nutrient Requirement of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids, the National Academies Press, Washington DC, 362p.63212
- 167. Olsen K-C., 2007.** Management of Mineral Supplementation Programs for Cow-Calf Operations. *Vet. Clin. Food Anim.*, 23 : 69-90.
- 168. Paragon B. M. 1984.** Alimentation minérale de la vache laitière. Centre d'Etude sur la Nutrition des Animaux, leurs Productions, leur Santé, leur Economie, ENV. Alfort, 67 p.
- 169. Perrin J.B., 2007.** Les plantes de surveillance et de contrôle dans l'analyse du risque alimentaire lié aux métaux lourds en France. *Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon*, 154 p.
- 170. Phillippes C-J-C., Chiy P-C., Zachou E., 2005.** Effects of cadmium in herbage on the apparent absorption of elements by sheep in comparison with inorganic cadmium added to their diet. *Environmental Research*, 99: 224-234.
- 171. Picot A., 2010.** Les métaux lourds : de grands toxiques : le trio mercure, plomb, cadmium, Association de Toxicologie et de Chimie (ATC), Paris, CNRS, France.

- 172. Podlipná R., Motřková K., Vaněk T., 2011.** Accumulation of cadmium by halophyte species *Juncus gerardii* Loisel. *Ecological Questions*, 14: 41 – 42 DOI: 10.2478/v10090-011-0011-x
- 173. Pokorny B., Al Sayegh-Petkovsek S., Ribaric-Lasnik C., Vrtacnik J., Doganoc D.Z., Adamic M., 2004.** Fungi ingestion as an important factor influencing heavy metal intake in roe deer: evidence from faeces. *Sci. Total Environ.*, 324: 223-234.
- 174. Pouget M., 1980.** Les relations sol-végétations dans les steppes Sud-algéroises. O.R.S.T.O.M., Paris, 569 p.
- 175. Pourrut B., 2008.** Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante modèle, *Vicia fabal* L. *Thèse de Doctorat, Université de Toulouse*, 297 p.
- 176. Puls R., 1994.** Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data, 2nd edn. Sherpa International, Clearbrook, British Columbia.
- 177. Rahmoune C., Maalem S., Ben Naceur M., 2004.** Etude comparative de rendement en matière sèche et en matière azotée totale de trois espèces de plantes steppiques du genre *Atriplex*. *Options Méditerranéennes*, 60 : 219-2213
- 178. Ramirez-Orduna R., Ramirez R. G., Gonzalez-Rodriguez H., Haenlein G. F. W., 2005.** Mineral content of browse species from Baja California Sur, Mexico. *Small Ruminant Research*, 57: 1-10. Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- 179. Ramirez-Perez A.H., 2007.** Effet de la solubilité de la source du phosphore alimentaire sur l'activité fermentaire dans le rumen et sur son utilisation digestive et métabolique chez la chèvre laitière. *Thèse de Doctorat, Agro. Paris Tech.* 127 p.
- 180. Rémond D., Meschy F., Boivin R., 1996.** Metabolites, water and mineral exchanges across the rumen wall: mechanisms and regulation. INRA. *Ann Zootech.*, 45: 97-119.
- 181. Rengel Z., 2015.** Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of soil Sciences and Plant Nutrition*, 15 (2): 397-409.
- 182. Robson A. B., 1990.** Model of magnesium metabolism in sheep. In: *Proceeding of 3<sup>rd</sup> International workshop on modelling digestion and metabolism in farm animals* (A. B. Robson, D.P. Poppi, eds.), 169-186.
- 183. Rodier J., 1984.** Analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 7<sup>ème</sup> édition, Ed. Dunod, Paris, 1365 p.

- 184. Salem A. Z. M., Ammar H., Lopez S., Gohar Y. M., González J. S., 2011.** Sensitivity of ruminal bacteria isolates of sheep, cattle and buffalo to some heavy metals. *Animal Feed Science and Technology*, 163: 143- 149. Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/anifeedsci](http://www.elsevier.com/locate/anifeedsci).
- 185. Sarwar N., Malhi S.S., Zia M.H., Naeem A., Bibi S., Farid G., 2010.** Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. *J. Sci Food Agric.*, 90, 925-937.
- 186. SAS, 2003.** Statistical Analysis System. User's guide. SAS, Institute, Cary, NY, USA.
- Sauvant D., 1988.** La composition et l'analyse des aliments. *In : Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins* (R. Jarrige R. eds.), INRA, Paris, p.305-314.
- 187. Sauvé S., Norvell W.A., McBride M., Hendershot W., 2000.** Speciation and complexation of cadmium in extracted soil solutions. *Environ. Sci. Technol.*, 34: 291- 296.
- 188. Schoneville J. Th., Ram L., Van't Klooster A.Th., Wouterse H., Beynen A.C. 1997.** Intrinsic potassium in grass silage and magnesium absorption in dry cows. *Livestock Production Science*, 48:99-110.
- 189. Schoojans F, Zalata, A, Depuydt C E, Comhaire F.H., 1995.** MedCalc: A New Computer Program for Medical Statistics. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, p. 257-262.
- 190. Sellaoui S., 2017.** Les biomarqueurs d'exposition et d'effets lors d'administration répétée de métaux lourds (plomb et cadmium) chez le mouton. *Thèse de doctorat, Université de Batna*, 215 p.
- 191. Shisia K.S., Ngure V., Nyambaka H., Jumba I., Oduor F., 2014.** Assessment of mineral deficiencies among grazing areas in Uasin Gishu County, Kenya. *In. J. Nut. Food. Sci.*, 3 (2) : 44-48.
- 192. Sleimi N., Bankaji I., Dallai M., Kefi O., 2014.** Accumulation des éléments traces et tolérance au stress métallique chez les halophytes colonisant les bordures de la lagune de Bizerte (Tunisie). *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 69 : 49-58.
- 193. Soltner D., 1996.** Les bases de la production végétale, le sol est son amélioration, 21<sup>ème</sup> édition, Tome I, Collection Sciences et techniques agricoles. 464 p.
- 194. Spears J. W., 2003.** Trace Mineral Bioavailability in Ruminants. *J. Nutr.*, 133: 1506S- 1509S.
- 195. Suttle N.F., 1975.** Effects of age and weaning on the apparent availability of dietary copper to young lambs. *J. Agric. Sci. Camb.*, 84, 255-261.
- 196. Suttle N-F., 2010.** Mineral Nutrition of Livestock, CABI Head Office, UK, 4th Edition, 579p
- 197. Tafforeau M., 2002.** Etude des phases précoces de la transduction des signaux

environnementaux chez le lin : une approche protéomique. *Thèse de doctorat en biochimie végétale. Université de Rouen. France.* 255 p.

**198. Temgoua E., Ntangmo Tsafack H., Pfeifer H.R., Njine T., 2015.** Teneurs en éléments majeurs et oligoéléments dans le sol et quelques cultures maraîchères de la ville DeDscang, Cameroun. *African Crop Science Journal* 23 (1): 35-44.

**199. Ternouth J.H., 1989.** Endogenous losses of phosphorus by sheep. *J. Agric. Sci. Camb.*, 113 : 291-297.

**200. Thivend P., Fonty G., Jouany J-P., Durand M., Gouet Ph., 1985.** Le fermenteur rumen. *Reprod. Nutr. Dévelop.*, 25 (4B), 729-753.

**201. Tremel-Schaub A., Faix I., 2005.** Contamination des sols Transferts des sols vers les plantes. ADEME Editions, EDP Sciences, ISBN: 2-86663-793-X, 413 p.

**202. Underwood E.J., Suttle N.F., 1999.** The Mineral Nutrition of Livestock, CABI Publishing, Wallingford, UK, 3<sup>rd</sup> edition, 614 p.

**203. Van Niekerk W. A., Sparks C. F., Rethman N. F. G., Coertze R. J., 2004.** Mineral composition of certain *Atriplex* species and *Cassia sturtii*. *South African Journal of Animal Science*, 34 (Supplement 1): 105-107. Available online at <http://www.sasas.co.za/sajas.html>.

**204. Varadyova Z., Mihalikova K., Kisidayova S., Javorsky P., 2006.** Fermentation pattern of the rumen and hindgut inocula of sheep grazing in an area polluted from the non-ferrous metal industry. *Czech J. Anim. Sc.*, 51(2): 66-72.

**205. Walker D. J., Monino I., Gonzalez E., Frayssinet N., Correal E., 2005.** Determination of ploidy and nuclear DNA content in populations of *Atriplex halimus* (*Chenopodiaceae*), *Bot. j. Linn. Soc.*, 147, 441-448.

**206. Walker D.J., Lutts S., Sanchez-Garcia M., Correal E., 2014.** *Atriplex halimus* L.: Its biology and uses. *Journal of Arid Environments*, 100:10, 111-121.

**207. Weber D. J., Ansari R., Gul B., Khan M. A., 2007.** Potential of halophytes as source of edible oil. *J. Arid Environ.* 68, 315- 321.

**208. Williams L.E., Pittman J.K., Hall J.L., 2000.** Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. *Biochimica. Biophysica. Acta.*, 1465, 104-126.

**209. Wolter R., 1997.** Alimentation de la vache laitière, 3<sup>ème</sup> édition, Edition France Agricole, 264p.

**210. Xu J., Yin H., Liu X., Li X., 2010.** Salt affects plant Cd-stress responses by modulating growth and Cd accumulation. *Planta.*, 231, 449-459.

**211. Yaakoub F., 2006.** Evaluation "*in vitro*" de la dégradation des principaux fourrages des zones arides. Mémoire de Magister. Université de Batna. 152 p.

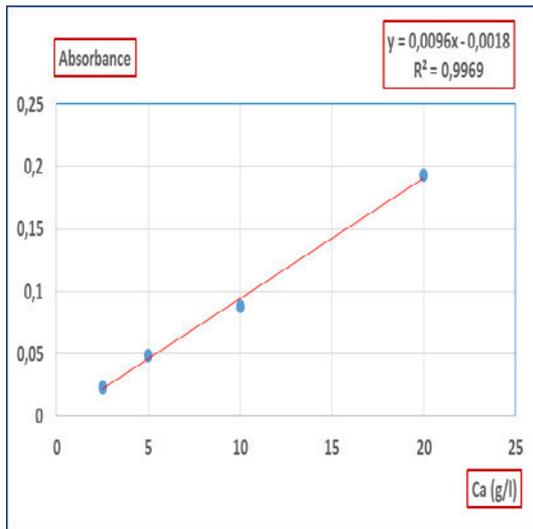
# **ANNEXES**

## Annexe 1

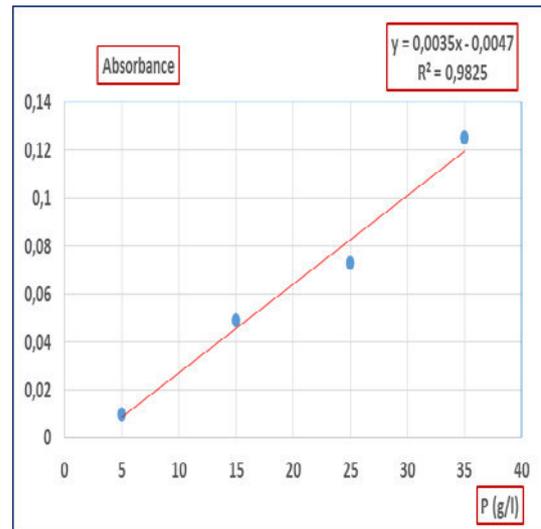
**Tableau 1** : Représentation des teneurs mensuelles des macroéléments et des oligo-éléments au cours de l'année 2002-2003.

code échantillon	Date de prélèvement	Ca	P	Ca/P	Mg	Na	K	Cu	Zn	Mn	Fe
A04 ATX F	05/03/2003	11,26	3,92	2,87	17,69	61,66	13,51	12,90	82,21	32,20	971,11
A04 ATX T	05/03/2003	9,23	2,50	3,69	7,44	38,4	39,17	8,01	41,12	12,26	452,09
A09 ATX F	02/05/2003	15,10	2,65	5,70	19,52	39,05	12,03	11,19	81,91	39,21	765,13
A09 ATX T	02/05/2003	13,46	2,51	5,36	8,61	31,11	10,77	10,96	46,48	6,79	415,84
A12 ATX F	02/06/2003	10,25	1,87	5,48	13,57	50,86	13,5	9,90	66,46	23,55	842,01
A12 ATX T	02/06/2003	9,68	1,53	6,33	4,98	24,98	17,41	9,68	63,08	2,07	516,80
A14 ATX F	03/07/2003	8,76	2,22	3,95	17,68	33,67	16	18,70	80,16	17,24	648,14
A14 ATX T	03/07/2003	9,02	1,60	5,64	8,95	34,45	11,21	14,08	65,81	3,24	425,85
A15 ATX F	02/04/2003	10,23	3,45	2,97	18,00	49,97	17,75	19,77	65,01	19,75	546,75
A15 ATX T	02/04/2003	9,74	3,23	3,02	9,17	43,92	21,26	23,58	82,67	4,92	317,41
A21 ATX F	31/10/2002	13,15	3,23	4,07	20,05	53,26	10,21	14,68	74,86	29,63	631,42
A21 ATX T	31/10/2002	11,49	2,62	4,39	9,39	30,01	16,02	11,51	37,40	6,88	361,26
A22 ATX F	02/01/2003	10,12	3,98	2,54	21,60	64,01	8,66	18,67	78,10	27,00	618,00
A22 ATX T	02/01/2003	7,26	2,49	2,92	9,33	29,57	17,79	22,37	64,52	14,59	375,56
A27 ATX F	08/02/2003	11,68	6,21	1,88	15,62	55,65	13,6	14,76	69,91	27,45	1336,90
A27 ATX T	08/02/2003	8,08	3,91	2,07	7,28	18,54	11,68	14,76	50,73	8,85	479,29
A31 ATX F	02/12/2002	14,00	2,84	4,93	17,66	45,34	13,68	7,30	49,27	23,10	837,86
A31 ATX T	02/12/2002	12,52	2,66	4,71	7,16	22,11	15,26	9,86	40,15	9,65	278,00
A35 ATX F	03/10/2002	11,40	3,36	3,39	17,67	65,84	16,08	12,45	46,47	27,83	762,19
A35 ATX T	03/10/2002	13,92	2,72	5,12	9,87	39,98	21,97	8,59	37,20	12,64	407,84

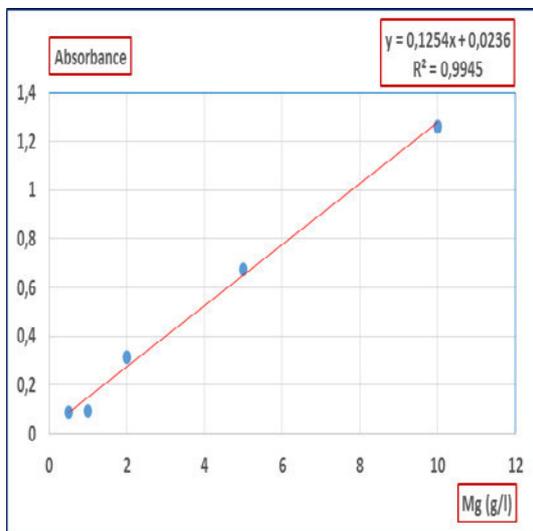
ATX : *Atriplex halimus* ; F : feuilles ; T : tiges.



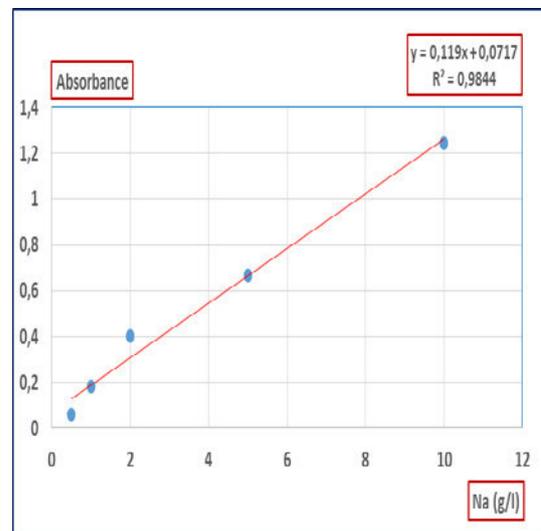
a



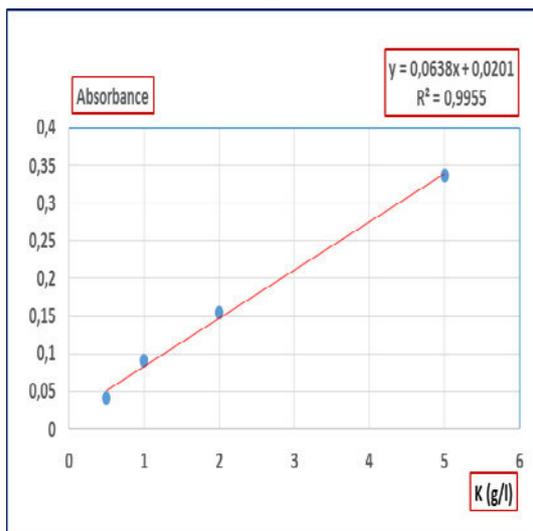
b



c

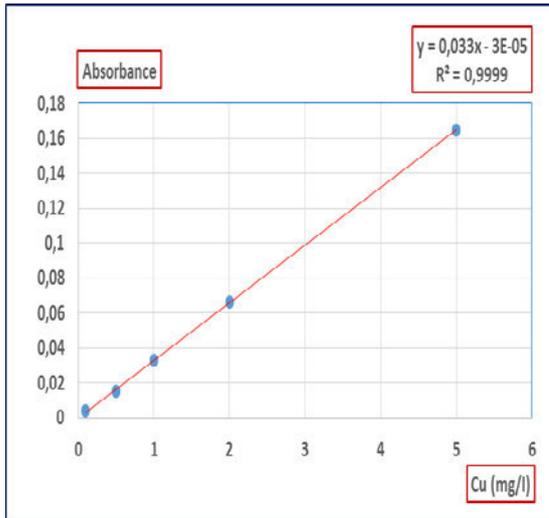


d

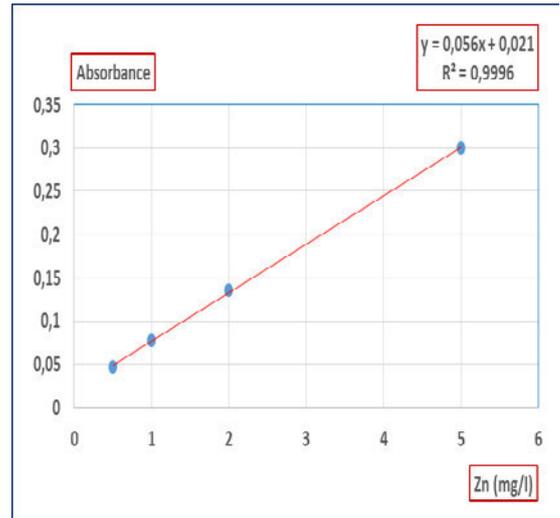


e

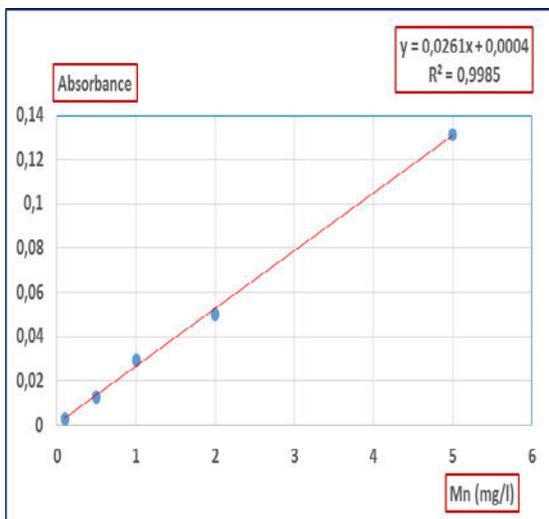
**Figure 1** : Droites d'étalonnages du calcium (a), du phosphore (b) et du magnésium (c) du sodium (d) et du potassium (e)



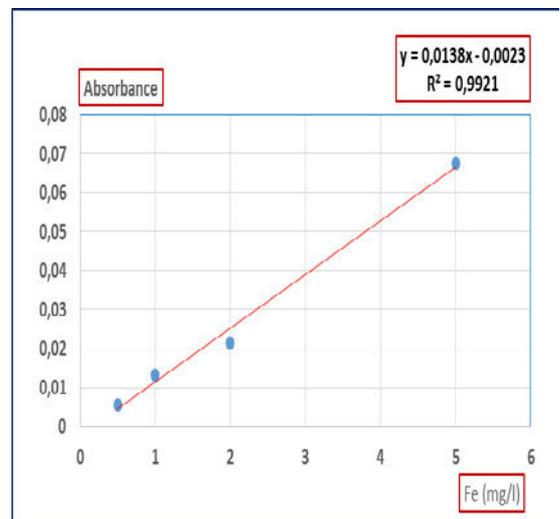
a



b

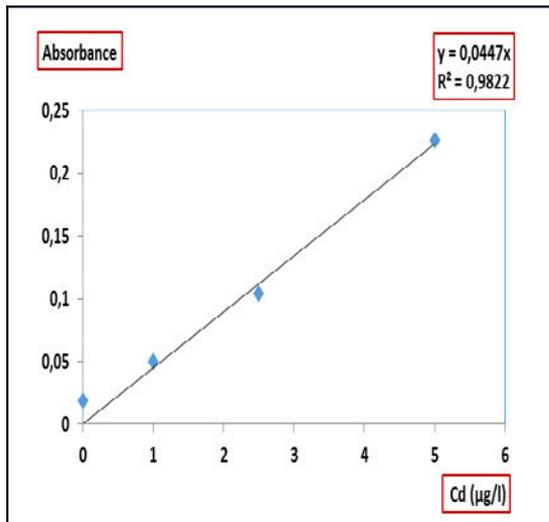


c

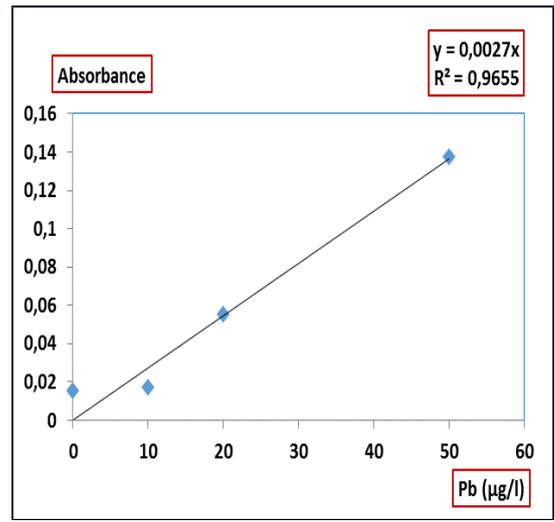


d

Figure 2 : Droites d'étalonnages du cuivre (a), du zinc (b), du manganèse (c) et du fer (d).



a



b

Figure 3 :Droites d'étalonnages du Cd (a) et du du plomb(b).

## Annexe 2

[Livestock Research for Rural Development 21 \(4\) 2009](#)

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

M-L Haddi, H Arab\*, F Yacoub\*, J-L Hornick\*\*, F Rollin\*\* and S Mehennaoui\*

Faculté des Sciences de la Nature, Université de Constantine, Route Ain El Bey, 25000 Constantine, Algeria

\*Laboratoire LRESA, Département des Sciences Vétérinaires, Université de Batna, Algeria

\*\*Faculty of Veterinary Medicine, University of Liège, Belgium

[haddil@yahoo.com](mailto:haddil@yahoo.com)

### Abstract

Seasonal variations of nutritive value of six important plants from Algerian arid regions were investigated. Edible aerial parts were monthly sampled, when available, from October 2002 to July 2003 and their chemical composition and their *in vitro* gas production (GP) parameters evaluated using a logistic model. Metabolisable energy (ME) and organic matter digestibility (OMD) were also estimated. Arid plants were three halophytes shrubs (*Atriplex halimus*, *Salsola vermiculata* and *Sueada mollis*), one tree fodder (*Tamarix africana*) and two herbaceous plants (*Cynodon dactylon* and *Cyperus conglomeratus*). Three semi-arid forages (green wheat *Triticum aestivum*, green leguminous *Hedysarum coronarium*) and commercial mixed hay were used for comparison.

Organic matter (OM), crude protein (CP), neutral detergent fibre (NDF), calcium, GP kinetic parameters, ME and OMD were significantly lower ( $P < 0.05$ ) for arid plants and their NDF, ADF and ADL contents ( $480 \pm 215$ ,  $281 \pm 150$  and  $76.3 \pm 45.0$  g/kg DM, respectively) were not significantly affected by the season. CP content was significantly lower ( $P < 0.05$ ) in summer ( $108 \pm 4.1$  g/kg DM). Within arid plants, seasonal changes were significant for DM ( $P < 0.001$ ), CP ( $P < 0.001$ ), copper ( $P < 0.05$ ), phosphorus ( $P < 0.0001$ ), ME ( $P < 0.001$ ) and OMD ( $P < 0.001$ ). Maximum rate of GP ( $r_m$ ) for arid feeds occurred in winter ( $0.049$  h<sup>-1</sup>, January) with the lower value in autumn ( $0.025$  h<sup>-1</sup>, October), while the highest asymptotic GP "b" was reached in winter (February:  $277$  ml/g OM). Seasonal changes were highly significant for b,  $t_1$  (half time of b),  $t_m$  (time needed for  $r_m$ ),  $r_m$ , GP at 24 h ( $b_{24}$ ), GP at 48 h ( $b_{48}$ ) and GP at 96 h ( $b_{96}$ ). Depending on the season, some arid plants were better fermented in winter: *Atriplex halimus* in January ( $r_m = 0.069$  h<sup>-1</sup>), *Sueada mollis* in February ( $0.052$  h<sup>-1</sup>), *Tamarix africana* in January ( $0.062$  h<sup>-1</sup>); others in spring: *Cynodon dactylon* in March ( $0.037$  h<sup>-1</sup>) and *Cyperus conglomeratus* in May ( $0.055$  h<sup>-1</sup>), while *Salsola vermiculata* reached its  $r_m$  in summer ( $0.056$  h<sup>-1</sup>, in July). ADL content was negatively correlated to GP ( $-0.27 \leq r \leq -0.34$ ), ME ( $r = -0.50$ ) and OMD ( $r = -0.35$ ) only for arid plants. Cu content ( $10.0$  mg/Kg DM; CV: 24.6 %) was positively correlated to the constant of fitting curve "c" ( $r = 0.38$ ) and GP ( $r = 0.19$ ). P content was essentially correlated to the GP ( $0.18 \leq r \leq 0.34$ ). Arid plants, except *Salsola vermiculata*, have better nutritional characteristics in winter and spring, the wet and cold seasons.

**Keywords:** arid shrubs, *Atriplex*, *Cynodon*, *Cyperus*, *Salsola*, *Sueada*, *Tamarix*

### Introduction

The contribution of the native pastures to the nutritional requirements of domestic animals is essential in the Eastern Algerian arid zones. Chenopodiaceous shrubs like *Atriplex*, *Salsola* and *Sueada*, and herbaceous plants like *Cynodon dactylon* are the main forage plants. *Atriplex* spp. is a world spread halophyte shrub especially in salty soils. Their various agronomic and nutritional aspects are well characterized (Haddi et al 2002; El Waziry 2007). In the cold season (from October to March), part of the 19 millions of sheep move to the arid pastures where dromedaries and other domestics animals live all the year. So the stoking rate arises and subsequently becomes detrimental for forage plants and the local environment where the ranging is essentially extensive due to the scarcity of water and feeds. Scare and irregular precipitations, excessive temperatures, drought, salinity and

evapotranspiration in the arid regions influence the life cycle and annual regrowth of xerophytes plants. Incidence of these factors on nutritional value of arid browses is not yet established. The potential feeding value and the nutritive characteristics of available browses in the natural pastures of salty arid regions remains poorly investigated. Understanding if the domestic animals meet their needs in terms of energy, nitrogen and mineral nutrients in these regions, can help to manage better the animal production and can avoid possible nutritional deficits and their consequences on animal health. Our objective was to evaluate the seasonal changes of the nutritive value, by the determination of chemical composition and the *in vitro* gas production kinetics of six important plants browsed in the salty arid region in South-East Algeria. In order to rank these arid plants, partial comparison was made with three semi arid forages. Arid plants nutritionally evaluated here were only part of numerous plants daily browsed by domestic ruminants in the concerned region.

## **Material and methods**

### **Plant material and sampling areas**

Six arid plants were collected monthly (when available) from the South-East Biskra from October 2002 to July 2003. Only edible green aerial parts, from 15 to 25 cm of length, were manually clipped from three halophytes shrubs (*Atriplex halimus*, *Salsola vermiculata* and *Sueada mollis*), one tree fodder (*Tamarix africana*) and two herbaceous plants: *Cynodon dactylon* and *Cyperus conglomeratus*. For several reasons, particularly the overgrazing, edible green aerial parts of arid plants were not quantitatively available all the time in the pasture and consequently it was not easy to find enough plant material at each sampling. Semi arid forages, used for comparison, were collected once in spring 2003 at Constantine (280 Km at North Biskra) and included green wheat plant, green leguminous Sulla (*Hedysarum coronarium*) and one commercial mixed hay. As reported by Lemnaouar (2001), mixed hay was the cheapest forage composed by several herbaceous dried plants and sold around the year in the market. The sampling site of arid plants was 5 m below sea level and is characterized by high salinity of soil. Average annual precipitation is 140 mm (Hirche et al 2007) concentrated during 30-40 days in the cold season, from the ending of autumn to the beginning of spring. The area is considered arid on the UNESCO classification scale (Pagot 1992).

### **Analytical methods**

#### ***Chemical analysis of feeds***

Whole plants were dried in air forced oven at 55° C for 72 h. Then, leaves and stems were manually separated for *Atriplex halimus*, *Salsola vermiculata*, *Sueada mollis* and *Tamarix africana*. For the others arid browses separation was not applicable. Semi arid forages were evaluated as whole plants. Samples were milled to pass 1 mm screen and stored in polypropylene bottles at room temperature for subsequent analysis. Dry matter (DM), ash, crude protein (CP), ether extract (fat) were determined using the AOAC procedures (AOAC 1990). Calcium, copper and manganese were determined using an atomic absorption spectrophotometer after wet digestion in nitric and perchloric acid and ashing. Phosphorus was determined by the phospho-molybdate reaction method using a photo flame spectrophotometer. Contents of neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF) were analyzed according to Van Soest et al (1991), without  $\alpha$ -amylase and sodium sulphite and expressed free of ash. Acid detergent lignin (72% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ADL) and acid insoluble ash (ASHINS) were determined following Robertson and Van Soest (1981). All samples were analyzed in duplicate.

#### ***Rumen fluid collection and in vitro gas production trials***

Rumen content of slaughtered dromedaries was chosen for its appropriate *in vitro* gas production characteristics (Haddi et al 1999). The donor animals were adult males browsing in the same arid region of plant sampling, weekly transported from Biskra to municipal slaughterhouse at Constantine. The whole rumen content was collected in pre-warmed thermos, tightly closed and immediately transported to the laboratory. For *in vitro* trials, 200 ± 10 mg of dried samples were placed in 100 ml calibrated glass syringes which were greased with Vaseline and pre-warmed. In a Wolfe flask, 1 volume of strained rumen fluid was mixed with 2 volumes of artificial saliva (Menke and Steingass 1988) at 39°C in water bath under free oxygen CO<sub>2</sub> flux. Syringes were filled with 30 ml of the mixture, degassed and incubated at 39°C. Evolved gas was read every two hours in the first 24 h and every 6 h thereafter. The content of syringes was gently homogenised at each reading. Each batch for all samples was repeated twice in a different weeks and three syringes of blank (containing no feeds) were included. Cumulative

gas was corrected for the blank and expressed in millilitres of gas produced (GP) per gram of organic matter (OM).

## Data analysis

Corrected gas data were fitted to the monophasic logisitic model according to Groot et al (1996),  $g(t) = b/(1+(t_1/t)^c)$ , where “t” is the time of *in vitro* incubation in hour, g(t) the cumulative gas produced expressed in ml/g OM, “b” the asymptotic gas production,  $t_1$  the time required to reach 50% of b, “c” an unitless constant reflecting the shape of the fitting curve. The fractional rate r(t) of GP was computed as follow  $r(t)=c.t^{c-1}/(t_1^c+t^c)$  (hour<sup>-1</sup>) and its maximum ( $r_m$ ) was reached when  $d(r(t))/dt=0$  at  $t_{rm}$ , the time of maximum rate of GP. Gas production was also estimated at 24 h of incubation ( $b_{24}$ ), 48 h ( $b_{48}$ ) and 96 h ( $b_{96}$ ). Using cumulative gas (ml) produced by 200 mg DM of feed at 24 h and the content of CP (g/kg DM), metabolisable energy (ME) and organic matter digestibility (OMD) were estimated using the following regression equations of Menke and Steingass (1988) for roughage feeds:

$$ME \text{ (Mega Joules/Kg DM)} = 2.2 + 0.1357 * GP \text{ (ml/200 mg DM)} + 0.0057 * CP \text{ (g/kg DM)} + 0.0002859 * CP^2;$$

$$OMD \text{ (g/Kg DM)} = 24.91 + 0.7222 * GP \text{ (ml/200 mg DM)} + 0.0815 * CP \text{ (g/kg DM)}.$$

In order to evaluate the effect of various factors, data were subjected to analysis of variance using the following general linear model:

$$Y_i = \mu + F_i + e_i,$$

Where:

$Y_i$  = observation,

$\mu$  = population mean,

$F_i$  = factor (plant species, location, morphological fraction or season) effect and

$e_i$  the residual error.

Means were separated using the Student Newman Keuls multiple range test in the GLM procedure of the SAS statistics software (SAS 2003). The correlation analysis and the non linear fitting were performed using the corresponding procedures of the same software.

## Results

### Seasonal variation of chemical constituents

Arid plants seemed to maintain constant the major part of their nutritional constituents around the year (table 1).

**Table 1.** Chemical composition of arid plants (g/Kg DM) and effect of plant species, morphology and seasons on its variation

	n#	DM, g	OM, g	ASHINS, g	EE, g	CP, g	NDF, g	ADF, g	ADL, g
<i>Arid plants species</i>									
<i>Atriplex halimus</i>	53	244b	777bc	15,3c	18,6	131ab	440b	287	81,1ab
<i>Cynodon dactylon</i>	62	506a	843ab	77,0a	13,2	103b	676a	332	55,1bc
<i>Cyperus conglomeratus</i>	23	240b	867a	53,0b	16,0	139a	620a	309	40,0c
<i>Salsola vermiculata</i>	57	240b	741c	18,2c	15,5	128ab	420b	259	91,8a
<i>Sueada mollis</i>	53	214b	778bc	15,0c	15,7	147a	435b	260	76,0ab
<i>Tamarix africana</i>	47	509a	824abc	10,4c	14,4	139a	440b	269	87,1a
CV(§)		22,8	14,5	54,6	45,9	32,9	41,3	53,4	56,1
<i>Morphological fractions</i>									
Leaves	110	284b	687b	21,1b	20,9a	172a	238b	138	64,0b
Stems	100	280ab	874a	8,6c	11,2c	96,5c	647a	414	106a
Whole plant	85	388a	854a	66,6a	14,4b	119b	651a	322	48,4c
CV		43,5	10,2	54,8	37,7	22,0	14,9	29,7	50,7
<i>Seasons</i>									
Winter	87	282b	797	23,2	15,1	145a	461	262	71,0

Spring	102	243b	789	26,7	17,1	138a	473	290	78,0
Summer	65	380a	780	27,9	15,8	108b	499	280	76,3
Autumn	41	361a	8127	26,8	15,2	133a	498	298	82,8
CV		38,8	10,2	53,2	38,1	18,5	14,3	29,2	49,2
Overall means		304	793	25,9	15,9	132	480	281	76,3

*Main effects*

species	***	***	***	ns	*	***	ns	***
morphology	***	***	***	***	***	***	***	***
season	***	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns

\*:  $P < 0,05$ ; \*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*\*:  $P < 0,001$ ; ns: not significant ( $P > 0,05$ ); CV(%): coefficient of variation. Means with different letters, in each group, are significantly different ( $P < 0,05$ ). (#): sample size.

Seasonal variations were not significant ( $P > 0,05$ ) for organic matter, acid insoluble ash, ether extract, cell wall content (NDF), lignocellulosic content of cell wall (ADF) and for acid lignin (ADL), but significant ( $P < 0,001$ ) for only few chemical constituents: DM, CP, P and Cu (Table 2). The highest contents of DM were reached in the driest seasons, summer and autumn (380 and 361 g/kg of fresh matter, respectively). Summer was also a season with lowest CP (108 g/kg DM) and Cu (8.3 mg/kg DM) contents. Winter, a cold and humid season, seemed to be better for CP and P (145 g and 2.8 g/Kg DM, respectively). Cu content was significantly low in summer but relatively constant elsewhere.

**Table 2.** Mineral composition of arid plants (g or mg/Kg DM) and effect of plant species, morphology and seasons on its variation

	n#	Ca, g	P, g	Cu, mg	Mn, mg
<i>Arid plants species</i>					
<i>Atriplex halimus</i>	53	10,5c	2,8a	14,1a	22,6c
<i>Cynodon dactylon</i>	62	13,0b	2,6ab	8,6c	59,2b
<i>Cyperus conglomeratus</i>	23	10,1c	2,7ab	10,4b	187a
<i>Salsola vermiculata</i>	57	9,7c	2,5ab	7,7c	27,5c
<i>Sueada mollis</i>	53	7,3d	1,8c	9,5bc	31,0c
<i>Tamarix africana</i>	47	22,0a	2,1bc	8,5c	28,0c
CV(%)		30,8	36,9	24,6	55,1
<i>Morphological fractions</i>					
Leaves	110	13,6a	2,7a	10,7	37,4b
Stems	100	9,4b	2,0b	9,8	15,6c
Whole plant	85	11,7a	2,6a	9,4	116a
CV		47,0	37,4	33,5	81,8
<i>Seasons</i>					
Winter	87	10,9	2,8a	10,2a	42,9
Spring	102	11,7	2,6ab	10,5a	47,8
Summer	65	12,5	1,8b	8,3b	50,8
Autumn	41	11,3	2,4a	11,4a	40,0
CV		47,2	32,5	32,0	80,4
Overall means		11,6	2,4	10,0	46,1
<i>Main effects</i>					
species		***	***	***	***
morphology		***	***	ns	***
season		ns	***	***	ns

See Table 1

### Chemical constituents of the morphological fractions

Morphological composition of arid plants significantly ( $P < 0,001$ ) affected the contents of all nutrients, excepted Cu. Leaves have a highest content of EE, CP, Ca, P and a lowest content of ADF (138 g/kg DM). ADF and ADL were significantly higher for stems which have also significantly less ASHINS, EE, CP and Mn than leaves. OM content of stems was significantly higher than leaves but similar to whole plants (table 1).

Whole plant refers here only to herbaceous species (*Cyperus conglomeratus* and *Cynodon dactylon*) for which stems and leaves are difficult to separate in our context. DM, ASHINS, NDF and Mn were high in these plants, but their ADL content was significantly lower than leaves and stems of the arid plants.

### Chemical constituents of arid species

Arid plants belong to different categories: shrubs, tree fodders and herbaceous plants, and showed different nutritional contents. Nutritional differences between plant species were large, in terms of CV,0 for ADL, Mn, ASHINS and ADF, but limited for OM. Herbaceous plants were less lignified than shrubs: *Cyperus conglomeratus* was the less lignified and *Tamarix africana*, was the more lignified.

Compared to semi arid forages, arid plants showed significantly less OM ( $P<0.001$ ), CP ( $P<0.05$ ) and Ca ( $P<0.001$ ). Nevertheless, arid and semi-arid forages have comparable contents of DM, ASHINS, EE, NDF, ADF, ADL, P, Cu and Mn ( $P>0.05$ ) (Tables 3 and 4).

**Table 3.** Chemical composition (g/Kg DM) of semi arid forages compared with arid plants

	n(#)	DM, g	OM, g	ASHINS, g	EE, g	CP, g	NDF, g	ADF, g	ADL, g
<b>Semi-arid forages</b>									
Commercial mixed hay	7	879	927	20,8	15,5	93,8	644	426	94,5
Green wheat	7	299	925	38,2	20,4	126	498	250	19,6
Green Sulla	8	124	880	5,8	21,1	201	322	271	110
CV(\$)		3,0	0,8	85,0	24,9	6,8	12,3	19,1	32,5
means		365	900	14,7	19,4	159	439	312	92,9
<b>Overall means</b>									
Arid	295	305	793b	25,9	15,9	132b	480	281	76,3
Semi-arid	22	365	900a	14,7	19,4	159a	439	312	92,9
<b>Location effect</b>		ns	***	ns	ns	*	ns	ns	ns
RMSE		162	116	25,4	7,2	45,3	211	146	44,8

See Table 1

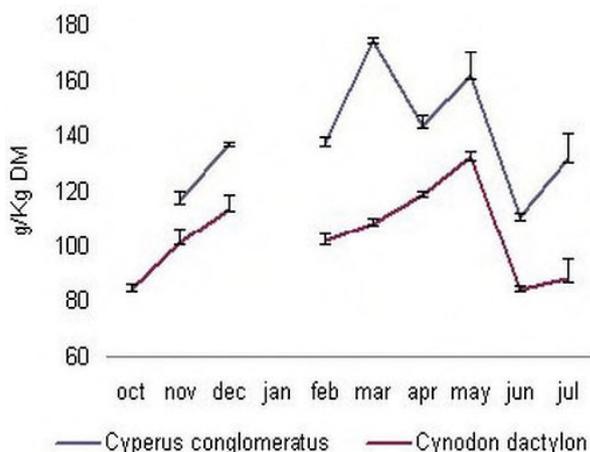
**Table 4.** Mineral composition of semi arid forages compared with arid plants, mg or g/Kg DM

	n#	Ca, g	P, g	Cu, mg	Mn, mg
<i>Semi-arid forages</i>					
Commercial mixed hay	7	18,2	1,7	9,6	28,1
Green wheat	7	8,4	2,3	9,7	42,9
Green Sulla	8	23,1	2,9	11,9	32,3
CV		34,7	18,2	24,3	33,2
means		19,6	2,5	10,9	32,7
<i>Overall means</i>					
Arid	295	11,6b	2,4	10,0	46,1
Semi-arid	22	19,6a	2,5	10,9	32,7
<i>Location effect</i>		***	ns	ns	ns
RMSE		5,9	0,9	3,3	51,2

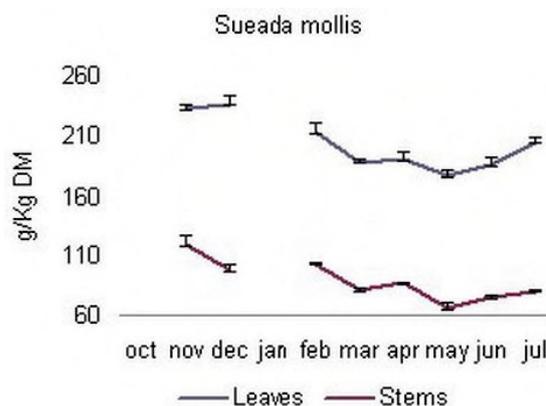
See Table 1

Average CP of arid plants content was 132 (g/kg DM) and ranged from 103 for *Cynodon dactylon* to 148 for *Sueada mollis*, and its seasonal variation was significant ( $P<0.001$ ) (table 1).

However this content referred only to edible green aerial parts of arid plants. Figures 1a to 1e show the CP content variation during the period of study. For *Cyperus conglomeratus*, CP content increased irregularly from autumn (November) to spring (May), culminating in March ( $174 \pm 1.0$ ) (figure 1a to 1e) and then decreased. The highest CP content for *Cynodon dactylon* was also observed in spring (May:  $132.1 \pm 2.3$ ) (figure 1a).



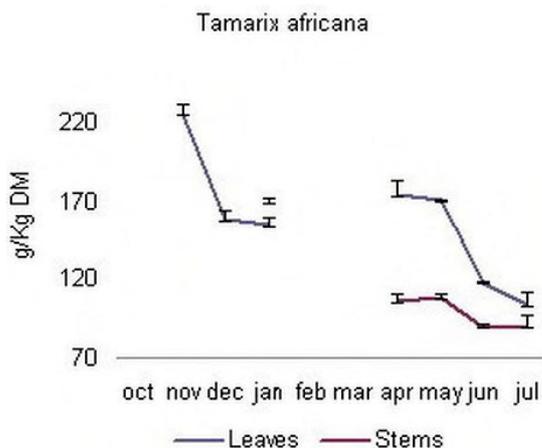
**Figure 1a.** Crude protein change of *Cyperus conglomeratus* and *Cynodon dactylon* from October to July, g/kg DM



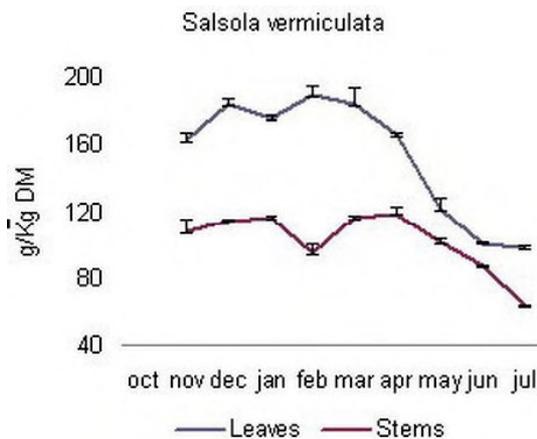
**Figure 1b.** Crude protein change of leaves and stems of *Sueda mollis* from October to July, g/kg DM

For this graminaceous herb, CP content increased first from October to December and then from February to May. From June to October CP content was the lowest and nearly constant.

Stems of *Sueda mollis* were less rich in CP than leaves and their content ranged from 65.9 in May to 118 in November (figure 1b). For leaves, CP decreased constantly from December ( $236 \pm 6.3$  g/kg DM), to May ( $177 \pm 4.8$ ) and then increased from May to July. For *Tamarix africana* CP content also decreased from autumn to summer for leaves and stems (figure 1c).



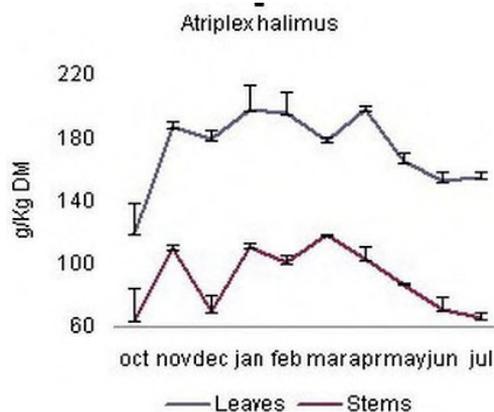
**Figure 1c.** Crude protein change of leaves and stems of *Tamarix africana* from October to July, g/kg DM



**Figure 1d.** Crude protein change of leaves and stems of *Salsola vermiculata* from October to July, g/kg DM

In this tree fodder the lowest CP content was observed during July with  $104 \pm 7.6$  for leaves and  $90.4 \pm 14.1$  for stems. *Salsola vermiculata* and *Atriplex halimus* showed a nearly similar seasonal change of CP content, for both leaves and stems (figures 1d and 1e).

**Figure 1e.** Crude protein change of leaves and stems of *Atriplex halimus* from October to July, g/kg DM



Apart from *Sueada mollis*, CP contents of arid plants decreased in the warm and dry seasons and increased in the cold and humid seasons. However, lignin and all the structural constituents remained unchanged between the seasons.

### **In vitro gas production parameters**

#### *Seasonal variation of kinetic parameters of GP*

Characteristics of *in vitro* gas production are shown in tables 5 and 6.

**Table 5.** *In vitro* kinetic parameters of arid plants and the main effects of plant species, morphology and seasons

	c	B, ml/ g OM	t <sub>1</sub> , h	t <sub>rm</sub> , h	r <sub>m</sub> , h <sup>-1</sup>	b <sub>24</sub> , ml/ g OM	b <sub>48</sub> , ml/ g OM	b <sub>96</sub> , ml/ g OM	rsd
<i>Arid plants species</i>									
<i>Atriplex halimus</i>	2,1a	207c	21,8ab	20,7a	0,056a	126b	175c	196c	3,9
<i>Cynodon dactylon</i>	1,5cd	286b	27,0a	16,4b	0,033c	135b	202b	248b	14,1
<i>Cyperus conglomeratus</i>	1,6bc	320a	19,0b	13,8b	0,046b	193a	262a	298	6,5
<i>Salsola vermiculata</i>	1,7b	195c	27,7a	20,7a	0,038bc	90,7c	140e	172d	3,6
<i>Sueada mollis</i>	1,5cd	178d	28,1a	12,8b	0,040bc	92,4c	131e	154e	6,2
<i>Tamarix africana</i>	1,4d	205c	19,6b	8,9c	0,047b	121b	159d	183cd	3,5
CV(\$)	17,9	17,8	50,8	46,7	36,7	28,6	21,6	18,2	
<i>Morphological fractions</i>									
Leaves	1,8a	200b	26,4	18,1a	0,046a	107b	153b	180b	5,2
Stems	1,6bc	191b	22,4	13,8b	0,044a	106b	148b	172b	3,4
Whole plant	1,5b	295a	24,8	15,7b	0,037b	151a	219a	261a	12,1
CV	21,7	18,6	52,2	52,6	39,7	32,8	24,6	20,1	
<i>Seasons</i>									
Winter	1,7a	238a	23,2	16,8a	0,044	129a	184a	215a	8,1
Spring	1,7a	229a	23,9	16,3a	0,043	124ab	177ab	207a	6,4
Summer	1,5b	198b	25,0	12,3b	0,042	106b	148c	174b	3,8
Autumn	1,7a	226a	28,2	19,2a	0,039	108b	161bc	196a	7,8
CV	22,1	26,7	52,4	52,2	40,7	36,0	29,5	26,9	
Arid means	1,6	225	24,6	16,0	0,043	119	170	200	6,5
<i>Main effects</i>									
species	***	***	***	***	***	***	***	***	
morphology	***	***	ns	**	***	***	***	***	
seasons	**	***	ns	***	ns	**	***	***	

See Table 1

**Table 6.** *In vitro* kinetic parameters of semi arid forages compared with arid plants

	c	B, ml/ g OM	t <sub>1</sub> , h	t <sub>rm</sub> , h	r <sub>m</sub> , h <sup>-1</sup>	b <sub>24</sub> , ml/ g OM	b <sub>48</sub> , ml/ g OM	b <sub>96</sub> , ml/ g OM	rsd
<i>Semi arid forages</i>									
Commercial hay	1,5	284b	14,3	8,7	0,059	193b	242b	267c	3,2
Green wheat	1,5	391a	12,2	7,5	0,063	286a	346a	373a	7,9
Green Sulla	1,5	333b	10,1	6,1	0,088	265a	304a	321b	4,5
CV(\$)	12,0	9,9	27,7	23,7	27,8	14,3	11,3	10,2	
<i>Overall means</i>									
Arid means	1,6	225b	24,6a	16a	0,043b	119b	170b	200b	6,5
Semi arid means	1,5	330a	11,4b	6,9b	0,078a	252a	296a	316a	4,7
<i>Location effect</i>	ns	***	**	***	***	***	***	***	
RMSE	0,4	60,5	12,5	8,3	0,02	44,1	51,5	55,2	

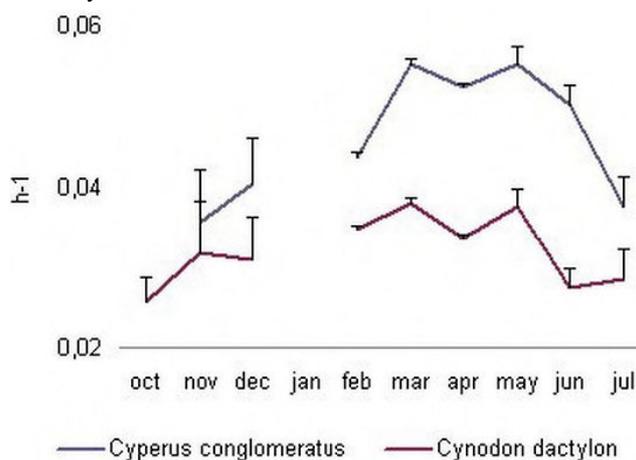
See Table 1

Arid plants species were differently degraded by ruminal microflora and their kinetic parameters were significantly different ( $P < 0.001$ ). Effect of the season was significant for all *in vitro* kinetic parameters, excepted  $t_1$ , the time needed for half GP and  $r_m$ , the maximum rate of gas production. The lowest values of  $c$ ,  $b$ ,  $t_m$  and  $b_{96}$  were reached in summer. In this season arid feeds gave less gas ( $b$ : 198 ml/g OM,  $P < 0.05$ ) and the maximum rate was reached faster after only 12.3 h of incubation. Comparable  $t_1$  were needed for the half gas production, and ranged from 23.2 h in winter to 28.2 h in autumn. Asymptotic gas production  $b$  ranged from 198.4 in summer to 238 ml/g OM in winter but remained lower than semi arid feeds: 330 ml/g OM, (table 6). Arid plants produced gas with comparable  $r_m$ , which ranged from 0.044 in winter to 0.039  $h^{-1}$  in autumn but remained lower than semi arid forages (0.078  $h^{-1}$ ). Kinetic parameter  $c$  varied significantly ( $P < 0.05$ ) from 1.5 in summer to 1.7 in the other seasons.

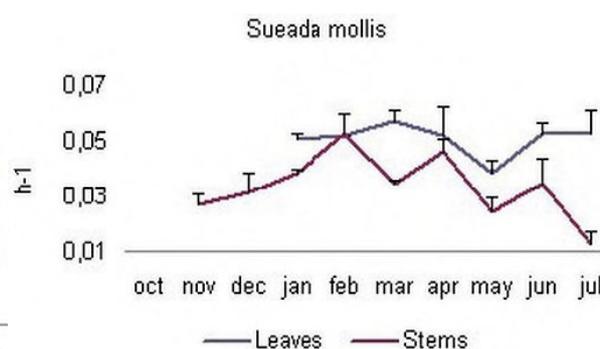
All kinetic parameters were also significantly affected by morphology (excepted  $t_1$ ) and species (table 5). Gas productions  $b$ ,  $b_{24}$ ,  $b_{48}$  and  $b_{96}$  were higher for herbaceous whole plants *Cyperus conglomeratus* and *Cynodon dactylon*, but leaves and stems of shrubs were fermented at higher  $r_m$  (0.044–0.046  $h^{-1}$ ). For leaves,  $c$  and  $t_m$  were significantly higher (1.8 and 18.1 h, respectively). Leaves and stems of shrubs and herbaceous whole plants reached  $t_1$  between 22.4 and 26.4 h and were not significantly different ( $P < 0.05$ ). Within the six arid species, *Atriplex halimus* had high  $c$ ,  $t_1$ ,  $t_m$  and  $r_m$  but its GP were lower than *Cyperus conglomeratus* and *Cynodon dactylon*. *Cyperus conglomeratus* had the highest gas production  $b$ ,  $b_{24}$ ,  $b_{48}$  and  $b_{96}$  but a lower  $t_1$  and  $t_m$ , all positive features for its nutritive value. In contrast, *Salsola vermiculata* was characterised by a high  $t_1$  and  $t_m$  and by a low GP and  $r_m$ , a negative aspects for animal nutrition. *Sueada mollis* showed the significantly lower GP ( $b$ ,  $b_{24}$ ,  $b_{48}$  and  $b_{96}$ ) than others shrubs. Its  $r_m$  was reached 12.8 h after the beginning of incubation, but its  $t_1$  was reached later at 28.1 h. *Tamarix africana* showed the lowest  $t_m$  (8.9 h) and a comparable amount of gas at 24 h ( $b_{24}$ ) than *Atriplex halimus*.

Semi arid forages differed significantly only by their GP. Green wheat had the highest GP followed by green Sulla and commercial mixed hay. Differences between arid and semi arid feeds were significant for all the kinetic parameters, excepted the parameter  $c$ . Mixed hay was the nearest to arid plants in terms of GP (table 6).

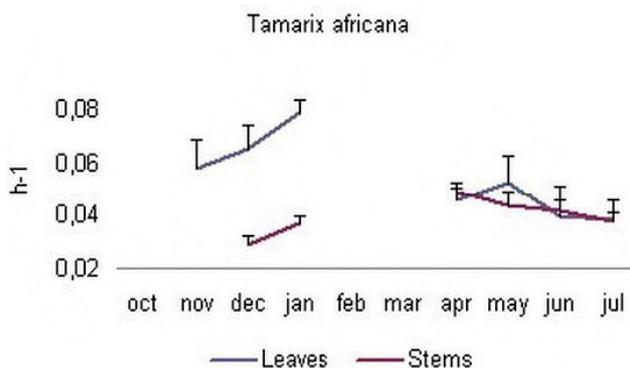
Figures 2a to 2e show the seasonal changes of  $r_m$  of *in vitro* gas production for arid plants between October 2002 and July 2003.



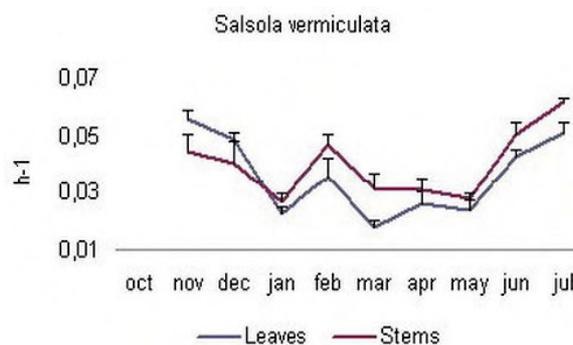
**Figure 2a.**  $R_m$  of GP for whole plant of *Cyperus conglomeratus* and *Cynodon dactylon* from October to July,  $h^{-1}$



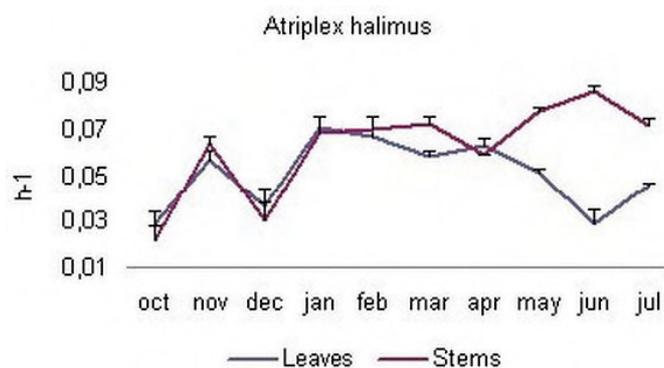
**Figure 2b.**  $R_m$  of GP for leaves and stems of *Sueada mollis* from October to July,  $h^{-1}$



**Figure 2c.**  $R_m$  of GP for leaves and stems of *Tamarix africana* from October to July,  $h^{-1}$



**Figure 2d.**  $R_m$  of GP for leaves and stems of *Salsola vermiculata* from October to July,  $h^{-1}$



**Figure 2e.**  $R_m$  of GP for leaves and stems of *Atriplex halimus* from October to July,  $h^{-1}$

Different trends of  $r_m$  were observed within species and their morphological fractions. Arid plants reached their maximum rate of *in vitro* GP between January and May, excepted *Salsola vermiculata* with an exactly opposite trend.

Table 7 shows the significant relationships between chemical constituents and kinetic parameters of gas production, for arid plants.

**Table 7.** Pearson coefficients of significant correlations between chemical constituents and estimated *in vitro* GP kinetic parameters for arid plants

	c	b	$t_1$	$t_m$	$r_m$	$b_{24}$	$b_{48}$	$b_{96}$
DM	-0,32***			-0,30***				
OM	-0,35***	0,20**		-0,30***				
ASHINS		0,43***				0,29***	0,34***	0,29***
EE	0,22*			0,17*				
CP	0,22**		0,17*	0,16*				
NDF	-0,32***	0,22**	-0,17*	-0,27***		0,18*	0,32***	0,32***
ADF	-0,27***	-0,27***	-0,16*	-0,26***				
ADL		-0,33***						
Ca			-0,28***		0,24**	-0,31***	-0,34***	-0,27***
P	0,37***	0,32***		0,24**		0,19*	0,19*	
Cu	0,37***			0,18*	0,26**	0,32***	0,34***	0,18*
Mn		0,61***				0,19**	0,18*	
						0,48***	0,51***	0,45***

\*:  $P < 0,05$ ; \*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*\*:  $P < 0,001$ . Not significant for  $P > 0,05$

Correlation coefficients of Pearson, ranged from -0.16 for  $t_1$  and ADF to 0.61 for b and Mn. The cell wall content (NDF) was correlated to all kinetic parameters of gas production, excepted  $r_m$ : negatively to c,  $t_1$ ,  $t_m$   $b_{48}$  and  $b_{96}$  and positively to b and  $b_{24}$ . A part from the negative correlation between  $t_1$  and Ca, all significant relationships between mineral contents and kinetic parameters were positive. Acid insoluble ash was positively correlated with GP ( $0.29 \leq r \leq 0.43$ ) but ADL was acid lignin content was negatively correlated to GP at any incubation time.

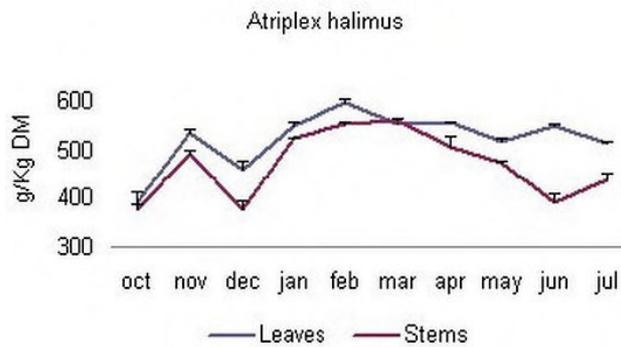
According to regression equations for roughages (Menke and Steingass 1988), metabolisable energy (MJ/Kg DM) and organic matter digestibility (g/Kg DM) were estimated (table 8).

**Table 8.** Estimated metabolisable energy and organic matter digestibility for arid plants compared with semi arid forages.

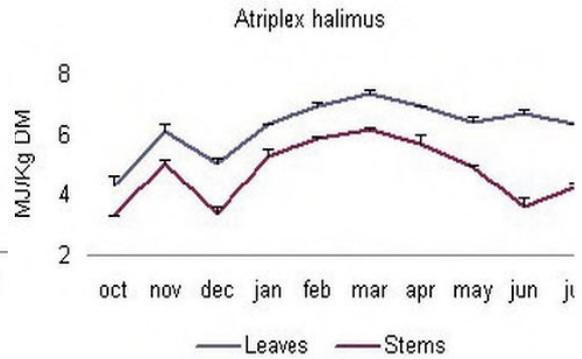
	ME, MJ/kg DM	OMD, g/kg DM
<i>Arid plants species</i>		
<i>Atriplex halimus</i>	5,50b	495,1b
<i>Cynodon dactylon</i>	5,36b	506,9b
<i>Cyperus conglomeratus</i>	6,71a	608,7a
<i>Salsola vermiculata</i>	4,92b	451,0c
<i>Sueada mollis</i>	5,09b	475,7bc
<i>Tamarix africana</i>	5,43b	512,2b
CV(%)	17,10	11,0
<i>Morphological fractions</i>		
Leaves	5,83a	498,5b
Stems	4,57b	462,7c
Whole plant	5,96a	552,1a
CV	15,0	12,1
<i>Seasons</i>		
Winter	5,57	514,8a
Spring	5,58	508,2a
Summer	5,01	462,9b
Autumn	5,16	487,7ab
CV	18,6	13,2
<i>Main effects</i>		
species	***	***
morphology	***	***
season	ns	**
<i>Semi-arid forages</i>		
Mixed hay	6,41b	594,9b
Green wheat	8,56a	739,8a
Green Sulla	8,50a	738,3a
CV	8,0	6,1
<i>Overall means</i>		
Arid	5,38b	496,3b
Semi-arid	7,91a	697,6a
<i>Location effect</i>		
RMSE	1,0	68,9

\*:  $P < 0,05$ ; \*\*:  $P < 0,01$ ; \*\*\*:  $P < 0,001$ ; ns: not significant ( $P > 0,05$ ); CV(%): coefficient of variation. Means with different letters, in each group, are significantly different ( $P < 0,05$ )

ME energy of arid plant ranged from 5.01 (in summer) to 5.58 MJ (winter-spring). Compared to semi arid forages and as for all others nutritional aspects, aridplants showed a significantly ( $P < 0.05$ ) lower ME and OMD. Winter and spring have a higher but not different from autumn ( $P > 0.05$ ). While leaves and stems showed a similar ME and OMD, whole plants of *Cyperus conglomeratus* and *Cynodon dactylon* have a highest value of ME and OMD (5.96 and 552, respectively). Studying mature *Cynodon dactylon* in Brazil, Nogueira Filho et al (2000), reported a similar value for ME (5.76 MJ/kg DM), but a lower value for OMD (409 g/kg DM). *Atriplex halimus*, a completely sampled shrubs from October to July, had its highest ME and OMD values in February (6.4 and 574.0 respectively), with an increasing trend from December to March and a decreasing one from March to June both for leaves and stems (figures 3a and 3b).



**Figure 3a.** Estimated organic matter digestibility for leaves and stems of *Atriplex halimus* from October to July, g/Kg DM



**Figure 3b.** Estimated metabolisable energy for leaves and stems of *Atriplex halimus* from October to July, g/Kg DM

But leaves of *Atriplex halimus* reached the highest ME value in March. Valderrábano et al (1996), reported similar ME value (7.5 MJ/Kg DM) in Northern regions of the Mediterranean sea. *Salsola vermiculata* showed the highest ME and OMD values in December, with a decreasing trend from December to May, both for leaves and stems (data not shown). Similarly, *Sueada mollis* had its highest ME and OMD values in December, with continuous decreasing trend from December to May. *Tamarix africana* had its highest ME and OMD values in November (6.24; 584), *Cyperus conglomeratus* in May (8.19; 695) and *Cynodon dactylon* also in May (6.81; 611).

## Discussion

Nutritional of arid plants were wholly lower than semi arid forages. Among the later, mixed hay was the nearest feed to arid plants. These characteristics were discrete during autumn, an intermediate season, then increased during the cold and wet seasons (winter and spring) and finally decreased from June to October during warm and dry seasons. *Salsola vermiculata*, an abundant halophyte shrub presented a reverse trend and gave a better nutritional and kinetic characteristics in the warm and dry season maybe for its bitter taste during the regrowth in the cold and humid seasons. In arid regions, plant forages grow at low density and became difficult to harvest for sampling, especially green edible aerial parts. In attempt to evaluate the density of some halophyte shrubs in the same area in April 1999 (unpublished data), we find, in the very dense zone, 0.7 tons/hectare for *Atriplex halimus*, 0.5 t/ha for *Salsola vermiculata*, 0.2 t/ha for *Tamarix africana* and 0.06 t/ha for *Sueada mollis*. However, only few percents for this biomass are edible.

Leaves of arid shrubs were less fibrous than stems. Lignocellulosic content (express as ADF) was more abundant in stems with also were more lignified than leaves and herbaceous whole plants. In fact, *Cyperus conglomeratus* and *Cynodon dactylon*, have the lowest ADL contents, and are generally intensively browsed and rapidly exhausted from pasture like many others herbaceous plants. Surprisingly, edible aerial parts of arid shrubs have a lower ADL content than a whole semi arid leguminous *Sulla* (76.3 vs. 110 g/kg DM) and have less NDF fibres than many cereal straws, as reported by Wanapat et al (1989). In any case, arid browses were less ligneous than some Mediterranean shrubs (Ammar et al 2005). Arid plants evaluated in this study can supply adequate mineral level for Ca, P, Cu and Mn for maintenance needs for ruminants (Ca: 4.0, P: 3.0 g/kg DM, Mn: 50.0 and Cu 10.0 mg /Kg DM) according to Andrieu and Demarquilly (1987). However, positive correlations between P content and GP indicate a stimulatory effect of increasing P concentration on cell content degradation and consequently on the amount of gas produced. Probably a higher mineral content is needed for used ruminal microflora. For phosphorus, Komisarczuk-Bony and Durand (1991) suggested that 5 g/kg ODM were required for ruminants fed on roughages; consequently, less than 50% of P is supply by our arid plants. CP contents of studied arid plants were valuable and comparable with some woody plant foliages from African semi-arid regions as reported by Breman and Kessler (1995). ME and OMD were low for arid plants and if we assume that 10 g microbial protein are produced per 1 MJ of ME intake (AFRC 1993); only 50-60 g of microbial protein can be synthesized per Kg of DM, in the rumen. Current results are concordant with those from previous study conducted in the same area from March to June 1996 (Haddi et al 2003). In this study whole plant of *Salsola vermiculata*, *Atriplex halimus*, *Sueada mollis* and two others shrubs showed their best nutritive characteristics in spring, even with significant differences between species. Chemical aspects seemed less affected than kinetic parameters by the season,

suggesting that the rumen microflora encountered additional constraints linked to physical structure of plant tissues or toxic substances which change during the life cycle of plants.

## Conclusion

Arid plants and semi arid forages differed mainly by their *in vitro* degradation parameters which reflect not only the chemical aspects but also others characteristics related to the tissues structure elaborated as an adaptive response to the arid context. The fact that maximum rate ( $r_m$ ) of *in vitro* degradation of the arid browses was similar around the year can be assigned to the constant fibrous but not highly lignified structure of arid cell wall.

Arid plants are of essential importance in supporting basic nutritional requirements of domestic ruminants in the arid regions. They are fibrous but not ligneous and their nutritive constituents were low compared to those of semi arid zones. However, arid plants can reveal their nutritive potential (minerals, energy and nitrogen) through their leaves during the wet and cold season, when several thousand ovine are browsing in these regions. Plant species and morphological composition were the discriminatory factors for the nutritive value essentially for chenopodium shrubs and tree fodder. Many different factors like precipitation regimen, specific growth cycle of each arid plant, animal browsing pressure, anti-nutritional substances, etc..., can influence their nutritive value and deserve further investigations.

## Acknowledgments

This study was supported by University of Constantine (Algeria) and University of Liege (Belgium) through the CUD-PIP collaborative project "Health and production of ruminants in East Algeria", funded by General Directory of Cooperation and Development (GDGD, Brussels). The first author would thank Dr. D Pizzighello (University of Padua, Italy) for assistance during statistical analysis and Dr. A Boukerrou (Veterinary Regional Laboratory, Constantine) for laboratory facilities.

## References

- AFRC 1993 Energy and protein requirements of ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Response to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK.
- Ammar H, López, S and González J S 2005 Assessment of the digestibility of some Mediterranean shrubs by *in vitro* techniques. *Animal Feed Science and Technology* 119: 323-331
- Andrieu J and Demarquilly C 1987 Valeur alimentaire des foin et des pailles. In « Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation ». INRA Editor, Paris, pp.163-182.
- AOAC 1990 Official Methods of Analysis, 15<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Breman H and Kessler J J 1995 Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions. Springer-Verlag Berlin, Germany, 341 p.
- El- Waziry A M 2007 Nutritive value assessment of ensiling or mixing acacia and *Atriplex* using *in vitro* gas production technique. *Ressources Journal of Agriculture and Biological Science* 3(6): 60-614
- Groot J C J, Cone J W, Williams B A, Debersaques F M A and Lantinga E A 1996 Multiphasic analysis of gas production kinetics for *in vitro* fermentation of ruminants feeds. *Animal Feed Science and Technology* 64: 77-89
- Haddi M L, Filacorda S, Meniai K, Rollin F and Susmel P 2003 *In vitro* fermentation kinetics of some halophyte shrubs sampled at three stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology* 104: 215-225
- Haddi M L, Filacorda S and Susmel P 1999 Comparison of different inocula to describe some halophyte shrubs using the gas-test. In "Recent progress in animal production Science. 1". Proceedings of the ASPA XIII Congress, Piacenza (Italy), June 21-24, pp: 360-362
- Haddi M L, Meniai K, Filacorda S and Susmel P 2002 Comparison between exponential and logistic models for estimation of kinetic parameters of *in vitro* fermentation of *Atriplex halimus*. *Annals of Agricultural Sciences (Cairo, Egypt)*. Sp. Issue 2, 575-593
- Hirche A, Boughani A and Salamani M 2007 Evolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. *Sécheresse* 18(4): 314-20 [http://www.john-libbey-eurotext.fr/e-docs/00/04/39/F4/vers\\_alt/VersionPDF.pdf](http://www.john-libbey-eurotext.fr/e-docs/00/04/39/F4/vers_alt/VersionPDF.pdf)

- Komisarczuk-Bony S and Durand M 1991** Nutrient requirement of rumen microbes. In "Recent advances on the nutrition of herbivores", MSAP, pp. 133-141
- Lemnaouar N F Z 2001** Etude comparative de deux pâturages (jachère et médicago). Thèse de Magistère en sciences vétérinaires. Université de Constantine. Algeria, 156 p.
- Menke K H and Steingass H 1988** Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development* 28: 7-55
- Nogueira Filho J C M, Fondevila M, Urdaneta A B and Gonzalez Ronquillo M 2000** In vitro microbial fermentation of tropical grasses at advanced maturity stage. *Animal Feed Science and Technology* 83: 145-157
- Pagot J 1992** Animal production in the tropics. ACTT. Macmillan Publisher, pp.32-66
- Robertson J B and Van Soest P J 1981** The detergent system of analysis. In: James W P T and Theander O (Editors), The analysis of dietary fiber in food, Volume 123. Marcel Dekker, NY, p. 158.
- SAS (Statistical Analysis System) 2003** User's Guide, SAS Institute, Cary, NY, USA.
- Valderrábano J, Munoz F and Delgado I 1996** Browsing ability and utilization by sheep and goats of *Atriplex halimus* L. shrubs. *Small Ruminant Research* 19: 131-136
- Van Soest P J, Robertson J B and Lewis B A 1991** Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597 <http://jds.fass.org/cgi/reprint/74/10/3583.pdf>
- Wanapat W, Varvikko T and Vanhatalo A 1989** Degradability of cereal straw using in sacco and mobile bag techniques. *Australian Journal of Animal Science* 2 (3): 421-423

*Received 2 May 2008; Accepted 12 March 2009; Published 18 April 2009*

## EVALUATION DE LA VALEUR NUTRITIVE PAR LA COMPOSITION CHIMIQUE DES PRINCIPAUX FOURRAGES DES ZONES ARIDE ET SEMI-ARIDE EN ALGERIE

Reçu le 19/01/2009 – Accepté le 28/12/2009

### Résumé

Des plantes fourragères de Biskra (deux herbacées *Cynodon dactylon*, *Cyperus conglomeratus* et un arbuste *Tamarix africana*) et, à titre comparatif, de Constantine (Sulla : *Hedysarum coronarium*, des céréales (orge en vert, blé en montaison et avoine en épiaison) et des foin commerciaux) ont été analysées pour leurs contenus : matière sèche (MS), matière minérale (MM), matière organique (MO), matière grasse (MG), cendres insolubles (CI), matière azotée totale (MAT), neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF), acid detergent lignin (ADL) et en minéraux (Ca, P, Na, K, Mg, Cu, Zn et Mn).

La MS est plus importante, dans le cas des foin mixtes (89.21%) pour les fourrages de Constantine. Cependant, au Sud (Biskra), c'est l'arbuste *T. africana* qui représente le taux le plus élevé (50.86%). L'analyse des minéraux, a révélé un contenu en Na plus élevé chez l'arbuste *T. africana* par rapport aux deux herbacées. Au Nord, c'est *H. coronarium* qui a montré le taux le plus élevé, à savoir 63.4 g/Kg.

L'analyse de la valeur nutritive des fourrages du Sud a révélé une digestibilité de la MS plus faible que celle du Nord (44.4% contre 50.60%).

**Mots clés :** composition chimique, fourrages, zone aride et semi-aride, valeur nutritive, *Cynodon dactylon*, *Cyperus conglomeratus*, *Tamarix africana*, *Hedysarum coronarium*

### Abstract

Forage plants from Biskra (two grasses *Cynodon dactylon*, *Cyperus conglomeratus* and a shrub *Tamarix Africana*) and from Constantine, for a comparison (legume sulla : *Hedysarum coronarium*, grains (barley green, wheat and oats in bolting heading) and commercial hay) were analyzed for their contents: dry matter (DM), mineral matter (MM), organic matter (MO), fat, insoluble ash, crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL) and minerals (Ca, P, Na, K, Mg, Cu, Zn and Mn).

The DM value is the most important in the case of the mixed hay (89.21%) in Constantine forage. However, in Biskra, the shrub *T. africana* reveals the most value (50.86%).

Minerals analysis shows that Na contents were higher in *T. Africana* in comparison to the two grasses. In the North, *H. coronarium* reveals the higher rate (63.4 g/Kg). The nutritional value of the southern forages has a lower DMD (44.4%) than the northern ones (50.60%).

**Keywords:** Chemical composition, forage, arid and semi-arid, nutritional value, *Cynodon dactylon*, *Cyperus conglomeratus*, *Tamarix africana*, *Hedysarum coronarium*

H. ARAB<sup>1</sup>  
M.L. HADDI<sup>2</sup>  
S. MEHENNAOUI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire

Environnement, santé et  
production animale.  
Département vétérinaire.  
Faculté des sciences.  
Université Hadj Lakhdar.  
Batna. Algérie.

<sup>2</sup> Département Biochimie  
Microbiologie. Faculté des  
sciences de la nature et de la  
vie. Université Mentouri  
Constantine. Algérie.

### ملخص

تمت دراسة تحليلية لنباتات علفية اجتتبت من ناحيتي بسكرة (الجنوب: اثنتين منهما من الأعشاب: النجم : *Cynodon dactylon*, السعد: *Cyperus conglomeratus* و الأخرى من عائلة الشجيرات: *Tamarix africana*) و قسنطينة (منطقة الشمال: من أجل المقارنة: نبتة بقولية السلة *Hedysarum coronarium*, الشعير الاخضر، نباتات القمح و الشوفان، و الأعلاف التجارية). هذه التحليل خصت : من المادة الجافة، المادة العضوية، الأملاح، الأملح الغير ذائبة في الحمض، الأزوت، الألياف (NDF, ADF, ADL) وكذا بعض المعادن: الكالسيوم (Ca)، الفسفور (P)، الصوديوم (Na)، البوتاسيوم (K)، المغنيزيوم (Mg)، النحاس (Cu)، الزنك (Zn) و المنغنيز (Mn).

أظهرت المادة الجافة لأعلاف الشمال أكبر قيم للأعلاف التجارية (89.21%) في منطقة الشمال بينما بالجنوب فإن أكبر قيمة سجلت في شجيرة *T. africana*.

أما دراسة الأملاح المعدنية فقد أبرزت محتوى عاليا لعنصر الصوديوم (Na) في شجيرة *T. africana* (بسكرة) في حين سجل ذات العنصر أكبر قيمة في نبتة *Hedysarum coronarium* (63.4 غ/كغ).

كما أثبتت دراسة القيمة الغذائية أن قيم إنهضامية المادة الجافة في نباتات الجنوب أقل من قيم نباتات الشمال (44.4% بالجنوب مقابل 50.60% بالشمال).

**الكلمات المفتاحية :** التركيب الكيميائي، الأعلاف، المنطقة الجافة و الشبه الجافة، القيمة الغذائية، النجم *Cynodon dactylon*, السعد *Hedysarum coronarium*, *Tamarix africana*, *Cyperus conglomeratus*

La qualité de la nutrition est un facteur clé de tout système d'élevage des ruminants qui se veut efficace. Ces derniers doivent recevoir tous les éléments nutritifs diététiques essentiels en quantités optimales, cependant plusieurs facteurs sont impliqués et largement responsables des situations de carences tel que : l'intensification d'élevage, l'instabilité du climat, la fertilisation, les caractéristiques du sol qui influencent la biodisponibilité de ces nutriments. Dans les zones arides et semi-arides de l'Est algérien, le contexte alimentaire se caractérise chez les ruminants par une offre fourragère insuffisante tant qualitativement que quantitativement. Sur le terrain l'élevage est surtout extensif. Les fourrages constituent l'aliment de base pour les ruminants qui en tirent 90-95% de leur nourriture et ils couvrent entre 70 à 80% des besoins énergétiques de cette catégorie d'animaux [1].

L'alimentation de ces animaux est constituée par une végétation annuelle spontanée des pâturages naturels, des jachères ainsi que par les résidus de l'agriculture, principalement de la paille. Le bilan fourrager en Algérie a permis de relever que le taux de couverture des besoins du cheptel algérien se situe à moins de 80% pour une offre estimée à 8 milliard d'unité fourragère en 2001 [2]. La valeur nutritive d'un fourrage est dépendante du contenu et de la forme des éléments nutritifs présents dans la plante et de la quantité qui sera ingérée par l'animal [3]. L'analyse de la composition chimique constitue la base des méthodes d'évaluation de la valeur nutritive des plantes fourragères, car elle permet de quantifier les teneurs en nutriments (protéines, fibres, matière grasse, minéraux...) et en facteurs antinutritionnels (silice, métaux lourds, lignine...) de l'aliment, et donc de renseigner sur sa richesse ou sa faiblesse pour tel ou tel élément nutritif. Elle permet donc au nutritionniste de sélectionner la combinaison d'aliments qui répond au mieux aux besoins de l'animal.

La présente étude a pour objectifs de déterminer la composition chimique (MS, MO, MM, fibres, protéines, matière grasse, minéraux majeurs et mineurs) de quelques plantes fourragères communément consommée par les animaux domestiques dans deux zones géographiques de l'Est algérien : la zone de Biskra (climat aride) et la zone de Constantine (climat semi-aride) et d'évaluer leur valeur nutritive afin d'apprécier les apports et les déficits.

## MATERIELS ET METHODES

### Matériel végétal

Les plantes fourragères de la zone Sud-Est de Biskra au niveau de la localité d'El Haouche, ont été prélevées du septembre 2002 à juillet 2003 :

*Cynodon dactylon*, communément appelé chiendent : c'est une herbacée de la famille des graminées cosmopolite ; elle se maintient également dans des zones arides comme les abords du chott Melghir et rend l'étude de sa valeur nutritive nécessaire suite à sa contribution à l'alimentation des troupeaux aussi bien d'ovins que de dromadaire. Elle a été prélevée pendant dix campagnes

espacées d'un mois environ durant une année à l'exception du mois de Septembre.

*Cyperus conglomeratus*, vulgairement appelée « Assaad » est une plante herbacée, monocotylédone de la famille des cypéracées [4]. Cette plante a été prélevée pendant sept campagnes aux mois suivants : février, mars, avril, juin, novembre et décembre.

*Tamarix africana* : c'est un arbuste de la famille des tamaricacées [4], prélevée pendant neuf campagnes espacées d'un mois : février, avril, mai, juin, juillet et novembre.

Les prélèvements de cette dernière plante ont été fractionnés en tiges et feuilles.

Le groupe des plantes fourragères appartenant à la zone semi-aride de Constantine est composé par :

- les céréales (orge en vert, avoine en épiaison et le blé en montaison).
- Les foins commerciaux constitués principalement de plantes dicotylédones (en majorité des crucifères ou *Brassicacées*, des *Astéracées*, des ombellifères ou *Apiacées*, des *Fumariacées*, des *Euphorbiacées* et des *Papilionacées*) et
- Une légumineuse : Sulla (*Hedysarum coronarium*)

Les fourrages de ce groupe ont été prélevés une seule fois en 2004 à différent moment de l'année et analysés comme plante entière ; seule Sulla est prélevée pendant trois campagnes.

### Analyses chimiques

Les plantes prélevées ont été séchées à l'étuve à 55 C° pendant 72h. L'arbuste *Tamarix africana* et Sulla ont été fractionnés en tiges et feuilles. Les échantillons séchés ont été broyés à une grille de 1mm de diamètre puis et conservés dans des pots étiquetés avec le code de l'échantillon à l'abri de la lumière et de l'humidité.

La détermination de la matière sèche (MS), la matière organique (MO) et des cendres a été effectuée selon Sauvart et al. [5].

Le dosage de l'azote a été effectué selon la méthode de Kjeldahl (1983) [6].

La matière grasse a été extraite en utilisant la méthode de Soxhlet reportée au journal officiel des communautés européennes N° L.279/17 [7]. La procédure de Van Soest et al. [8] a été appliquée pour déterminer les fibres neutres (NDF), les fibres acides (ADF) et la lignine (ADL).

La digestion humide par l'acide nitrique et perchlorique [9] a été faite pour obtenir des extraits destinés à la détermination des éléments minéraux majeurs et mineurs (Ca, Mg, K, Na, Cu, Mn et Zn) en utilisant la spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme

(Shimadzu AA modèle 6800). Cette extraction consiste à peser en double 1g de l'échantillon à analyser dans des béchers préalablement tarés. Environ 10 ml d'acide nitrique pur sont ajoutés pendant toute une nuit. Le contenu des béchers est chauffé jusqu'à la disparition des fumées rouge-orangée de NO<sub>3</sub>. Trois ml d'acide perchlorique à 70 % sont additionnés et portés à ébullition jusqu'à la réduction du volume. Le résidu est filtré dans des fioles de 50 ml et ajustées avec de l'eau distillée à leur volume final.

La technique au nitrovanadomolybdate décrite par Kamoun [10] a été effectuée pour déterminer les concentrations du phosphore dans les plantes étudiées par la spectrophotométrie dans le visible à 430 nm. Un gramme de l'échantillon est pesé dans des creusets préalablement tarés, et placé dans l'étuve à 110 C° pendant deux heures. Les résidus secs sont incinérés dans un four à moufle à 450C° pendant 2 heures jusqu'à obtention de cendres blanches. L'ajout de 10 ml d'acide nitrique 1 N permet de dissoudre les cendres qui sont transvasées dans des béchers de 30 ml. Ces deniers sont chauffés sur plaque pendant 30 minutes. La solution obtenue est filtrée dans des fioles de 50 ml et complétées à leur volume final avec de l'eau distillée. Le réactif nitrovanadomolybdate est obtenu à partir d'un mélange de solutions de molybdate d'ammonium à 5% et de vanadate d'ammonium à 0.25 % donne une coloration jaune en présence de phosphore qui est dosé par absorption moléculaire.

La valeur énergétique et la valeur azotée ont été estimées sur la base des équations reportées par différents auteurs nutritionnistes, en particulier les équations suivantes :

**DMS :  $0.98 \times CC + NDF (1.473 - 0.789 \log ADF) - 12.9$**  [11] cité par Kallah [12] sachant que :

DMS : la digestibilité de la matière sèche, CC : le contenu cellulaire, NDF : neutral detergent fibre, ADF : acid detergent fibre

**TDN = DMS – cendres totales + 1.25 × extrait éthéré** [13]

TDN : total digestibles nutrients

**UNT (%) :  $112.6 - 1.372 \times ADF$**  [14]. UNT : unités nutritives totales.

### Analyse statistique

Les résultats obtenus pour chaque échantillon ont été analysés statistiquement grâce au logiciel SAS [15]. Les moyennes obtenues ont été comparées entre elles par l'analyse de variance (ANOVA) en effectuant le test multiple de Fisher pour un seuil de significativité de 5%.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### Aspect botanique

Les espèces pâturées varient suivant la saison et surtout en fonction des pluies. Cependant il existe toujours des plantes vivaces qui subsistent durant toute l'année.

L'arbuste *Tamarix africana* se présente parfois aussi comme arbre pouvant atteindre 1.90m de haut. Les feuilles, les nouvelles tiges et les bourgeons sont consommés par les ruminants en particulier les chèvres et les dromadaires. La plante est présente toute l'année.

*Cyperus conglomeratus* est une herbacée, pérenne dont le rythme de croissance est lié aux crues des oueds. *Cynodon dactylon* est une herbacée présente toute l'année à cause de ses racines en talus. L'importance de sa croissance est rythmée par les crues des oueds.

Les plantes de la région semi-aride de Constantine sont des plantes cultivées.

### Teneur en nutriments

Le pourcentage moyen de la MS varie de 21.50% chez l'orge vert à 89.21% pour les foin mixtes (Tableau1). Les plantes fourragères du Sud-Est de Biskra ont en moyenne 5% d'humidité en moins par rapport aux fourrages du Nord, donc un besoin élevé en eau chez les animaux qui les consomment. Les taux élevés de MS sont également connus comme facteurs limitant de la digestibilité des fourrages. Les arbustes suivants : *Arbutus unedo*, *Calicotome villosa* et *Erica arborea* du Nord-Ouest de la Tunisie, ont des taux de MS variant de 26 à 53 %, comparables à ceux obtenus avec nos fourrages [16].

La composition chimique des plantes fourragères étudiées est présentée dans le tableau 2, exprimée en pourcentage de la matière sèche. Il apparaît que la matière minérale varie de 6.71% pour les foin mixtes et de 16.99% chez *Cynodon dactylon*. Cette dernière est caractérisée par la plus faible teneur en matière organique (83.01%) et des teneurs élevées en cendres insolubles (7.39%). Le foin mixte est caractérisé par la teneur la plus élevée en MO (93.29%) et la plus faible en cendres insolubles (0.05%). Les fourrages du Nord sont significativement (P<0.05) plus riches en MO avec des teneurs allant de 87.11 à 93.48 g/100 g MS, mais ne sont pas différent entre eux en terme statistique. L'étendue de la variation pour les fourrages du Sud est plus importante : 69.29 à 90.04 % MS (Tableau 2).

*Cynodon dactylon* de notre région saharienne présente un taux moyen en MO (83.01%) inférieur de celui de la région tropicale prélevé pendant la saison sèche de l'ordre de 94.5 % MS, cependant les taux de MO du foin de dicotylédon (92.10) et de l'avoine en épiaison (91.65) sont comparables aux taux moyens de la MO des herbacées tropicales : *Brachiaria humidicola* (93.8) et *Pennisetum purpureum* (91.5) [17].

**Tableau 1.** Teneurs moyennes des plantes fourragères en matière sèche (MS) : exprimées en pourcentage (%) de la matière fraîche

Espèces fourragères	Nom latin	Taux moyen MS ± EC
Chien dent	<i>Cynodon dactylon</i>	48.39 ± 12.08
Tamarix	<i>Tamarix africana</i>	50.86 ± 7.58
Essaad	<i>Cyperus conglomeratus</i>	25.30 ± 5.81
Sulla	<i>Hedysarum coronarium</i>	12.88 ± 1.18
Foin de dicotylédone	Divers	86.21 ± 1.70
Foins mixtes	Divers	89.21 ± 1.27
Avoine (en épiaison)	<i>Avena sterilis</i>	36.56 ± 4.05
Blé en montaison	<i>Triticum aestivum</i>	28.07 ± 2.62
Orge en vert	<i>Hordeum vulgare</i>	21.50 ± 2.23
Fourrages Sud	Divers	43.84 ± 13.86
Fourrages Nord	Divers	34.78 ± 30.24

Les arbustes de la Tunisie ; région proche de notre zone d'étude ont des taux moyen de MAT inférieur à celle de *Tamarix africana* (14.17), allant de 5.5 à 22 % MS [16], alors que certains arbustes d'Espagne ont des taux similaires à celui de *Tamarix africana* allant de 11 à 21 % de MS [18].

*Cynodon dactylon* comporte une quantité appréciable en matière minérale (170 g/kg de MS) et en cendres insolubles (74g/kg de MS). Cela s'explique d'un coté par la nature de la morphologie de la plante, qui est une herbacée poussant au ras du sol et dans le lit des oueds et dans les zones inondables, et d'un autre coté par la nature du climat qui influe de manière significative et se traduit par une abondance des cendres en général et des cendres insolubles dans les fourrages du Sud.

La teneur moyenne en MAT de cette herbacée (10,99%) est similaire à celle de *Cynodon dactylon* du Brésil prélevée en saison sèche (10.3%).

Les herbacées : *C. plectostachyus*, *B. humidicola* et *P. purpureum* de la même région ont aussi des teneurs en MAT comparables à nos résultats : 8,7, 11,9 et 15,3 respectivement [17]. En revanche, la légumineuse « Sulla » constitue la meilleure source en MAT (21.03%).

La contribution de la matière grasse des plantes fourragères étudiées ne dépasse pas 3% de la matière sèche. Les teneurs en fibres neutres (NDF) sont de : 49.52% pour les fourrages du Nord et de 59.55 % pour les fourrages du Sud. La teneur moyenne en NDF de la légumineuse du Nord d'Algérie (Sulla) est faible (33.10%) par rapport aux légumineuses de l'ouest d'Afrique : *Crotalaria senegalensis*, *C. greensis*, *Alysicarpus glumaceus* et *A. rugosus* respectivement : 50.0, 55.6, 49.6 et 57.1 % MS [12].

Les fibres ADF sont de 33.01% pour les fourrages du Sud et 32.53% pour ceux du Nord, elles sont comparables à celle de l'herbacée tropicale *P. purpureum* (34.6) [17].

En revanche la teneur moyenne en ADL corrigées par rapport aux cendres (ADL-cendre) est de 6.33 pour les fourrages du sud et 7.99 pour les fourrages du nord (Tableau 3). Le taux moyen en ADL du Sulla (11.41) se situe entre les taux moyens des légumineuses d'Espagne : *E. cyclocarpum* (8.5) < *A. conigera* (10.4) < *L. leucocephala* (13.3) < *A. lebbekoides* (13.5) [19]. Les teneurs moyennes des cendres piégées dans les fibres NDF et celles de l'ADL sont élevées chez les fourrages du sud 2.50 et 2.88 % respectivement. Elles sont faibles chez les fourrages du nord 0.96 et 0.99 % respectivement.

Globalement, les deux groupes de plantes fourragères diffèrent de façon significative (P<0.05) pour tous les constituants pariétaux sauf pour l'ADF et l'ADL rapportées à la MS (Tableau 3). La teneur en ADL corrigée par les cendres est significativement plus élevée dans les fourrages du Nord, que dans ceux du Sud respectivement 7.99 et 6.33% (Tableau 3). Ainsi les taux d'ADL non corrigé exprimés par rapport à la MS sont analogues entre les deux groupes de fourrages (8.99 et 9.2) respectivement suggérant que la différence observée est due probablement à la partie solubilisée par le traitement acide.

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

**Tableau 2 :** Moyennes, écart-types et valeurs extrêmes des composants chimiques des différentes plantes fourragères (exprimés en % de la MS)

Les fourrages	MS résiduelle	MM	MO	CI	MG	MAT
<i>Cynodon dactylon</i>	95.11±0.77 [93.39-96.32]	16.99±7.29 [9.96-30.71]	83.01±7.29 [69.29-90.04]	7.39±2.13 [3.24-10.75]	1.39±0.41 [0.67-2.22]	10.99±2.16 [8.12-15.19]
<i>Tamarix africana</i>	94.68± 1.33 [91.93-96.44]	16.32± 6.61 [9.42-30.70]	83.67± 6.61 [69.30-90.58]	1.26± 1.41 [0.10-5.75]	1.47± 0.39 [0.88-2.27]	14.17± 4.12 [8.04-22.92]
<i>Cyperus conglomeratus</i>	93.20± 1.21 [92.16-95.85]	13.28± 1.54 [11.67-15.33]	86.72± 1.54 [84.67-88.33]	5.30± 1.90 [2.2-8.46]	1.53± 0.38 [0.98-2.32]	14.26± 2.13 [11.23-17.86]
<i>Hedysarum coronarium</i>	90.84± 0.84 [89.78-92.05]	12.04± 0.84 [10.64-12.89]	87.96± 0.84 [87.11-89.36]	0.58± 0.30 [0.22-1.04]	2.11± 0.58 [1.38-2.74]	21.03± 0.90 [20.04-22.24]
Foins de dicotylédones	92.88± 0.03 [92.86-92.90]	6.71± 0.04 [7.86-7.93]	92.10± 0.04 [92.07-92.14]	4.11± 0.2 [3.97-4.25]	1.75± 0.08 [1.57-1.68]	8.46± 0.29 [8.46-8.88]
Foins mixtes	92.77± 0.09 [92.71-92.83]	7.89± 0.27 [6.52-6.90]	93.29± 0.27 [93.10-93.48]	0.05± 0.07 [0-0.11]	1.35± 0.19 [1.13-1.38]	10.30± 0.27 [10.35-10.76]
Avoine (en épiaison)	93.31± 0.10 [93.24-93.39]	8.35± 0.02 [8.33-8.37]	91.65± 0.02 [91.63-91.67]	2.78± 0.20 [2.75-2.81]	1.81± 0.08 [1.63-1.74]	12.58± 1.02 [11.86-13.31]
Blé (en montaison)	88.67± 0.03 [88.65-88.69]	7.48± 0.12 [7.40-7.57]	92.51± 0.12 [92.43-92.60]	3.82± 0.04 [3.68-3.97]	2.04± 0.16 [1.67-1.86]	12.88± 0.08 [12.83-12.94]
Orge en vert	93.48± 0.01 [93.47-93.48]	7.70± 0.03 [7.68-7.72]	92.30± 0.03 [92.28-92.32]	4.15± 0.13 [4.10-4.24]	1.54± 0.23 [1.29-1.58]	15.15± 0.62 [14.71-15.59]
<b>Fourrages Sud</b>	94.50± 1.33 [91.93-96.44]	15.42±5.93 [9.96-30.71]	84.28± 5.93 [69.29-90.04]	4.11±3.25 [0.11-10.75]	1.46±0.40 [0.67-2.32]	12.75± 3.30 [8.04-22.92]
<b>Fourrages Nord</b>	91.92± 1.86 [88.65-95.87]	9.59± 2.36 [6.52-12.89]	90.41± 2.36 [87.11-93.48]	1.91±1.72 [0-4.25]	1.88±0.47 [1.09-2.74]	15.0±1.80 [8.46-22.24]

MS : matière sèche, MM : matière minérale, MO : matière organique, MG : matière grasse, CI : cendres insolubles, MAT : matière azotée totale

Selon Tremblay et al. [3] le standard de qualité d'un fourrage à partir de leurs contenus en NDF, ADF, protéines brutes et en DMS est classé d'excellent à un standard 5. A partir de nos résultats nous retenons que les fourrages Sud et Nord sont classés en 5ème standard pour la DMS. La valeur respective des NDF permettent de les classer en standard 3 et 2, alors que le taux d'ADF les classe en standard 1.

Les concentrations en éléments minéraux des différentes plantes fourragères sont rassemblées dans le tableau 4, exprimé en g/kg pour les macroéléments et en mg/kg pour les oligoéléments. Il apparaît que les fourrages du Sud sont les plantes qui renferment les taux les plus élevés en Mg (5.27), Mn (77.10) et Zn (44.40). Les fourrages du Nord ont des teneurs élevées en : Ca (17.37), Na (41.66) et Cu

(10.60), tandis que les teneurs en P et en K sont proches pour les deux types de fourrages (Tableau 4).

Les plantes fourragères de l'ouest d'Afrique : *Crotalaria senegalensis*, *C. greensis*, *Alysicarpus glumaceus*, *A. rugosus*, *Cassia mimosoides* et *Ipomea eriocarpa* ont d'une part des teneurs moyennes en Na (de 0.3 à 0.6) et en K (8.8 – 18.6) faibles par comparaison à nos résultats, et d'autre part des teneurs en Mg similaires à la majorité des fourrages de notre zone : 1.6, 1, 2.3, 1.5, 0.9, et 2.8 g/kg de MS respectivement [12].

Les taux phosphocalciques des fourrages sont élevés par rapport aux arbustes de Croatie reportés par Rogosis et al. [20]. En revanche les arbustes des Iles de Canarie ont des taux similaires à nos résultats allant de : 1.5 à 2.8 g/kg et la teneur calcique de l'arbuste *Acacia salicina* (25.1) est comparable à celle du *Tamarix africana* (20.9) [18].

La teneur en P de *Calliandra calothyrsus* : légumineuse de l'ouest du Cameroun est faible aussi bien pour la saison sèche que pluvieuse, respectivement : 0.12 et 0.17 g/Kg [21], *Hedysarum coronarium*, légumineuse du Nord de l'Algérie a, toutefois, une teneur relativement plus élevée (2.9g/Kg MS).

comparables à celle des fourrages de l'Ouest d'Afrique : *Alysicarpus rugosus* et *Ipomea eriocarpa* de l'ordre de : 39.7 et 57.5 % respectivement [12].

**Tableau 3 :** comparaison des teneurs moyennes en fibres des 9 fourrages étudiés

Fourrages	NDFms	NDFcend	ADF ms	ADLms	ADLcen	Cendr-NDF	Cend-ADL
Orge en vert	66,43 <sup>a</sup> (#)	65,55 <sup>a</sup>	34,54 <sup>b</sup>	5,25 <sup>bc</sup>	3,49 <sup>c</sup>	0,88 <sup>bc</sup>	1,77 <sup>bcd</sup>
Avoine en épiaison	65,46 <sup>a</sup>	63,98 <sup>a</sup>	34,10 <sup>b</sup>	4,93 <sup>bc</sup>	3,50 <sup>c</sup>	1,48 <sup>abc</sup>	1,44 <sup>bcd</sup>
Blé en montaison	51,01 <sup>b</sup>	49,84 <sup>b</sup>	26,71 <sup>c</sup>	3,72 <sup>c</sup>	1,96 <sup>c</sup>	1,17 <sup>bc</sup>	1,76 <sup>cd</sup>
<i>Sulla</i>	33,10 <sup>c</sup>	32,20 <sup>c</sup>	27,46 <sup>c</sup>	11,41 <sup>a</sup>	11,03 <sup>a</sup>	0,90 <sup>bc</sup>	0,38 <sup>cd</sup>
Foin mixte	64,57 <sup>a</sup>	63,58 <sup>a</sup>	37,21 <sup>b</sup>	11,39 <sup>a</sup>	9,19 <sup>ab</sup>	0,99 <sup>bc</sup>	2,20 <sup>bc</sup>
Foin de dicot	65,85 <sup>a</sup>	65,26 <sup>a</sup>	50,40 <sup>a</sup>	9,93 <sup>ab</sup>	9,72 <sup>ab</sup>	0,58 <sup>c</sup>	0,21 <sup>d</sup>
Chien – dent	70,89 <sup>a</sup>	67,63 <sup>a</sup>	38,70 <sup>b</sup>	10,98 <sup>a</sup>	5,41 <sup>bc</sup>	3,25 <sup>ab</sup>	5,57 <sup>a</sup>
Essaad	65,62 <sup>a</sup>	62,01 <sup>a</sup>	34,40 <sup>b</sup>	7,22 <sup>abc</sup>	4,0 <sup>c</sup>	3,58 <sup>a</sup>	3,21 <sup>b</sup>
<i>Tamarix</i>	45,07 <sup>b</sup>	43,99 <sup>b</sup>	27,10 <sup>c</sup>	8,90 <sup>abc</sup>	8,71 <sup>ab</sup>	1,08 <sup>bc</sup>	0,18 <sup>d</sup>
Fourrages sud	59,53 <sup>a</sup>	57,04 <sup>a</sup>	33,01	9,2	6,33 <sup>b</sup>	2,50 <sup>a</sup>	2,88 <sup>a</sup>
Fourrages nord	49,52 <sup>b</sup>	48,56 <sup>b</sup>	32,53	8,99	7,99 <sup>a</sup>	0,968 <sup>b</sup>	0,99 <sup>b</sup>

(#) Les moyennes affectées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (P = 0.05). NDFms : fibres neutres exprimées en pourcentage de la matière sèche, NDFcend : fibres neutres exprimées par rapport aux cendres, Cend-NDF : pourcentage des cendres liées aux fibres neutres, ADF: acid detergent fibre, ADL; acid detergent lignin

Le rapport phosphocalcique (Ca/P) ne diffère pas de manière significative entre les deux groupes de fourrages Sud et Nord (7.06 contre 7.83). Pour les fourrages du Sud la *Tamaricaceae* présente le meilleur rapport (10.70), alors que le rapport le plus bas est calculé pour la *cypéacée* (3.90). Pour les fourrages du Nord, le foin à base de dicotylédone présente le rapport (Ca/P) le plus élevé (23.30) et l'orge en vert le rapport le plus faible (2.60).

Au regard des teneurs en Ca, P, Cu et en Mn les fourrages de la région aride couvrent d'une façon adéquate les besoins journaliers des ruminants [22].

#### Estimation de la valeur nutritive des plantes fourragères étudiées

Les résultats des deux groupes de fourrages ne diffèrent pas du point de vue de la valeur énergétique (EM, ENI, ENe, ENg) et présentent des unités nutritionnelles totales (UNT) comparables (Tableau 5). Par contre ils diffèrent significativement pour la valeur de la DMS, des TDN, des UF, de la DMO et des MAD. La DMS de l'avoine en épiaison (39.30) et celle du *Tamarix africana* (56.70) sont

Parmi les espèces du Sud *Tamarix africana* fournit le plus d'UNT (66.3% MS) et *Cynodon dactylon* en fournit le moins (54.6% MS), alors que parmi les fourrages du Nord, le blé au stade de montaison présente les UNT les plus élevées (70.2% MS) et le foin de dicotylédone a le moins d'UNT (41.5% MS). Les fourrages du Sud présentent une digestibilité de la MS significativement (P=0.05) plus faible que celle des fourrages du Nord 44.4 et 50.6 % respectivement. Il en est de même pour les nutriments totaux digestibles (NTD). Les fourrages du Nord ont une valeur en UF nettement inférieure à celles des fourrages du Sud : 0.50 contre 0.70 UF/Kg MS. Ceci s'explique par l'existence de foin commerciaux de moindre qualité alimentaire, mais aussi par la teneur élevée en lignine de la légumineuse *Sulla*. La digestibilité de la matière organique (DMO) est également meilleure pour les fourrages du Sud par le fait que ces derniers ont des teneurs parfois appréciables en matière azotée totale et des taux en lignine

**Tableau 4 :** Teneurs en éléments minéraux dans les espèces fourragères du Sud et du Nord

Fourrages	P	Ca	Ca /P	k	Na	Mg	Mn	Cu	Zn
Orge en vert	3,20 <sup>a</sup>	8,10 <sup>b</sup>	2,60 <sup>c</sup>	20,40 <sup>c</sup>	22,90 <sup>bc</sup>	1,40 <sup>b</sup>	33,10 <sup>b</sup>	10,70	39,5 <sup>bc</sup>
Avoine en épiaison	2,40 <sup>ab</sup>	11,10 <sup>b</sup>	4,60 <sup>c</sup>	66,30 <sup>a</sup>	17,30 <sup>bc</sup>	0,90 <sup>b</sup>	66,60 <sup>b</sup>	8,10	25,40 <sup>c</sup>
Blé en montaison	2,30 <sup>ab</sup>	8,40 <sup>b</sup>	3,60 <sup>c</sup>	28,70 <sup>bc</sup>	9,20 <sup>c</sup>	1,40 <sup>b</sup>	42,90 <sup>b</sup>	9,60	26,20 <sup>c</sup>
<i>Hedysarum coronarium</i>	2,90 <sup>ab</sup>	23,10 <sup>a</sup>	8,00 <sup>bc</sup>	30,30 <sup>bc</sup>	63,40 <sup>a</sup>	3,45 <sup>b</sup>	32,40 <sup>b</sup>	11,90	28,50 <sup>bc</sup>
Foin mixte	2,30 <sup>ab</sup>	9,70 <sup>b</sup>	4,30 <sup>c</sup>	39,60 <sup>b</sup>	43,40 <sup>abc</sup>	1,30 <sup>b</sup>	39,80 <sup>b</sup>	8,90	30,70 <sup>bc</sup>
Foin de dicot	1,10 <sup>b</sup>	26,70 <sup>a</sup>	23,30 <sup>a</sup>	38,20 <sup>bc</sup>	28,20 <sup>abc</sup>	1,50 <sup>b</sup>	56,40 <sup>b</sup>	10,30	32,60 <sup>bc</sup>
<i>Cynodon dactylon</i>	2,60 <sup>ab</sup>	12,70 <sup>b</sup>	5,10 <sup>bc</sup>	29,60 <sup>bc</sup>	5,60 <sup>c</sup>	2,80 <sup>b</sup>	56,40 <sup>b</sup>	8,90	56,20 <sup>a</sup>
<i>Cyperus conglomeratus</i>	2,70 <sup>ab</sup>	10,10 <sup>b</sup>	3,90 <sup>c</sup>	61,50 <sup>a</sup>	18,10 <sup>bc</sup>	2,30 <sup>b</sup>	187,10 <sup>a</sup>	10,40	32,30 <sup>bc</sup>
<i>Tamarix africana</i>	2,10 <sup>b</sup>	20,90 <sup>a</sup>	10,70 <sup>b</sup>	23,50 <sup>bc</sup>	45,70 <sup>ab</sup>	9,20 <sup>a</sup>	27,00 <sup>b</sup>	8,70	41,80 <sup>b</sup>
Fourrages Sud	2,43	15,42 <sup>b</sup>	7,06	35,10	25,01 <sup>b</sup>	5,27 <sup>a</sup>	77,10 <sup>a</sup>	9,20 <sup>b</sup>	44,40 <sup>a</sup>
Fourrages Nord	2,55	17,37 <sup>a</sup>	7,83	34,93	41,66 <sup>a</sup>	2,26 <sup>b</sup>	36,50 <sup>b</sup>	10,60 <sup>a</sup>	29,80 <sup>b</sup>

**Tableau 5 :** Comparaison de la valeur nutritive des neufs fourrages étudiés

Fourrages	UNT (% MS)	DMS (%)	TDN (% MS)	EM (Mcal/kg MS)	(Mcal/kg MS)			UF (UF/kg MS)	DMO (%)	MAD (g/kg MS)
					ENI	ENe	ENg			
Orge en vert	60 <sup>cd</sup>	37.90 <sup>cd</sup>	37.50 <sup>c</sup>	2.17 <sup>cd</sup>	1.35 <sup>cd</sup>	1.31 <sup>cd</sup>	2.37 <sup>cd</sup>	0.93 <sup>a</sup>	76.80 <sup>a</sup>	106.40 <sup>a</sup>
Avoine en épiaison	60.6 <sup>cd</sup>	39.30 <sup>c</sup>	40.60 <sup>c</sup>	2.19 <sup>bcd</sup>	1.36 <sup>cd</sup>	1.32 <sup>cd</sup>	2.42 <sup>cd</sup>	0.91 <sup>a</sup>	76.20 <sup>a</sup>	82.80 <sup>b</sup>
Blé en montaison	70.20 <sup>a</sup>	53.50 <sup>b</sup>	54.20 <sup>b</sup>	2.54 <sup>a</sup>	1.60 <sup>a</sup>	1.64 <sup>a</sup>	3.27 <sup>a</sup>	1.04 <sup>a</sup>	81.90 <sup>a</sup>	85.60 <sup>c</sup>
Sulla	66 <sup>abc</sup>	64.30 <sup>a</sup>	68.30 <sup>a</sup>	2.38 <sup>abc</sup>	1.50 <sup>abc</sup>	1.50 <sup>abc</sup>	2.90 <sup>abc</sup>	0.37 <sup>c</sup>	50.46 <sup>c</sup>	156.40 <sup>a</sup>
Foin mixte	56.50 <sup>d</sup>	37.70 <sup>cd</sup>	37.10 <sup>c</sup>	2.04 <sup>d</sup>	1.26 <sup>d</sup>	1.19 <sup>d</sup>	2.08 <sup>d</sup>	0.46 <sup>bc</sup>	54.85 <sup>bc</sup>	63.90 <sup>bc</sup>
Foin de dicot	41.50 <sup>e</sup>	29.60 <sup>d</sup>	33.60 <sup>c</sup>	1.50 <sup>e</sup>	0.89 <sup>e</sup>	0.66 <sup>e</sup>	0.91 <sup>e</sup>	0.41 <sup>e</sup>	52.45 <sup>c</sup>	46.50 <sup>c</sup>
<i>Cynodon dactylon</i>	54.60 <sup>d</sup>	33.70 <sup>cd</sup>	30 <sup>c</sup>	1.97 <sup>d</sup>	1.22 <sup>d</sup>	1.13 <sup>d</sup>	1.93 <sup>d</sup>	0.76 <sup>ab</sup>	68.77 <sup>ab</sup>	68.00 <sup>bc</sup>
<i>Assaad</i>	60.50 <sup>bcd</sup>	40.60 <sup>c</sup>	39.20 <sup>c</sup>	2.19 <sup>cd</sup>	1.36 <sup>bcd</sup>	1.33 <sup>bcd</sup>	2.43 <sup>bcd</sup>	0.88 <sup>a</sup>	74.72 <sup>a</sup>	98.20 <sup>b</sup>
<i>Tamarix africana</i>	66.30 <sup>ab</sup>	56.70 <sup>ab</sup>	59.40 <sup>ab</sup>	2.39 <sup>ab</sup>	1.51 <sup>ab</sup>	1.51 <sup>ab</sup>	2.94 <sup>ab</sup>	0.53 <sup>bc</sup>	57.48 <sup>bc</sup>	98.00 <sup>b</sup>
Fourrages Sud	60.70	44.40 <sup>b</sup>	43.70 <sup>b</sup>	2.19	1.37	1.35	2.45	0.70 <sup>a</sup>	65.90 <sup>a</sup>	87.30 <sup>b</sup>
Fourrages Nord	61.40	50.60 <sup>a</sup>	52.90 <sup>a</sup>	2.23	1.38	1.33	2.52	0.56 <sup>b</sup>	60.40 <sup>b</sup>	112.30 <sup>a</sup>

Les minéraux majeurs suivants P, Ca, k, Na et Mg sont exprimés en g/kg de MS et Les minéraux mineurs : Mn, Cu et Zn sont en mg/kg de MS.

Les moyennes affectées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (P = 0.05), **UNT** : unités nutritives totales, **DMS** : digestibilité de la matière sèche, **TDN** : total digestible nutriment, **EM** : énergie métabolisable, **DMO** : digestibilité de la matière organique, **MAD** : matière azotée digestible, **UF** : unité fourragère, **EN (l, g, e)** : énergie nette (lait, gain et entretien).

acide assez bas. Par contre la digestibilité de la matière azotée est meilleure chez les fourrages du Nord 112.3 contre 87.3 g/Kg de la MS. La DMO de l'arbuste *Tamarix africana* (57.48%) est comparable à celle des arbustes d'Espagne : *Palmensis*, *Medicago arborea* de l'ordre de : (58.6 %) et (58.9%) respectivement [18].

## CONCLUSION

Les plantes fourragères des régions arides sont essentielles pour subvenir les exigences alimentaires de base chez les ruminants domestiques.

Au terme de cette première investigation, nos résultats montrent que ces plantes fourragères sont fibreuses mais non lignifiées et leurs constituants nutritifs sont faibles par comparaison à ceux des fourragères de la zone semi-aride.

Cependant, les plantes des régions arides peuvent révéler leur potentiel nutritif (minéraux, énergie et azote) grâce à leurs feuilles pendant la saison humide et froide, quand des milliers de moutons broutent dans ces régions.

La composition morphologique et les variétés d'espèces des plantes sont parmi les facteurs discriminatoires de leur valeur nutritive essentiellement chez les arbres et les arbustes fourragers. Plusieurs facteurs ont un effet sur la valeur nutritive des fourrages des régions arides, tel que : le cycle de développement de chaque espèce de plante, l'intensification des animaux, les substances anti-nutritionnelles...etc. Donc l'évaluation des caractéristiques nutritionnelles de ces plantes fourragères reste à compléter par des études biologiques (étude in vitro), compte tenu de

leur importance tant pour la production animale locale que pour la protection du sol contre la désertification.

## REFERENCES

- [1]- Jarrige R., Grenet E., Démarquilly C., Besle J.-M., 1995. Les constituants de l'appareil végétatif des plantes fourragères. In : Jarrige R et al., (eds), Nutrition des ruminants domestiques- ingestion et digestion. 25-81. Editions INRA, Paris.
- [2]- Adem R., Ferrah A., 2002 .Les ressources fourragères en Algérie: déficit structurel et disparité régionale, analyse du bilan fourrager pour l'année 2001. <http://gerdaal.ifrance.com/grdaal/Oflive/ressourcesfourragers/bilanfourrager2001.htm>
- [3]- Tremblay G.F., Petit H.V., Lafrenière C., 2002. Notions de qualité des fourrages. Agriculture et Agroalimentaire Canada. <http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/Documents/Tremblay-et.al.pdf>.
- [4]- Ozenda P., 1958. Flore du Sahara septentrional et central. Editions CNRS, France. 486pp.
- [5]- Sauvart D., 1988. La composition et l'analyse des aliments. In : Jarrige R. (ed), Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins, 305-314. INRA, Paris.
- [6]- Le Coq R., 1965. Manuel d'analyses alimentaire et d'expertises usuelles. Edition Doin. Deren et Cie. Tome II. Paris, 241-251.
- [7]- INRAT., 1997. Stage d'initiation aux méthodes chimiques et biologiques de détermination de la valeur alimentaire des aliments pour animaux. INRAT, Laboratoire de Nutrition Animale. Tunis, Juin 1997, 80 pp.
- [8]- Van Soest P.J., Robertson J. B., Lewis B. A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74, 3583-3597.
- [9]- Elmer P., 1994. Analytical methods for atomic absorption spectrometry. The Perkin Elmer Corporation, USA. 300pp.
- [10]- Kamoun M., 2008. Recueil de méthodes d'analyses et de mesures utilisées en alimentation animale. Ecole Nationale de Médecine Vétérinaire de Sidi-Thabet. Centre de Publication Universitaire. P 84-85.
- [11]- Van Soest P.J., 1967. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. J. Anim. Sci. 26 (1), 119-128.
- [12]- Kallah Muh. S., Bale J.O., Abdullahi U.S., Muhammad J.R., Lawal R., 2000. Nutrient composition of native forbs of semi-arid and dry sub-humid Savanas of Nigeria. Animal Feed Science and Technology 84 (2000) 137-145.
- [13]- Van Soest P.J., 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press. Sage House, New York, pp. 476.
- [14]- Seoane R., Beaulieu C., Florez J., Dupuis D., 1991. Evaluation of the nutritive value of grass hays for growing sheep. Can. J. Anim. Sci. 71:1135-1147.
- [15]- SAS, Statistical Analysis System, (1989). User's guide. SAS, Institute, Cary, NY, USA. 943 pp.
- [16]- Ammar H., Lopez S., Gonzalez J.-S., 2005. Assessment of the digestibility of some Mediterranean Shrubs by in vitro techniques. Animal Feed Sciences and Technology, 119, 223-331.
- [17]- Nogueira Filho J.C.M., Fondevila M., Barrios Urdaneta A., Gonzalez Ronquillo M., 2000. In vitro microbial fermentation of tropical grasses at an advanced maturity stage. Animal Feed Science and Technology, 83, 145-157.
- [18]- Ventura M.R., Castanon J.I.R Rey L., Flores M.P., 2002. Chemical composition and digestibility of Tagasaste (*Chamaecytisus proliferus*) subspecies for goats. Small Ruminant Research, 46, 207-210.
- [19]- Mota M., Rodriguez R., Solanas E., Fondevila M., 2005. Evaluation of four tropical browse legumes as nitrogen sources: Comparison of in vitro gas production with other methods to determine N degradability. Animal Feed Science and Technology. 123-124, 341-350.
- [20]- Rogosic J., Pfister J.A., Provenza F.D., Grbesa D., 2005. Sheep and goat preference for and nutritional value of Mediterranean maquis Shrubs. Small Ruminant Research 64, 169-179.
- [21]- Tedonkeng P.E., Kana J.R., Tedonkeng F., Betfiang M. E., 2004. Digestibilité in vitro de *Calliandra calothyrsus* en présence de Polyéthylène glycol et de *Brachiaria ruziziensis*, *Trypsacum laxum* ou *Pennisetum purpureum* au Cameroun. [Http://www.cipav.org/cp/irrd/irrd16/7/tedo16049.htm](http://www.cipav.org/cp/irrd/irrd16/7/tedo16049.htm)
- [22]- Haddi M. L., Arab H., Yacoub F., Mehennaoui S., 2009. Seasonal changes in chemical composition and in vitro gas production of six plants from Eastern Algerian arid regions. Livestock Research for Rural Development 21 (4) 11pp.

# ***Atriplex halimus*: halophyte plant as potential forage for ruminants in the arid area of South-East Algeria**

H. Arab<sup>1</sup>, S. Mehennaoui<sup>1</sup> and M.I Haddi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Environment, Health and Animal Production Laboratory, Veterinary and Agronomy Institute, Veterinary Department  
.University Hadj Lakhdar, Batna, (Algeria)

<sup>2</sup> Department of Biochemistry Microbiology, Faculty of Natural Sciences and Life, University Mentouri  
Constantine, (Algeria)  
e-mail: arab\_hadda@yahoo.fr

---

**Abstract.** The area of El Haoouche in South-East of Algeria is considered as an extremely arid zone. Chenopodiaceae shrubs (*Salsola vermiculata*, *Suaeda mollis*, *Atriplex halimus*) and the tree *Tamarix africana* are endemic species grazed specially by small ruminants and dromedary in this region. The physiognomic map of the study area vegetation reveals the predominance of *Atriplex halimus*. This is a perennial shrub tolerates well harsh conditions. Trace elements concentrations (Cu, Fe, Mn, Zn, Cd and Pb) were measured in *A. halimus*. Potential intake of Cu and Zn satisfy the requirement of small ruminants. Levels of Fe were high, Mn concentrations were lower, Cd and Pb contents correspond to the background level.

**Keywords.** *Atriplex halimus* – Chemical composition – Trace metal – Arid zone.

## **Le potentiel fourrager de la plante halophyte *Atriplex halimus* dans la région aride au sud-est de l'Algérie**

**Résumé.** La région d'El Haoouche au sud-est de l'Algérie est considérée comme une zone extrêmement aride. Les arbustes *Salsola vermiculata*, *Suaeda mollis*, *Atriplex halimus* et l'arbre *Tamarix africana* sont des espèces endémiques dans cette région, pâturées spécialement par les petits ruminants et le dromadaire. La carte physiognomique de la zone d'étude révèle la prédominance de l'*Atriplex halimus*. C'est un arbuste vivace qui tolère bien les conditions difficiles. Des recherches récentes ont démontré sa capacité à tolérer une forte concentration de métaux lourds. Les éléments traces (Cu, Fe, Mn, Zn, Cd et Pb comme élément toxique) ont été mesurés dans cet arbuste. Les teneurs en Cu et en Zn peuvent satisfaire les besoins des petits ruminants. Les concentrations du Fe sont élevées, par contre celles du Mn sont plus faibles. Les teneurs en Cd et en Pb sont naturelles.

**Mots-clés.** *Atriplex halimus* – Composition chimique – Élément trace – Zone aride.

---

## **I – Introduction**

Arid regions in South-East of Biskra in East of Algeria contain soils and water resources that are too saline for most common crops. Vegetation at the edges of the Chott Melghir in this region comprises mainly taxa of the Chenopodiaceae family (such as *Atriplex* ssp., *Salsola* ssp., *Suaeda* ssp.) and the Tamaricaceae family, *Tamarix africana* grazed specially by goats, dromedary and sheep in this region. *Atriplex halimus* is a perennial spontaneous shrub of South-East of Biskra with an excellent tolerance to drought and salinity (Nedjimi, 2012). Moreover, recent researches demonstrated their ability to tolerate high concentration of heavy metal (Lotmani and Mesnoua, 2011). Trace elements (Cu, Mn, Fe, Zn...) function as activators of enzyme systems or as constituents of organic compounds. The ruminant may be exposed to toxic concentration of heavy metal (Cd, Pb) and other trace elements (Cu) by consuming contaminated forage in pasture. The aim of this study was to evaluate and compare seasonally through year the trace mineral levels (Cu, Mn, Fe, Zn) ; Cd and Pb as toxic element in *Atriplex halimus* (endemic Chott halophyte) in order to assess contributions, deficit and excess in animals requirements.

## **II – Materials and methods**

The study was conducted in El Haoouche (5 ° N 28 'E 30 ° 15') on the edge of Chott Melghir 30-35 km South-East of Biskra in South of Algeria. This area is characterized by a high salinity of the soil. Average annual precipitation is 140 mm (Haddi *et al.*, 2009). The main soil has high pH value (7.5-8.2), the type soil is gypsum-lime, characterized by high salinity, and its conductivity ranges from 20 to 36 µS/cm (Haddi *et al.*, 2009). Samples of *Atriplex halimus* were collected in different phenological stages. Due to overgrazing, edible green aerial parts of plants were not quantitatively available at each sampling period. Only edible green aerial parts, from 15 to 25 cm of length, were hand clipped. Edible parts were dried in air forced oven at 55°C for 72 h. The dried samples were ground in K-Janke mill (1 mm screen) and stored in polypropylene bottles at room temperature for subsequent analysis. The wet digestion with nitric and perchloric acid (Elmer, 1994) was made to obtain extracts for the determination of trace minerals (Cu, Mn, Fe and Zn) using the flame Atomic Absorption Spectrophotometry (Shimadzu model AA 6800). Cd and Pb were analyzed with a graphite furnace after dry ashed at 550°C for 16 h (Afri- Mehennaoui *et al.*, 2009). Data were analyzed statistically, using the SAS software, by one -way ANOVA, to determine differences between means.

## **III – Results and discussion**

The Cu concentration of *A. halimus* has no significant difference ( $P>0.05$ ) in all seasons except for autumn (Table 1). The higher level was observed in winter (14.7 mg/kg) and the lower (11.5 mg/kg) in autumn. Cu levels were sufficient to meet maintenance requirements for goats (NRC, 1981; Kessler, 1991 and Ramirez-Orduna *et al.*, 2005), sheep and cattle (Meschy, 2010).

**Table 1. Trace minerals levels (mg/kg DM) in *Atriplex halimus***

Season	Cu (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Fe (mg/kg)		Zn (mg/kg)	
	Mean	SD <sup>†</sup>	Mean	SD <sup>†</sup>	Mean	SD <sup>†</sup>	Mean	SD <sup>†</sup>
Autumn	11.50 <sup>b</sup>	2.12	19.30 <sup>a</sup>	1.41	541 <sup>b</sup>	63	49 <sup>b</sup>	10.04
winter	14.70 <sup>a</sup>	5.96	18.50 <sup>a</sup>	2.21	679 <sup>a</sup>	264	59 <sup>b</sup>	13.40
Spring	14.50 <sup>a</sup>	6.50	19.17 <sup>a</sup>	6	578 <sup>a</sup>	140	67 <sup>a</sup>	6.40
Summer	13.15 <sup>a</sup>	4.60	11.50 <sup>b</sup>	1.84	608 <sup>a</sup>	101	69 <sup>a</sup>	6.00
Ruminants requirements (mg/kg M) <sup>1</sup>	10		50-60		30		50-60	
Goat requirements (mg/kg M) <sup>2</sup>	9		30		35		30	

Means with different letters are significantly different ( $P<0.05$ ), <sup>†</sup>SD: standard deviation.

<sup>1</sup>Recommended requirement (Meschy, 2010), <sup>2</sup>Recommended requirement (NRC, 1981; Kessler, 1991 and Ramirez-Orduna *et al.*, 2005).

The Mn concentrations of *A. halimus* has no significant difference in all seasons ( $P>0.05$ ) except for summer. The high level was observed in autumn (19.3 mg/kg DM) (Table 1). However, Mn did not meet the requirement of goats, sheep and cattle as it was below the reported value (30 and 50-60 mg/kg DM) (Table 1). Manganese availability is inversely related to soil pH. The highest Mn concentrations are found in forages growing on acid soil (MacPherson, 2000). It is known that gypsum-lime soil has high level of Ca to lead a low level of Mn in plant. In our study area, the lower Mn concentrations in *Atriplex* are possible due to high concentration of Ca in soil.

Fe concentrations in *A. halimus* has no significant difference in all seasons, except autumn (Table 1). The higher concentration was in winter (679 mg/kg DM) and the lower one in autumn (541 mg/kg DM). The high levels of soil Fe about 29 g/kg (unpublished data) suggest a Fe translocation in high quantity to *A. halimus* growth in this soil. Mean Fe levels were higher than the requirements for ruminants in all seasons (Table 1). Concentration of Fe >300 mg/kg DM has a deleterious effect on Cu availability (MacPherson, 2000; Givens *et al.*, 2000). As reported by Ramirez-Orduna *et al.* (2005) Fe in levels from 250 to 1200 mg/kg may negatively affect Cu status of cattle and sheep.

The concentration of Zn varied from 49 mg/kg in autumn to 69 mg/kg in summer (Table 1). *A. halimus* in all season except for autumn had such Zn concentration to satisfy range cattle and sheep requirements (Table 1). These concentrations are above the Zn requirements for goat (NRC, 1981; Kessler, 199 and Ramirez-Orduna *et al.*, 2005).

The Zn levels of *Atriplex* in South Algeria is higher than that measured in South Africa at Lovedale (11mg/kg DM) (Van Niekerk *et al.*, 2004), site with an average annual rainfall of approximately 130 mm, similar to our arid area.

In this study Cd levels ranged from 0.06 mg/kg in summer to 0.35 mg/kg in winter, which was the significant highest concentration (Table 2). The forage Cd levels are dependent on the background level in soil. According to European directives Cd is limited in ruminant feed to 1 mg/kg DM (Meschy, 2010). Underwood and Suttle (1999) considered that Cd level varied from 0.5 to 5 mg/kg DM in the diet is high.

**Table 2. Cadmium and lead (mg/kg DM) levels in *Atriplex halimus***

Season	Cd (mg/kg)		Pb (mg/kg)	
	Mean	SD	Mean	SD <sup>†</sup>
Autumn	0.20 <sup>b</sup>	73	3 <sup>b</sup>	0.62
Winter	0.35 <sup>a</sup>	80	3 <sup>b</sup>	0.81
Spring	0.08 <sup>c</sup>	27	5 <sup>a</sup>	3.73
Summer	0.06 <sup>c</sup>	14	3 <sup>b</sup>	2.13
Diet (mg/kg DM) Cattle and Sheep <sup>†</sup>	0.1-0.2		1-6	N. Normal
	0.5- 5		20- 1000	H. High
	> 50		> 2000	T. Toxic

Means with different letters are significantly different ( $P<0.05$ ); SD: standard deviation.

<sup>†</sup>Underwood and Suttle (1999).

According to the results, *A. halimus* has a natural Cd content. Due to their electronic configuration close, Cd, Cu, Fe and especially Zn are competing against protein intestinal absorption. Excess cadmium can decrease their absorption and induce deficiencies in these elements. Cadmium toxicity is due to its accumulation in the liver and especially in the kidneys, and symptoms of Cd poisoning are similar to those in partnership with Zn deficiency (Meschy,

2010).

Lead (Pb) is among the most common heavy metals that cause toxicity to animal and humans. Pb level in whole plant (Table 2) was high ( $P < 0.05$ ) in spring (5 mg/kg DM), while it had no significant differences in the other seasons ( $P > 0.05$ ). Those levels were lower than that observed in contaminated area. According to Zafar et al. (2012) maximum tolerable levels of Pb by animals is 30 mg /kg DM. High tolerance may have been due to the insoluble source used, toxicity is likely to be reduced when diets rich in calcium are fed (Underwood and Suttle, 1999).

## IV – Conclusions

According to the results the mean levels of trace metals in *Atriplex halimus* are high for Fe, close to the recommended value by INRA for Cu and Zn, deficient for Mn and close to the background level for the Cd and Pb. Levels of Fe in the plants are very high suggesting a high level in soil. The range small-ruminants grazing the *Atriplex halimus* in these areas must be supplemented with Mn throughout the year in order to sustain goat and sheep productivity. The knowledge of bioavailability of these trace minerals in ruminant's asks for a detailed study in the future.

## References

- Afri-Mehennaoui F.Z., Sahli L. and Mehennaoui S., 2009. Evaluation de la contamination par le cadmium, le plomb et le zinc de l'eau, des sédiments de l'Oued Rhumel et son affluent le Boumerzoug, et leur transfert vers une plante semi-aquatique : *Rorippa nasturtium-aquaticum* (L.). In : *Revue Sciences et Technologie*, 29, p.45-55.
- Elmer P., 1994. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry*. USA: The perkin elmer corporation, p. 300.
- Givens D.I., Owen E., Axford R.F.E. and Omed H.M., 2000. *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. New York, USA: CABI Publishing, p.480.
- Haddi M.L., Arab H., Yacoub F., Hornick J-L., Rollin F. and Mehennaoui S., 2009. Seasonal changes in chemical composition and *in vitro* gas production of six plants from Eastern Algerian arid regions. In: *Livestock Research for Rural Development*, 21, p.1-11.
- Kessler J., 1991. Mineral nutrition of goats. In: Morand-Fehr P.(Ed), *Goat Nutrition*. EAAP: Pudoc, p.104- 119.
- Lotmani B. and Mesnoua, M., 2011. Effects of copper stress on antioxidative enzymes, chlorophyll and protein content in *Atriplex halimus*. In: *African Journal of Biotechnology*, 10, p. 10143-10148.
- MacPherson A., 2000. Trace-mineral Status of Forages. In: Givens D.I., Owen E., Axford R.F.E. and Omed H.M., *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, New York, USA: CABI Publishing, p. 345-371.
- Meschy F., 2010. *Nutrition minérale des ruminants*. Editions Quae. RD10, p. 208.
- Nedjimi B., 2012. Seasonal variation in productivity, water relations and ion contents of *Atriplex halimus* spp. *schweinfurthii* grown in Chott Zehrez wetland, Algeria. In: *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11, p. 43-49.
- NRC, 1981. *Nutrient requirements of domestic animals. 15, Nutrient requirements of goats*. National Research Council. National Academy of Sciences, Washington D.C., USA.
- Ramirez-Orduña R., Ramirez ,R.G., González-Rodríguez, H. & Haenlein G.F.W., 2005. Mineral content of browse species from Baja California Sur, Mexico. In: *Small Ruminant Research*, 57, p.1-10.
- Underwood E.J. and Suttle N.F. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3<sup>rd</sup> Ed. CABI. New York, p. 614.
- Van Niekerk W.A., Sparks C.F., Rethman N.F.G. and Coertze R.J., 2004. Mineral composition of certain *Atriplex* species and *Cassia sturtii*. In: *South African Journal of Animal Science*, 34, p.105-107.
- Zafar I., Muhammad A., Kafeel A., Alireza B., Muhammad K-M., Syed Ali H-N., Rab N., Miam J-Z. and Muneeba S., 2012. Lead toxicity evaluation in Rams grazing on pasture during autumn and winter: a case study. In: *Pol. J. Environ. Stud.*, 21, 5, p.1257-1260.



## Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences

### Seasonal Variations of Cu, Zn, Mn and Fe Levels in Soil and *Atriplex halimus* in Arid Zones of South East Algeria.

Hadda Arab<sup>1\*</sup>, Mohamed Laid Haddi<sup>2</sup>, Amine Boudaoud<sup>1</sup>, and Smail Mehennaoui<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Environment, Health and Animal Production Laboratory Veterinary and Agronomy Institute. Veterinary Department. University Hadj Lakhdar. Batna, 05000. Algeria.

<sup>2</sup>Department of Microbiology. Laboratory of Mycology, Biotechnology and Microbial Activities, Faculty of Natural and life Sciences. University Constantine 1, 25000. Algeria.

#### ABSTRACT

The present study was conducted to evaluate the trace minerals contents (Cu, Zn, Mn and Fe) in soil and *Atriplex halimus* collected from Essaada area in South-East Algeria. The soil and plant samples were taken from 10 random locations in studied area each season during 2014-2015. Seasonal effects were observed in all soil trace mineral except for manganese. Copper, zinc, manganese and iron concentrations in *A. halimus* were affected by season ( $p < 0.05$ ). Trace mineral soil contents in all seasons were considered sufficiently high to meet requirement for normal plant growth. In *A. halimus* Cu, Zn and Mn levels were ranged from marginal deficient (5.6, 27 and 33 mg/kg DM respectively) to marginally above the range requirements for ruminants (13, 43 and 64 mg/kg DM respectively). High Fe levels in *A. halimus* in all seasons were sufficiently to meet the recommended requirements of ruminants ( $>$  to 35- 50 mg/kg DM) and is on agreement with the high soil Fe level. There was a positive correlation ( $r = 0.77$ ,  $p < 0.001$ ) between Cu in soil and Cu in *A. halimus*.

**Keywords:** Arid zones, soil, *Atriplex halimus*, trace mineral, seasonal variation, ruminants.

\*Corresponding author



## INTRODUCTION

The forages are important component of feed for livestock. Under pasture systems, animals depend on forages to satisfy all of their nutritional requirements [1]. The climate variation leads to drought that becomes a constraint for the plant biodiversity mainly in the arid regions of Algeria. Drought exposed the soil to salinization for many years. Salinity is one of the major limiting factors that affects adversely growth and development of plants, agricultural productivity and caused disappearance of some plant species [2]. The most characteristic of wetland in these areas are endorheic Wetlands (Chotts and Sebkh). They are typically seasonal which dry out in summer and re-flood in winter [3]. Local vegetation is mainly composed by halophytic, succulent, and perennial species. They are essential in the contribution to nutritional needs for livestock. Generally, salinity, scarce and irregular precipitations, excessive temperature are critical environmental factors that influence the life cycle of these plants and their incidence on nutritional value of arid browses is not yet established [4]. *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae) is a xerohalophyte, which is perennial and native in arid and semi-arid Mediterranean regions. Their various agronomic and nutritional aspects are well-characterized [5]. This species tolerate well, harsh conditions such as salinity, light stress, cold and drought. It has been reported that this plant survive under rainfall of 100-400 mm year and can survive between one and several years without rainfall [6-7]. *A. halimus* is very palatable and is a preferred fodder shrub of livestock during dearth periods, endowed with a complex root system and a considerable biomass; it is an efficient cheap barrier against erosion and desertification [3]. *A. halimus* in South-East Algeria reveals a relatively high content in ash (15 % DM) and crude protein (13 % DM) [4]. The mineral contribution of this plant to animal remains poorly investigated in this region. The nutrition of grazing animals is a complicated interaction between soil, plant and animal [1]. Many factors affect the mineral composition of forage such as plant age, species, seasonal variability, grazing pressure, change in the moisture content and salinity of the soil. In arid area of Algeria, trace elements such as Cu, Zn and Mn are likely to be lacking to ruminants production under grazing pasture. Knowledge on these mineral compositions in *A. halimus* would form baseline data on trace mineral status available for small ruminants grazing this plant in these areas. The objective of this study was to evaluate and compare, seasonally during one year, the trace minerals Cu, Zn, Mn and Fe contents in soil and *A. halimus* that grow in South-East Biskra (Algeria), as indicators of minerals contribution, deficiencies or excess during each season, and to determine correlations between levels of these trace mineral in soil and *A. halimus*.

## MATERIAL AND METHODS

### Location and climate

The study was conducted in Essaada which is located 30km from Biskra in South-East Algeria (34°40' N latitude and 5°52' E longitude). The climate of this grazing area is arid with an average annual rainfall of 147 mm year mainly during the end of autumn to the beginning of spring. The average minimum winter and maximum summer temperature are 7°C in January and 41°C in July.

The natural vegetation is represented by halophytes such as *Atriplex halimus*, *Salsola vermiculata* and *Sueada mollis* [5]. On saline and degraded soils, it is often the dominant plant species, forming mono-specific stands [7]. Those plants mainly *A. halimus* use excluded and included cationic strategies to tolerate the constraint salinity [2]. This halophyte, particularly its leaves, constitute a solution to feed shortages that occur during drought and dormant seasons for small-ruminants.

### Samples collection

The soil and plant samples were taken from 10 random locations in studied area each season during the year 2014-2015 (10 October 2014, 10 January 2015, 10 April and 10 June 2015) and distance between a different sampling positions varied from 10 to 15 m. Sampling was performed on a surface about 400 m<sup>2</sup>. Plant samples were cut using a stainless steel knife and placed in plastic bags. Plant samples were dried in oven at 55°C for 72 h [8] and subsequently ground, with a 1mm stainless steel sieve and stored in polypropylene bottles for subsequent analysis. The wet digestion with nitric-perchloric acid mixture [8] was made to obtain extracts for the determination of trace minerals.

Ten soil samples were collected each season near the plants along the sampling surface, using a stainless steel sampling auger at a depth of 20 cm. Samples were collected in paper bags, dried at 65°C for 72 h and subsequently ground and passed through a 2 mm sieve [3]. Ground soil was also stored in closed plastic bottles. The soil pH and the grain size distributions were determined according to the technique recommended by ISRIC [9]. The loss on ignition (L.O.I) was determined after calcinations of a dry soil sample (1g) at 520°C during 16 h in furnace. The loss on ignition was expressed as a percentage of the weight loss. Ca, Na and K contents of the soil samples were analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry. To prepare samples for trace mineral determinations, one gram of ground sample of soil was boiled in 10 ml of aqua regia (a mixture of HNO<sub>3</sub> and HCl: 1/3 ratio) for 2 h at 100 °C using the refluxing system. The extract was cooled and filtered using Whatman filter paper (N°540) and diluted to 50 ml with distilled water. Both extract solutions obtained for soil and plant samples were stored at 4°C until analysis. Trace minerals in soil and *A. halimus* were measured using Atomic Absorption Spectrophotometry with air/acetylene flame (Shimadzu model AA6800).

### Statistical analysis

The data were analyzed using Medcalc software (12.7.1version) [10]. Season effect for soil and plant samples was determined by one-way analysis of variance. Differences between mean were ranked using the Student Newman Keuls and significance levels was set at P<0.05. Correlation coefficients of soil-plant mineral contents were determined after pooling the data for mineral levels of soil and *A. halimus*.

## RESULTS AND DISCUSSION

Physico-chemical soil analysis in study area are shown in table 1. Soil texture is silt-clays, organic matter content is relatively high (2.7 %) and the soil pH is basic (8.1). High pH is due to the presence of more base cations and to relatively low precipitation amounts. Therefore, the micronutrients (Cu, Zn, Mn and Fe) availability for plant will be decreased.

**Table 1: Soil properties in study area**

Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	OM (%)	pH	Na (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg DM)
38	44.5	17.5	2.7	8.1	3.3	5.1	159

Calcium concentration (159 g/kg) far exceeded those of sodium and potassium (3.3 and 5 g/kg respectively) (table 1). High Ca level may be a result of soil high in calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) and other Ca salt, that are responsible in high pH soil. Na and K contents are the two element responsible for increase in osmotic potential of soil and were most abundant in saline area.

### Soil and *Atriplex halimus* analysis

Table 2 and 3 show the trace mineral concentration in soil and *A. halimus*. The mean Cu concentration in soil varied from 8 to 18 mg/kg DM (table 2). The highest (P<0.05) mean soil Cu level was recorded in autumn 18 mg/kg DM and followed by spring 13 mg/kg DM (table 2). Cu level remained unchanged in winter and summer. A seasonal effect was observed (P<0.001). Cu levels in both seasons winter and summer were lower (P<0.05) than those measured in autumn and spring. All soil samples during the year had levels of copper more than adequate for normal growth of plants (table 2). The mean soil Cu concentration was higher than the critical level (table2) of 0.3 mg/kg stated by McDowell *et al.* [11] and Rojas *et al.*, [12] and 0.6 mg/kg suggested by Horowitz and Dantas [13].

High Cu levels in the present study were in disagreement with those reported by Khan *et al.* [1] in Pakistan and by Shisia *et al.* [15] in Kenya. Mineral concentration like Cu, Zn, Mo, Co in soil has a great effect on soil pH, which, in turn has a major impact on mineral uptake by plants [16]. Therefore copper availability to plant decreases with increase in soil pH [14-17]. A significant seasonal effect (P<0.001) was observed in *A. halimus* Cu concentration. Mean Cu concentration in plant was high in autumn 13 ± 3.2 mg/kg DM, followed by spring 10 ± 1.7 mg/kg DM (table 3). A significant decrease (P<0.05) was observed in winter 5.6 mg/kg DM, which could be attributed to leaching due to the *wadi* re-flooding in this area. Cu levels in *A. halimus* are corroborated with the finding by Haddi *et al.* [4] and Arab *et al.* [8] in some forage plants studied in the same

area. *A. halimus* Cu levels in all seasons were higher than those reported by Ramirez *et al.* [18] in shrub species in Mexico and lower than to those reported in Pakistan [1]. Cu concentrations in forage plant were considered sufficient to meet ruminants requirements (10 mg/kg DM) [19-20] during autumn and spring. However, the levels in summer and winter (table 2) were only meeting the marginal to deficient requirements of ruminants respectively. As for other ruminants, the copper requirement of goat may be assessed at 8-10 mg/kg DM [21]. The goats, especially young animals seem to be less sensitive to copper toxicity than sheep. Poisoning has been known to occur in areas where the herbage contains copper of the order of 10-20 mg/kg DM and low levels of molybdenum [22]. Chronic copper poisoning results in necrosis of the liver cells, jaundice, loss of appetite and death from hepatic coma. The absorption of Cu by plant can be reduced with high level of Ca and Fe in soil. In our study area, Ca (table 1) and Fe (table 2) in soil were high which may lead to making Cu unavailable for plants. Cu deficiency problems are most likely to occur because of the presence of antagonistic mineral in the diet rather than extremely low intakes of Cu. A positive correlation was observed between soils and plant forage Cu during all seasons ( $r=0.77$ ;  $P<0.001$ ) (figure 1), which indicate that Cu concentrations in plant are depending on Cu concentrations in soil.

**Table 2: Mean concentration ( $\pm$  SD) of trace minerals in soil during the different seasons**

Season	Cu (mg/kg DM)	Zn (mg/kg DM)	Mn (mg/kg DM)	Fe (g/kg DM)
Autumn (n=10)	18 <sup>a</sup> $\pm$ 4.5	53.4 <sup>c</sup> $\pm$ 16	263 $\pm$ 68	27 <sup>a</sup> $\pm$ 8.9
Winter (n=10)	8 <sup>c</sup> $\pm$ 3.4	108.3 <sup>a</sup> $\pm$ 28	250 $\pm$ 23	28 <sup>a</sup> $\pm$ 4
Spring (n=10)	13 <sup>b</sup> .1 $\pm$ 1.9	65 <sup>b</sup> $\pm$ 13	238 $\pm$ 76	21 <sup>b</sup> $\pm$ 3
Summer (n=10)	8 <sup>c</sup> $\pm$ 1.9	111.3 <sup>a</sup> $\pm$ 55.5	230 $\pm$ 43	27.5 <sup>a</sup> $\pm$ 5.4
Season effect	***	***	ns	*
Critical value (mg/kg) <sup>1</sup>	0.3	1-2.5	5	2.5 <sup>2</sup>

\*, \*\*, \*\*\* Significant at 0.05, 0.01 and 0.001 levels, respectively. ns: non-significant. Means with different letters in each group, are significantly different ( $P<0.05$ ). n: sample size.

<sup>1</sup> Rhue and Kidder (1983), <sup>2</sup> Viets and Lindsay (1973).

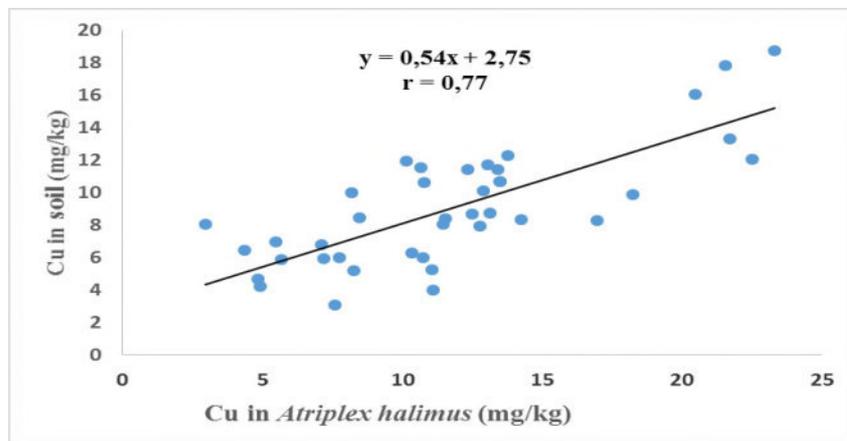
**Table 3: Mean concentration ( $\pm$  SD) of trace minerals in *Atriplex halimus* during the different seasons**

Season	Cu (mg/kg DM)	Zn (mg/kg DM)	Mn (mg/kg DM)	Fe (mg/kg DM)
Autumn (n=10)	13 <sup>a</sup> $\pm$ 3.2	26 <sup>c</sup> $\pm$ 3	64 <sup>a</sup> $\pm$ 22	228 <sup>c</sup> $\pm$ 56
Winter (n=10)	5.6 <sup>d</sup> $\pm$ 1.7	43 <sup>a</sup> $\pm$ 19.4	37.6 <sup>b</sup> $\pm$ 12.5	1958 <sup>a</sup> $\pm$ 464
Spring (n=10)	10 <sup>b</sup> $\pm$ 1.7	27 <sup>c</sup> $\pm$ 4	38 <sup>b</sup> $\pm$ 10	498 <sup>b</sup> $\pm$ 159
Summer (n=10)	7.4 <sup>c</sup> $\pm$ 1.9	32 <sup>b</sup> $\pm$ 6.5	33 <sup>c</sup> $\pm$ 20.1	501 <sup>b</sup> $\pm$ 178
Season effect	***	**	***	***
Ruminants requirements (mg/kg DM) <sup>1</sup>	10	50-60	50-60	50
Goat requirements (mg/kg DM) <sup>2</sup>	9	30	30	35

\*, \*\*, \*\*\* Significant at 0.05, 0.01 and 0.001 levels, respectively. ns: non-significant. Means with different letters in each group, are significantly different ( $P<0.05$ ). n: sample size.

<sup>1</sup> Recommended requirement by INRA (1988) and Meschy (2010).

<sup>2</sup> Recommended requirement by NRC (1981); Kessler (1991) and Ramirez-Orduna and al., 2005).



**Figure 1: Correlation between copper levels in soil and in *Atriplex halimus***

Mean Zn concentration in soil varied significantly ( $P < 0.001$ ) with season (table 2). The high Zn levels in soil ( $P < 0.05$ ) occurred in summer 111 mg/kg and winter 108 mg/kg DM. A significant reduction in soil zinc level was observed during autumn and spring 53 and 65 mg/kg DM respectively. The critical level varied from 1 to 2.5 mg/kg of Zn in soil was considered adequate for plant growth [23-1]. Based on this, all mean values of soil Zn level in the present study are higher than critical value. Our results were higher than those found in Kenya (South-east Africa) [15] and in a semi-arid region of Zimbabwe [24]. Soil Zn is usually more available in soils with greater organic matter content and higher proportion of clay [25]. In contrast, Zn extractability from soil is negatively related to phosphate and calcium carbonate content in soil, therefore, low plant availability of Zn can be expected in calcareous soils [25].

The mean Zn concentration in *A. halimus* ranged from 26 to 43 mg/kg DM and a significant season effect was observed ( $P < 0.01$ ) (table 3). A high level was observed in winter  $43 \pm 19.4$  mg/kg ( $P < 0.05$ ). Similar values were in autumn and spring (table 3). Those concentrations are marginally above the Zn requirements for goat (30 mg) [18-26-27] and slightly deficient for sheep and cattle (50-60mg) [19-20]. Deficiencies Zn in studied plant is probably due to the calcareous soil. It was noted that there was an inverse relationship between Ca and Zn [28-29]. The Zn content of *A. halimus* in South Algeria is higher than that measured in South Africa at Lovedale (11 mg/kg DM) [29], site with an average annual rainfall of approximately 130 mm, similar to our arid area and similar to those obtained in forage collected in late stage of growth in a semi-arid region of Zimbabwe [24].

Besides, the Zn dietary requirement of 30 mg/kg DM was considered sufficient for growing, gestating and lactating for beef cattle according to Olsen [17]. In the present study, Zn levels in *A. halimus* could meet the requirements of ruminants in study area. Increasing soil pH, especially above 6.5, results in decreased extractability and plant availability of soil Zn [17-25], possibly it is among the causes of lower levels of Zn in plants. There was no relationship between Zn levels in soil and Zn levels in plant ( $r = 0.24$ ;  $P > 0.05$ ).

Mn levels varied from 230 in summer to 263 mg/kg DM in autumn (table 2). No season effect on soil Mn level was observed ( $P > 0.05$ ) (table 2). Khan *et al.* [1] reported that generally, soil Mn concentration was higher during summer than that in winter but this seasonal trend is not the case with the present study. Rhue and Kidder [23] suggested that 5 mg/kg of Mn is adequate for normal plant growth. The soil in our study area provide high levels of Mn for plants. Availability of Mn to plants depends on its oxidation state, only the reduced form  $Mn^{2+}$  is available to plants [25]. Mn becomes available for plant after release of  $Mn^{2+}$  into the soil solution,  $Mn^{2+}$  transport to the root surface by mass flow and diffusion, followed by uptake into the root.

A significant seasonal effect ( $p < 0.01$ ) was observed in *A. halimus* for Mn. High Mn concentration ( $P < 0.05$ ) was recorded in autumn (table 3). A similar values were observed in winter and spring. In all seasons forage Mn levels were marginally above the Mn requirement for goat and deficient for sheep and cattle except in autumn (table 3). The Mn content of *A. halimus* in South Algeria is lower than that measured in the same plant in South Africa (116 mg/kg DM) [29]. At low pH below 5, Mn may become available to plants, and lead to Mn accumulation and toxicity in plants [30]. However, in calcareous soil Mn is insolubilized to oxides manganese, which can generate deficiencies for plant. Soil conditions that impact Mn availability to plant include: pH, Mn can precipitate at high pH leading to low Mn availability,  $Mn^{2+}$  is readily chelated by organic molecules and under dry soil conditions, the Mn availability is reduced [30]. Underwood and Suttle [28] reported that Mn concentrations in plants decrease markedly as soil pH increase. It is knowing that silt-clays soil had high level of Ca to lead a low level of Mn in plant. The high pH and Ca content in soil in study area were among possible causes of low levels of Mn in *A. halimus*. As for Zn, no correlation was observed between Mn level in soil and Mn level in *A. halimus* ( $r = 0.03$ ;  $P > 0.05$ ).

Mean Fe concentration in soil ranged from 21 to 28 g/kg DM (table 2). A significant seasonal effects in soil Fe content was observed at  $P < 0.05$ . Similar levels of soil Fe was observed in winter 28, summer 27.5 and autumn 27 g/kg DM (table 2). A slight decrease was observed in spring  $21 \pm 3$  g/kg DM. The normal range of Fe for the growth of plants is 2.5 mg/kg [31]. Fe is an element relatively abundant in many cultivated soils, with an average of 20 to 40 g/kg [32]. Solubilization of Fe from soil mineral source is a slow process regulated by pH [32]. Fe availability for plants decrease with increasing soil pH [25]. High pH promotes carbonate or hydroxyl complexes which could decrease the iron availability for plants. High levels of iron in the soil in the present study is probably due to the soil nature which is rich in iron oxides. Ours results support the idea that Fe

deficiency is rare in grazing animals due to generally adequate content in soil and forages as reported by Khan *et al.* [14].

Mean Fe levels in *A. halimus* varied from 228 to 1958 mg/kg. The high level ( $P < 0.05$ ) was recorded in winter may be due to contamination of plant with soil. Seasonal effect was significant ( $P < 0.001$ ) (table 3). High level of Fe in *A. halimus* found in this study area is an agreement with the high soil Fe level. Iron levels in *A. halimus* at all seasons were above requirements ( $> 35$ -50 mg/kg DM) (table 3) for ruminants. Similar findings were reported by several authors who evaluated Fe contents in shrubs species that grow in semiarid regions of North-Eastern Mexico cited by Ramirez-Orduna *et al.* [18].

*A. halimus* Fe levels in autumn and spring were similar to those reported in the same seasons by Ramirez-Orduna *et al.* [18] in California. The maximum tolerable level of Fe in beef cattle diets was estimated at 1000 mg/kg DM [33-17]. The high concentration of Fe in *A. halimus* during winter can be toxic for ruminants grazing this plant. Iron toxicity is not a common problem in farm animals, but it can result from prolonged oral ingestion of this element [22]. Meschy [20] reported that the high iron content in plants does not seem to represent a significant risk of Cu unavailable for ruminant, except when they are contaminated with soil. However, the excess iron content in drinking water is more reactive with Cu and leads to a secondary copper deficiency. There was no relationship between Fe level in soil and Fe level in *A. halimus* ( $r = 0.20$ ;  $P > 0.05$ ).

### CONCLUSION

Our results indicated that trace mineral in soil were above recommended levels for growth plant. The high Fe level in *A. halimus* was probably due to high Fe availability in soil to plant and its ability to accumulate this element. Generally trace mineral levels in *A. halimus* ranging from sufficient to marginal levels in each season. High pH (8.1) and Ca (159 g/kg DM) in soil of studied area were possibly the cause of low levels of Cu, Zn and Mn in *A. halimus*. The deficiencies may be limiting the local production of ruminants that grazing this forage. The knowledge of the translocation of mineral from soil to *A. halimus* and the bioavailability of these elements for ruminants deserve further investigations.

### REFERENCES

- [1] Khan ZI, Hussain A, Ashraf M, McDowell R. J Anim Sci 2006; 8: 1139-1147.
- [2] Belkhdja M, Benaldj A. African Crop Science Society 2007; 8: 1699-1702
- [3] Nedjimi B. J Saudi Society of Agri Sci 2012; 11: 43-49.
- [4] Haddi ML, Arab H, Yacoub F, Hornick J L, Rollin F, Mehennaoui S. Livestock Research for Rural Development 2009; 21: 1-11.
- [5] Haddi ML, Meniai K, Filacorda S, Susmel P. Annals of Agricultural Sciences (Cairo, Egypt) 2002; 2: 575-593.
- [6] Le Houérou HN. Agroforestry systems 1992; 18: 107-148.
- [7] Walker DJ, Lutts S, Sanchez-Garcia M, Correal E. Journal of Arid Environments 2014; 100-101: 111-121.
- [8] Arab H, Haddi ML, Mehennaoui S. Science and technologie C 2009; 30 : 50-58.
- [9] ISRIC. Procedures for soil analysis. 3<sup>rd</sup> Ed, International soil reference and information center, Wageningen 1984, pp. 360.
- [10] Schooijans F, Zalata, A, Depuydt CE, Comhaire FH. MedCalc: A New Computer Program for Medical Statistics, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 1995, pp. 257-262.
- [11] McDowell LR, Conrad JH, Ellis GL, Loosli LK. Minerals for grazing ruminants in Tropical regions. Extension Bulletin Animal Sciences Departement, 1983, pp.1-85.
- [12] Rojas LX, McDowell LR, Wilkinson NS, Martin FG. J Anim Sci 1993; 8: 183-188.
- [13] Horowitz A, Dantas HS. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 1973; 8: 169.
- [14] Khan ZI, Hussain A, Ashraf M, Valeem EE, Javed I. Pak J Bot 2005; 37 (4): 921-931.
- [15] Shisia KS, Ngure V, Nyambaka H, Jumba I, Oduor F. J Nut Food Sci 2014; 3 (2): 44-48.
- [16] Greene LW. J Anim Sci 2000; 78 (E-Suppl): E13-22
- [17] Olsen KC. Vet Clin Food Anim 2007; 23 : 69-90.
- [18] Ramirez-Orduna R, Ramirez RG, Gonzalez-Rodriguez H, Haenlein GFW. Small Ruminant Resch 2005; 57: 1-10.
- [19] INRA. Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA Editions, Versailles, 1988, pp.465-471.



- [20] Meschy F. Nutrition minérale des ruminants. Editions Quae, RD10, 2010, pp. 99-145.
- [21] Meschy F. Livestock Production Science 2000; 64: 9-14.
- [22] McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA, Sinclair LA, Wilkinson RG. Animal nutrition. Seventh Edition, PEARSON, 2010, pp. 103-137.
- [23] Rhue RD, Kidder G. Analytical procedures used by the IFAS extension soil laboratory and the interpretation of results. Soil Sciences Department, University of Florida, Gainesville, 1983
- [24] Ndebele N, Mtimuni JP, Mpofu IDT, Makuza S, Mumba P. Tropical Animal Health and Production 2005; 37: 38-393.
- [25] Rengel Z. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 2015; 15 (2): 397-409.
- [26] NRC. Nutrient requirements of domestic animals, Nutrient requirements of goats, National Academy of Sciences, Washington DC, USA, 1981.
- [27] Kessler J. Mineral nutrition of goats. In: Goat Nutrition, EAAP, Pudoc, 1991, pp. 104-119.
- [28] Underwood EJ, Suttle NF. The Mineral Nutrition of Livestock. 3<sup>rd</sup> Edition, CABI, New York, 1999, pp. 283-512.
- [29] Van Niekerk WA, Sparks CF, Rethman NF G, Coertze RJ. South African Journal of Animal Science 2004; 34: 105-107.
- [30] Anonymous. Agronomy Fact Sheet Series 2010. Available at: <http://nmsp.cals.cornell.edu>.
- [31] Viets FG, Lindsay WL. 1973. Testing soil for zinc, copper, manganese and iron. In: Soil Testing and Plant Analysis, Madison, WI, 1973, pp. 153-172.
- [32] Colombo C, Palumbo G, He J Z, Pinton R, Cesco S. 2013. Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants, and microbes. J Soil Sediments 2013; DOI 10. 1007/s11368-013-0814-z.
- [33] NRC. Nutrient requirements of beef cattle. 7<sup>th</sup> (revised) edition, Washington, DC, National Academy Press, 1996.

## Evaluation of Macro-mineral Concentration in Soil and *Atriplex halimus* from South East of Algeria in Relation to Ruminants Requirements

<sup>1</sup>Hadda Arab, <sup>1</sup>Smail Mehennaoui and <sup>2</sup>Mohamed-Laid Haddi

<sup>1</sup>Environment, Health and Animal Production Laboratory Veterinary and Agronomy Institute, Veterinary Department. University Hadj Lakhdar. Batna 1, 05000, Algeria  
<sup>2</sup>Department of Microbiology. Laboratory of Mycology, Biotechnology and Microbial Activities, Faculty of Natural and life Sciences. University Constantine 1, 25000, Algeria

**Abstract:** Major minerals was evaluated in soil and *Atriplex halimus* collected from South-East of Algeria during the year. The soil and plant samples were taken from ten random locations in studied area each season. Seasonal effect ( $P < 0.001$ ) was observed for all major minerals except for Sodium (Na) in soil and *Atriplex halimus*. Soil moisture decreased in summer and autumn. Soil type is silt-clay and calcareous and its pH was slightly alkaline pH (7.5- 8.5). *Atriplex halimus* was succulent during autumn and driest in spring. Soil Calcium (Ca) levels were higher ( $P < 0.05$ ) during summer than in other seasons. Na concentrations in whole plant were high in all seasons whereas Phosphorus (P) levels were low. Potential intake of Ca, Magnesium (Mg), Na and Potassium (K) by range ruminants consuming this shrub was sufficient to satisfy their requirements. However, consumption of P was low. Ruminants grazing this shrub must be supplemented with P throughout the year for better performance.

**Key words:** Arid Soil • *Atriplex halimus* • Major Mineral • Halophyte Shrubs

### INTRODUCTION

In arid areas, rangelands constitute the main source of ruminants production. However, their irrational use caused a continuous degradation of these resources. Browse plants represent an important fodder reserve for livestock in harsh conditions that can be used by grazing ruminants. In these areas, a major constraint to livestock production is the scarcity and fluctuating quantity and quality of the year-round feed supply [1]. The low forage production has motivated the use of shrub and tree fodders as feed resources for ruminants [2] in order to satisfy all of their nutritional requirements. In arid areas of Algeria, the climate variation leads to drought that becomes a constraint for the plant biodiversity [3].

In South-East of Algeria, El-Haouch is considered as an extremely arid zone, small ruminants feeding are largely dependent on pasture grasses and cereal residues. Additionally, fodder trees and shrubs have also played an important role in feeding livestock throughout the year.

Drought and salinity are the major limiting factors that adversely affect the growth and development of plants, agricultural productivity and caused disappearance of some plant species [4]. Halophytic plants are the endemic species grazed specially by small ruminants and camels in this region. These groups of plants tolerate a high level of salinity and display optimal growth in saline conditions [5]. Most of the farmers are traditional-small holder nomads doing transhumance each year. However, the information on the nutritive value of these plants is scarce especially their mineral content. The potential of any feed to support animal production depends on the quantity consumed by ruminants and the extent to which the feed meets energy, protein vitamin and mineral requirements [6]. The physio-geographical map of this area vegetation reveals the predominance of *Atriplex halimus* with 0.7 tons /hectare [7]. It is a perennial shrub tolerates well harsh conditions: drought, salinity, water stress and cold. This species is very palatable and is the preferred fodder of livestock during dearth periods, endowed with a

**Corresponding Author:** Hadda Arab, Environment, Health and Animal Production Laboratory Veterinary and Agronomy Institute. Veterinary Department. University Hadj Lakhdar. Batna 1, 05000. Algeria.

complex root system and a considerable biomass [8]. This forage plants are relatively high in crude protein, organic matter and ash 13%, 78% and 15% DM basis respectively [7] and reveal their nutritive potential through their leaves.

Majors and trace minerals are essential for ruminants for getting optimum production, deficiency and excess of these elements cause poor performance [9]. Indeed deficiency of macro and micro-minerals in the ration of dairy cows adversely affects growth, milk production and reproduction efficiency [10]. The concentration of minerals in plants is dependent upon interactions among a number of factors including soil type, plant species, stage of maturity, dry matter yield, grazing management and climate [11]. The knowledge of the level of minerals concentration present in this shrub may suggest minerals supplementation strategies to get better growth and reproductive efficiency of the ruminants. The purpose of this study was to evaluate the major mineral concentration of soil and *Atriplex halimus* seasonally during the year. This knowledge will lead to a better understanding on mineral status in soil and plant, as indicators of mineral contribution, deficiencies or excess during each season for enhanced nutrition of grazing small ruminants in this area.

## MATERIALS AND METHODS

**Site Description:** The study was conducted in El-Haouch near Biskra in the South-East Algeria (5° 52' E longitude, 34° 39' N latitude). The climate of this grazing zone is arid with an average annual rainfall of 147 mm year mainly during the end of autumn to the beginning of spring. The average minimum winter and maximum summer temperature are 7°C in January and 41°C in July [3]. According to Bazri and Ouahrani [12] in the same locality, the natural vegetation is presented mainly by halophytes plants include *Atriplex halimus* (11.68%), *Astractylis aristata* (10.66%), *Salsola vermiculata* (8.63%), *Suaeda vermiculata* (8.12), *Centaurea pungens* (6.60%) and *Anabasis articulata* (5.58%). Our focus has been on *Atriplex halimus* following its predominance in harsh environmental conditions and constitutes a solution to feed shortage that occurs during drought and dormant seasons for small-ruminants.

**Sample Collection and Preparation for Analysis:** Soil and plant samples were collected during four seasons from ten random locations during 2014-2015. Distance between

different sampling positions varied from 10 to 15 m. Plant samples were clipped with stainless steel scissors and placed in plastic bags, then dried in oven at 55°C for 72 h [13]. Ground samples were collected using a 1 mm stainless steel sieve. The ground samples were stored in closed bottles awaiting chemical analysis. Calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na) and potassium (K) were determined after wet digestion in nitric acid and perchloric acid [13]. The photometric method using molybdovanadate was used to measure phosphorus (P) concentration [7]. Soil samples were taken near the clipped forage plant at 20 cm depth, using a soil auger. Samples were collected in paper bags, dried at 65°C for 72 h and passed through a 2 mm sieve. Soil moisture was measured by weighing each sample, oven dried at 136°C for 24 h and reweighed to determine the water loss [5]. The soil pH and the grain size distributions were determined according to the technique recommended by ISRIC [14]. To prepare samples for Ca, Mg, Na and K determinations, one gram of ground sample of soil was boiled in 10 ml of aqua regia (A mixture of HNO<sub>3</sub> and HCL : 1/3 ratio) for 2 h at 100°C [3]. The extract was cooled and filtered using Whatman filter paper (N° 540) and diluted to 50 ml with distilled water. Major minerals in soil and *Atriplex halimus* were measured using flame Atomic Absorption Spectrophotometry (Shimadzu model AA 6800).

**Statistical Analysis:** The data were analyzed by the Statistical Analysis System software [15]. One way analysis of variance was used to discriminate between the seasons. The Student Newman Keuls was used for mean classification and significance level was set at P<0.05. Correlation coefficients of soil-plant mineral concentrations were determined after pooling the data for mineral levels of soil and *Atriplex halimus*.

## RESULTS AND DISCUSSION

**Soil and *Atriplex Halimus* Analysis:** Soil texture in study area is silt-clay. The means level of soil moisture varied from 1.76±1.35 to 3.70±1.7%. The low level was recorded in summer (Figure 1). A significant (P<0.05) decrease in soil moisture was observed during summer and autumn. These values were lower than those reported by Nadjimi [5] in Djelfa (Algeria), with a mean annual precipitation of 250 mm year. The low percentage of moisture in the soil results in reduced mobility and dissolution of the mineral substances [16] and even its transport to the root zone.

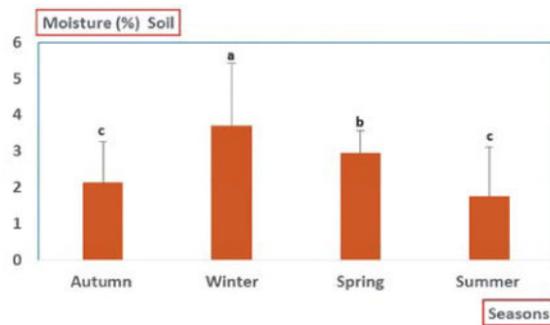


Fig. 1: Seasonal variation of moisture in soil from El-Haouch area. Values represent means±SD (n =10) Different letters above bars indicate significant difference at the 5% level.

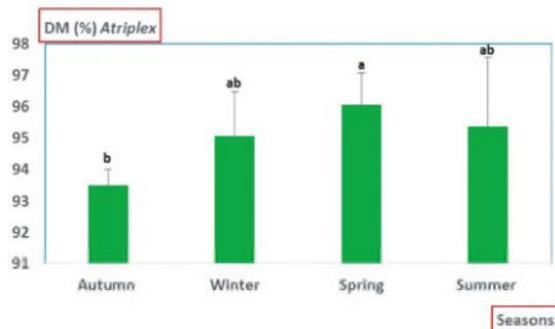


Fig. 2: Seasonal variation in dry matter (DM) of *Atriplex halimus*. Values represent means±SD (n =10) Different letters above bars indicate significant difference at the 5% level.

The average dry matters (DM) in *Atriplex halimus* are low in autumn and high in spring (Figure 2). A similar values ( $P>0.05$ ) were revealed in winter and summer,  $95.1\pm1.40$  versus  $95.4\pm2.21\%$  respectively. The high dry matter content in *Atriplex halimus* results in an increased needs of water for the animals consuming this shrub. In addition, high levels of DM are known as limiting factors for the digestibility of the fodder concerned.

Mineral elements exist in the cells and tissues of the animal body. Livestock usually derive most of their dietary nutrients from the feed they eat; however, significant quantities of minerals may be obtained from water, soil consumption and feed contamination [11]. The concentrations of essential elements must usually be maintained within quite narrow limits if the functional and structural integrity of the tissues is to be safeguarded and the growth, health and productivity of the animal are to remain unimpaired [17]. Soil is a major source of minerals for plants, animals and human being. Mineral plant nutrition consists in optimizing the various variables in order to maximize the productivity, the quality and the profitability of the plants. Mineral uptake by plants and hence their mineral composition are greatly influenced by soil pH. The pH of the soil determines the availability of major and minor mineral elements. In this study pH mean levels varied from  $7.97\pm0.15$  in spring to  $8.30\pm0.34$  in summer (Table 1). Similar values ( $P>0.05$ ) were observed in all seasons except for summer season ( $P<0.05$ ). This range is in agreement with that reported by Nedjimi [5]. Macronutrients (N, K, Ca, Mg and S) are more readily available at a pH from 6.5 to 8. However, phosphorus is widely available at a pH from 6 to 7 [16].

Major mineral concentration in soil and *Atriplex halimus* are presented respectively in Table 1 and 2. Mean soil calcium concentration varied significantly ( $P<0.001$ ) from one season to another (Table 1). The high level was observed in summer, whereas the levels during winter and spring seasons were similar ( $P>0.05$ ). Mean calcium levels in all seasons are higher than the critical level of 72 mg/kg in soil suggested by Rhue and Kidder [18] for optimal plant growth. Calcium constitute an essential part of the plant cell wall, provides support, rigidity and strength. High Ca level in study area may be a result of high level of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) and other Ca salt in soil. Soil Ca concentrations in the present study disagreed with those recorded in in Pakistan [6] and in Djelfa of Algeria [5] due to the difference in climate and the texture of the soil.

Table 1: Mean concentration (±SD) of major minerals in soil and pH during the different seasons

Season	Ca (g/kg DM)	Mg (g/kg DM)	Na (g/kg DM)	K (g/kg DM)	pH
Autumn	173 <sup>b</sup> ±49	33 <sup>a</sup> ±3.2	4.03±2.6	6 <sup>b</sup> ±2.6	8.0 <sup>b</sup> ±0.20
Winter	133 <sup>c</sup> ±15.04	31.42±3	3.65±1.44	4.50±0.95	8.08 <sup>b</sup> ±0.19
Spring	126.5±37	31 <sup>a</sup> ±4	3.77±3.43	6.86±1.54	7.97 <sup>b</sup> ±0.15
Summer	205 <sup>a</sup> ±59.3	10 <sup>c</sup> ±3.4	1.60±1.53	3.60±1.37	8.30 <sup>a</sup> ±0.34
Season effect	$P<0.001$	$P<0.001$	ns	$P<0.001$	$P<0.05$
Critical values <sup>(*)</sup> (mg/ kg)	< 72	30	< 62	80 <sup>(**)</sup>	-

Means with different letters in the same column are significantly different.

(\*): According to Rhue and Kidder [18]

(\*\*): As reported by Khan *et al.* [29]

Table 2: Mean concentration ( $\pm$ SD) of major minerals in *Atriplex halimus* during the different seasons

Season		Ca (g/kg DM)	P (g/kg DM)	Mg (g/kg DM)	Na (g/kg DM)	K (g/kg DM)
Autumn		3.78 <sup>d</sup> $\pm$ 1.64	0.99 <sup>c</sup> $\pm$ 0.22	9.43 <sup>b</sup> $\pm$ 2.64	49.1 $\pm$ 6.35	9.54 <sup>b</sup> $\pm$ 3.70
Winter		10.85 <sup>a</sup> $\pm$ 1.12	1.26 <sup>b</sup> $\pm$ 0.29	19.42 <sup>a</sup> $\pm$ 3.24	50.3 $\pm$ 5.53	7.74 <sup>a</sup> $\pm$ 2.30
Spring		5.54 <sup>c</sup> $\pm$ 0.99	3.13 <sup>a</sup> $\pm$ 1.80	18.38 <sup>a</sup> $\pm$ 1.71	46.33 $\pm$ 4.17	15.44 <sup>a</sup> $\pm$ 3.33
Summer		6.47 <sup>b</sup> $\pm$ 6.02	1.02 <sup>c</sup> $\pm$ 0.29	6.74 <sup>c</sup> $\pm$ 1.37	49.37 $\pm$ 16	14.5 <sup>a</sup> $\pm$ 4.50
Season effect		P<0.001	P<0.001	P<0.001	ns	P<0.001
Normal requirement range (g/ kg DM) *	Minimum	1.9	1.2	-	0.6	5
	Maximum	8.2	4.8	-	1.8	10
Goat requirements (g/kg DM) **		2.6	2.7	1.7	0.7	2.2

Means with different letters in the same column are significantly different.

ns: non-significant.

\*: Recommended range of mineral elements as suggested by NRC [19] in Ghazanfar *et al.* [9]

\*\* : Recommended requirement by Kessler [20] in Ramirez-Orduna *et al.* [2]

The mean Ca concentration in *A. halimus* ranged from 3.78 $\pm$ 1.64 to 10.85 $\pm$ 1.12 g/ kg DM. A significant season effect (P<0.001) was observed (Table 2). A high level was observed in winter 10.85 $\pm$ 1.12 g/kg DM compared to summer (6.47 $\pm$ 6.02 g/kg DM). High Ca levels in both seasons may be explained by the lowest rainfall and by a characteristic process of adaptation in the response of the plant to hydric stress. Forage Ca requirements of grazing ruminants is a subject of considerable debate as the requirement is influenced by animal type and level of production, age and weight. Calcium is the most abundant mineral in the the skeleton (99%) of the body [17]. Calcium is essential for the activity of a number of enzyme systems, including those necessary for the transmission of nerve impulses and for the contractile properties of muscle. It is also concerned in the coagulation of blood. Maintenance, growing and lactating sheep requirement for Ca was recommended to be 1.2 – 2.6/kg [11].

As reported by Mirzaei [11], NRC [19] and Kessler [20], the results of the current study considered that Ca values found in *Atriplex halimus* were adequate for optimum performance of ruminants (Table 2). Calcium deficiency produces osteomalacia in adulte and rickets in young growing animals [21]. High calcium is not generally regarded as a toxic element, because homeostatic mechanisms ensure that excess dietary calcium is extensively excreted in feces [17]. This study reported no relationship between Ca levels in soil and Ca contents in *Atriplex halimus* ( $r = 0.030$ ;  $P > 0.05$ ).

The phosphorus status of forages varied widely and is influenced by the phosphorus status of the soil, the stage of maturity of the plant and the climate [17]. Phosphorus level in *Atriplex halimus* varied significantly (P<0.001) from 0.99 $\pm$ 0.22 to 3.13 $\pm$ 1.80 g/kg DM (Table 2). The highest level was recorded in spring and the lowest was observed in autumn. Similar findings were reported by Ramirez-Orduna *et al.* [2] in Mexico and by Ghazanfar

*et al.* [9] in Pakistan. Variable content of P in different seasons could be due to variability in the available soil P and soil pH. Generally, contents of minerals in forages including P decrease with plant maturity. At a neutral or alkaline pH, phosphorus forms insoluble complexes with iron and aluminum or with calcium and magnesium [22]. The low P concentration in *A. halimus* is most probably due to its low availability in the soil. Those concentrations are marginally below the critical levels for ruminant requirements except during spring (Table 2). A severe P deficiency (< 1g / kg DM) leads to locomotors disorders followed by paralysis of the rear end and spontaneous fractures are observed in cattle and small ruminants [23]. The loss of appetite caused by phosphorus deprivation is often paralleled by a craving for and a consumption of abnormal materials, such as soil, wood, flesh and bones [17]. Ramirez-Orduna *et al.* [2] reported that the P daily requirements by range goat consuming shrubs evaluated in California might not meet goat requirements. This situation became more severe during the reproductive performance of goats, affecting the frequency of multiple fetuses.

**Ca:** P ratio in *Atriplex halimus* varied from 2 to 1. Low P and high Ca concentration resulted in an unusually wide Ca: P ratios. However, it seems that ruminants can sustain high Ca: P ratio, until 16, without affecting P metabolism [23].

Statistical analysis showed that soil Mg concentration was affected significantly (P<0.001) by season (table 1). Mean soil magnesium ranged from 10 $\pm$ 3.4 in summer to 33 $\pm$ 3.2 g/kg DM in autumn. Similar values were observed in autumn, winter and during spring (P>0.05). Those values were higher than those reported in Sargodha of Pakistan [24]. Mg levels of soil samples whatever the seasons were above the critical level of 30 mg/kg [6, 18] for Mg concentration (Table 1).

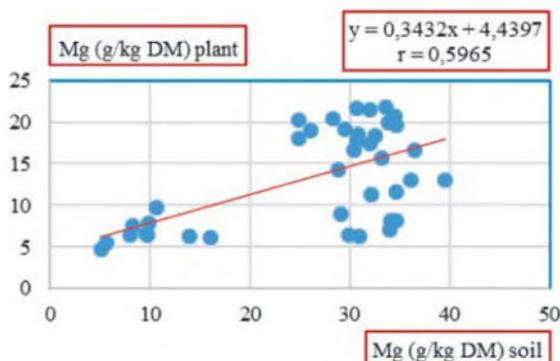


Fig. 3: Correlation between magnesium levels in soil and in *Atriplex halimus*

Mg concentration in *Atriplex halimus* showed a significant effect ( $P < 0.001$ ) in different seasons (Table 2). Similar values were observed in winter and spring ( $P > 0.05$ ). Mean Mg levels ranged from  $6.74 \pm 1.37$  in summer to  $19.42 \pm 3.24$  g/kg DM in winter (Table 2). This range is in agreement with that reported by Van Niekerk *et al.* [25] in the same shrub from South Africa. However, Mg levels in the same shrubs growing in Nigeria [26], California and Mexico [2] had lower Mg than those studied in the current research. The magnesium content of herbage plants vary with the species and with the soil and climatic conditions in which the plants are grown [17]. According to the theoretical requirement of Mg recommended for goats (1.7 g/kg M) [2] and those recommended for beef cattle and for lactating cows ranged from 1.2 to 2.1 g/kg DM [11]. The Mg content of *Atriplex halimus* is high enough to fulfill the requirements for small and large ruminants. However, the dietary Mg availability to stock is markedly affected by other dietary components, especially K; high dietary levels of K and N will inhibit Mg absorption from the rumen [11]. A simple deficiency of magnesium in the diet leads to decreased appetite and fibers digestibility of plant fibers in ruminants. A sharp deficiency of Mg is manifested by a hypomagnesaemic tetany and nervous signs [23]. A positive significant correlation was observed between the levels of soil Mg and plant Mg ( $r = 0.5965$ ;  $P < 0.05$ ), which indicate that Mg concentrations in plant are depending on Mg concentrations in soil (Figure 3).

Mean soil sodium levels did not differ significantly ( $P > 0.05$ ) between seasons (Table 1). Conversely, Nedjimi [5] and Khan *et al.* [6] reported a seasonal variation in Na content. Means Na values ranged from  $1.60 \pm 1.53$  to  $4.03 \pm 2.6$  g/kg DM in summer and autumn (Table 1).

The lowest soil sodium in summer was probably due to the accumulation of dissolved salts such as NaCl on the surface forming a salty crust. Those distinct accumulations are represented by calcium carbonate, gypsum and very soluble salts at the surface [27]. Sodium is necessary for the optimal growth of plants at low concentrations. The mean soil Na concentration was higher than the critical level of 62 mg/kg as stated by Rhue and Kidder [18]. In halophyte plants such as *Atriplex halimus*, sodium can replace certain minerals like potassium and is accumulated in high levels in its aerial parts. Na level in *Atriplex halimus* did not differ significantly ( $P > 0.05$ ) among seasons (Table 2). Mean Na in *Atriplex halimus* ranged from  $46.33 \pm 4.17$  to  $50.3 \pm 5.33$  g/kg DM (Table 2). This range is in disagreement with other reports [2, 6, 9, 26]. Na concentrations in studied plant in different seasons were higher than the critical levels for ruminants as suggested by NRC (Table 2). The high Na level in *Atriplex halimus* might refer to the possibility of this plant tolerates not only high level of salinity but displays optimal growth in saline conditions [5]. High quantities of salt are sequestered in vacuoles for osmotic adjustment and the surplus is excreted through specialized cells termed trichomes covering the leaf surface [28].

When the soil becomes driest, salt concentrations increase, osmotic potential become more negative; desert plants accumulate Na in order to improve water and saline stress. Most of the sodium of the animal body is present in the soft tissues and body fluids. Sodium is concerned with the acid-base balance and osmotic regulation of the body fluids [21]. It is reported that an adequate range from 1 to 4 g/kg of Na has been recommended for ruminants [1]. The high levels of Na in *Atriplex halimus* may depress digestibility and lead to energy losses, associated with low digestibility. Na toxicity is indicated clinically by anorexia and water retention and physiologically by intracellular dehydration, due to hypertonicity of the extracellular fluid (ECF), with sodium and chloride both contributing to disturbances [17]. There was a negative low relationship between Na levels in soil and Na levels in *Atriplex halimus* ( $r = -0.1833$ ;  $P > 0.05$ ).

Mean K levels in soil ranged from  $3.60 \pm 1.37$  in summer to  $6.86 \pm 1.54$  g/kg in spring (Table 1). There was a significant difference between seasons ( $P < 0.001$ ). K is a regulator of plant growth functions; it is required for photosynthesis and synthesis of carbohydrates and proteins. Soil K concentrations were higher than the critical level of 80 mg/kg as reported by Khan *et al.* [29] for optimal plant growth. The values of K in soil in

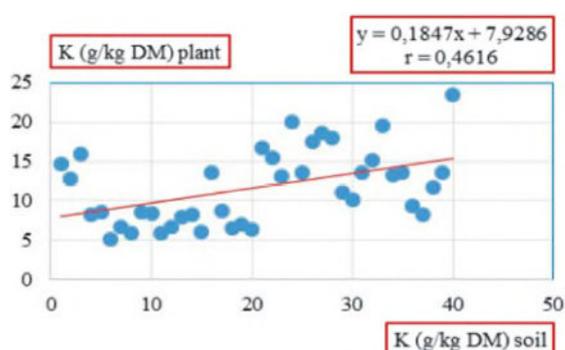


Fig. 4: Correlation between potassium levels in soil and in *Atriplex halimus*

the present study were higher than those reported by Shisia *et al.* [30] in Kenya and by Khan *et al.* [29] in central Punjab, Pakistan. Mean K concentrations determined in *Atriplex halimus* varied significantly ( $P < 0.001$ ) from  $7.74 \pm 2.30$  in winter to  $15.44 \pm 3.33$  g/kg in spring (Table 1). This range is in agreement with previous records [2, 11, 31]. Similar values were noted during spring and summer ( $P > 0.05$ ). Potassium is the major intracellular ion in animal tissues. This element plays a very important part, along with sodium, chlorine and bicarbonate ions, in osmotic regulation of the body fluids and in the acid–base balance in the animal [21]. K concentrations whatever the seasons were sufficient for the requirements ruminants as suggested by NRC (Table 2). It is reported that seasonal variation in K concentration might be related to water availability, because K absorption by the root is linked to soil moisture [2].

Additionally, salt ions such as  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  can induce nutrients deficiencies by limiting uptake of essential nutrients such as  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  [2]. The decrease of K contents in *Atriplex halimus* leaves can be explained by a K competition with Na for the same binding sites or it might be due to a down regulation of the genes engaged in K transport [28]. Therefore, in this study high Na concentration and water stress during winter might be the cause for the low K concentration in *Atriplex halimus*. A dietary excess of potassium is normally excreted rapidly from the body, mainly in the urine. The high intake of the element may interfere with the absorption and metabolism of magnesium in the animal, which may be an important factor in the etiology of hypomagnesaemic tetany [21].

As for Mg, a positive correlation was observed between soil and plant studied K ( $r = 0.4616$ ;  $P < 0.05$ ), which indicates that the K contents vary in a linear way

and in the same direction for the soil and for *Atriplex halimus* (Figure 4).

## CONCLUSION

Our results indicated that major mineral Ca, Mg, Na and K in soil were above recommended levels for growth plants. Mineral concentration in *Atriplex halimus* were affected by climatic conditions and soil type. This shrub was found to be high salt tolerant. The Ca, Mg, Na and K concentration in whole plant were at sufficient level to meet the requirement of ruminants. The P concentrations in shrub were minimal in terms of requirements and Ca: P ratios may present a problem in terms of P utilization. This deficiency may be a limiting factor for the local production of ruminants that graze this forage alone. The low P level most probably due to the calcareous and alkaline soil. Supplementation of P should be considered with this plant as the only forage. It is necessary to take into consideration the results obtained in order to formulate an adequate mineral supplement to the ruminants which consume this forage shrub.

## REFERENCES

1. Ammar, H., S. Lopez and J.S. Gonzalez, 2005. Assessment of the digestibility of some Mediterranean shrubs by in vitro techniques. *Animal Feed Science and Technology*, 119: 323-331.
2. Ramirez-Orduna, R., R.G. Ramirez, H. Gonzalez-Rodriguez and G.F.W. Haenlein, 2005. Mineral content of browse species from Baja California Sur, Mexico. *Small Ruminant Research*, 57: 1-10.
3. Arab, H., M.L. Haddi, A. Boudaoud and S. Mehennaoui, 2016. Seasonal variation of Cu, Zn, Mn and Fe levels in soil and *Atriplex halimus* in arid zones of South East Algeria. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(6): 1727-1733.
4. Belkhodja, B. and A. Benaldj, 2007. The eco physiological interest of halophytic plants in the rehabilitation of arid and semi-arid areas in Algeria. In *African Crop Science Society*, 8: 1699-1702.
5. Nedjimi, B., 2012. Seasonal variation in productivity, water relations and ion contents of *Atriplex halimus* spp. *schweifurthii* grown in Chott Zehrez wetland, Algeria. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11: 43-49.

6. Khan, Z.I., M. Ashraf, E.E. Valeem, K. Ahmed and M. Danish, 2007. Pasture concentration of minerals in relation to the nutrient requirements of farm livestock. *Pakistan Journal of Botany*, 39(6): 2183-2191.
7. Haddi, M.L., H. Arab, F. Yaacoub, J.L. Hornick, F. Rollin and S. Mehennaoui, 2009. Seasonal changes in chemical composition and in vitro gas production of six plants from Eastern Algerian arid regions. *Livestock Research of Rural Development*, 21(4): 1-11.
8. Walker, D.J., S. Lutts, M. Sanchez-Garcia and E. Correal, 2014. *Atriplex halimus* L.: Its biology and uses. *Journal of Arid Environments*, 100 (10): 111-121.
9. Ghazanfar, S., A. Latif, I.H. Mirza and M.A. Nadeem, 2011. Macro-minerals concentrations of major fodder tree leaves and shrubs of District Chakwal, Pakistan. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(5): 480-484.
10. Bhandari, B.M., A. Goswami, M.R. Garg and S. Samanta, 2016. Study on minerals status of dairy cows and their supplementation through area specific mineral mixture in the state of Jharkhand. *Journal of Animal Science and Technology*, 58: 42, DOI 10.1186/s4078-016-0124-2.
11. Mirzaei, F., 2012. Minerals profile of forages for grazing ruminants in Pakistan. *Open Journal of Animal Sciences*, 2(3): 133-141.
12. Bazri, K. and G. Ouahrani, 2015. Contribution à une analyse de la dynamique de la végétation des parcours steppiques dans la région de Biskra au Sud-Est Algérien. *European Scientific Journal*, 11(32): 1857-1881.
13. Arab, H., M.L. Haddi and S. Mehennaoui, 2009. Evaluation de la valeur nutritive par la composition chimique des principaux fourrages des zones arides et semi-arides en Algérie. *Sciences et Technologie*, 30: 50-58.
14. ISRIC, 1984. Procedures for soil analysis. 3<sup>rd</sup> ED, International soil reference and information center Wageningen, pp: 360.
15. SAS, 2003. Statistical analysis system: User's guide. Cary Ny USA.
16. Calvet, R., 2003. Le sol propriétés et fonctions: Phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales. Editions France Agricole, pp: 511.
17. Underwood, E.J. and N.F. Suttle, 1999. The mineral nutrition of livestock. CABI Publishing, Wallingford, UK. 3<sup>rd</sup> edition, pp: 614.
18. Rhue, R.D. and G. Kidder, 1983. Analytical procedures used by the IFAS extension soil laboratory and the interpretation of results. Soil Department, University of Florida, Gainesville, FL.
19. NRC, 1984. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 3<sup>th</sup> Rev. Edn., National Academy Press, National Research Council, Washington DC., USA.
20. Kessler, J., 1991. Mineral nutrition of goats. In: Morand-Fehr, P. (ED), *Goat Nutrition*, Vol. 46. EAAP publication, pp: 104-119.
21. McDonald, P., R.A. Edwards, J.F.D. Greenhalgh, C.A. Morgan, L.A. Sinclair and R.G. Wilkinson, 2010. *Animal nutrition*. Seventh Edition, Prentice Hall is an imprint of PEARSON, pp: 103-137.
22. Lehner, A., 2014. La nutrition hydrique et minérale chez les plantes. Laboratoire de glycobiologie et matrice extracellulaire végétale. Université de Rouen, pp: 118.
23. Meschy, F., 2010. *Nutrition minérale des ruminants*. Editions Quae, pp: 208.
24. Ahmed, K., Z.I.Khan, M. Shaheen and A. Seidavi, 2012. Dynamics of magnesium, copper and zinc from soil to forage grown in semi-arid area in Sargodha, Pakistan. *Legume Research*, 35(4): 294-302.
25. Van Niekerk, W. A., C.F. Sparks, N.F.G. Rethman and R.J Coertze, 2004. Mineral composition of certain *Atriplex* species and *Cassia sturtii*. *South African Journal of Animal Sciences*, 34(1): 105-107.
26. Kallah, M.S., J.O. Bale, U.S. Abdullahi, I.R. Muhammad and R. Lawal, 2000. Nutrient composition of native forbs of semi-arid and dry sub-humid savannas of Nigeria. *Animal Feed Sciences and Technology*, 84: 137-145.
27. Pouget, M., 1980. Les relations sol-végétations dans les steppes Sud-algéroises. O.R.S.T.O.M., Paris, pp: 569.
28. Bendaly, A., D. Messedi, A. Smaoui, R. Ksouri, A. Bouchereau and C. Abdelly, 2016. Physiological and leaf metabolome changes in the xerohalophyte species *Atriplex halimus* induced by salinity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 103: 208-218.
29. Khan, Z.I., K. Ahmed, M. Ashraf, S.A.H. Naqvi, S. Kashaf, A. Ejaz and E.E. Valeem, 2010. Evaluation of potassium status of rams: the use of pasture and blood plasma as indicators under semi-arid environmental conditions in Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 42(6): 3933-3938.
30. Shisia, K.S., N. Veronica, N. Hudson, J. Isaac and O. Fredrick, 2014. Assessment of mineral deficiencies among grazing areas in Uasin Gishu County, Kenya. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(2): 44-48.
31. Badshah, L., F. Hussain, S. Perveen and Z. Sher, 2012. Seasonal variation in the macromineral in some woody and herbaceous forage in rangeland District, Tank, Pakistan. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(25): 4167-4175.

## ملخص:

شملت دراستنا تقييم المعادن الرئيسية والثانوية (الكالسيوم Ca والفوسفور P، المغنيسيوم Mg، الصوديوم Na، البوتاسيوم K، النحاس Cu، الزنك Zn، المنغنيز Mn والحديد Fe) وتحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية: المادة الجافة (DM)، الرطوبة، المادة المعدنية (MM)، والمادة العضوية (OM) لشجيرة القطف (*Atriplex halimus*) والتربة (بالإضافة إلى درجة الحموضة pH) التي تنمو عليه في المنطقة الزراعية الرعوية السعدة (بلدة الحوش جنوب شرق بسكرة). وبالإضافة إلى ذلك، تم إجراء تحليل لمحتوياتها من العناصر السامة (الرصاص والكاديوم). في البروتوكول التجريبي الأول تم تحديد تركيزات المعادن الأساسية والسامة في *Atriplex halimus* شهريا ولمدة عشرة أشهر في الأوراق والسيقان و في كل قسم من خمسة أقسام قسمت إليها النبتة من الجزء I قمي إلى الجزء V قاعدي. تراكيز العناصر الرئيسية والثانوية أعلى في الأوراق مما كانت عليه في السيقان ( $P < 0.05$ )، باستثناء معدلات متشابهة للنحاس ( $P > 0.05$ ). معدل النسبة Ca/P ومعدل K أعلى في السيقان مما كانت عليه في الأوراق ( $P < 0.05$ ). وكانت تركيزات P، Mg، Na، K، Cu، Zn و Mn المسجلة في الأجزاء الخمسة للأوراق متماثلة ( $P > 0.05$ ). علاوة على ذلك، الجزء I لديه أدنى محتوى من الكالسيوم ( $9.2 \pm 2.7$  g/kg DM) والحديد ( $665 \pm 207$  mg/kg DM). تم العثور على أعلى نسبة Ca/P في الجزء V ( $4.74 \pm 2.5$ ) وأدناها في الجزء I ( $3.10 \pm 2.1$ ). بالمقارنة مع النتائج المسجلة في أجزاء الأوراق، لوحظ وجود تناقص تدريجي من القمة إلى القاعدة في تلك الخاصة بالسيقان و فرق واضح ( $P < 0.001$ ) بين الأجزاء الخمسة باستثناء نسب Mn المتشابهة ( $P > 0.05$ ). العناصر السامة (الرصاص والكاديوم) التي قيست في أوراق وسيقان الشجيرة لها مستويات متقاربة وطبيعية ( $P > 0.05$ ). في البروتوكول التجريبي الثاني أخذت عينات موسمية من التربة والشجيرة موضع دراستنا لتسليط الضوء على العلاقة بين المحتويات من العناصر الرئيسية والسامة (Cd و Pb). وتكشف دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة أنها مزيج من الصلصال و الطين و ذو طبيعة قلوية. يتراوح محتواه من P بين 35 إلى 113 mg/kg MS. معدلات MS، الرطوبة، MM و MO تختلف اختلافا كبيرا من موسم إلى آخر ( $P < 0.01$  و  $P < 0.001$ ). لوحظ تأثير طفيف للمواسم على درجة الحموضة ( $P < 0.05$ ). تختلف تركيزات العناصر الرئيسية والثانوية في التربة من موسم إلى آخر ( $P < 0.05$ )، باستثناء تركيزات Na و Mn التي تظل ثابتة خلال الفصول الأربعة ( $P > 0.05$ ). متوسط معدلات الرصاص في حدود  $5.50 \pm 1.19$  و  $5.89 \pm 0.43$  mg/kg في الخريف والشتاء، على التوالي. تتراوح نسبة الكاديوم من  $0.200 \pm 0.074$  إلى  $0.220 \pm 0.057$  mg/kg MS على التوالي، لنفس المواسم. معدل DM، الرطوبة، MM و OM في أوراق وسيقان *Atriplex halimus* تختلف من موسم لآخر ( $P < 0.05$ ). سجلت أعلى نسبة للرطوبة خلال فصل الخريف (7% في السيقان و 6.11% في الأوراق)، أما نسب MM فهي في حدود 19% في السيقان و 6% في الأوراق خلال فترة الصيف. مستويات المعادن الرئيسية والثانوية تختلف اختلافا كبيرا ( $P < 0.05$ ) من موسم إلى آخر باستثناء نسب Na التي تبقى دون تغيير ( $P > 0.05$ ). نسب النحاس متقاربة ( $P > 0.05$ )، لكنها تبلغ في الخريف  $8 \pm 1.46$  و  $18.65 \pm 8$  mg/kg MS في الأوراق والسيقان على التوالي ( $P = 0.0035$ ). خلال فصل الصيف النسب Ca/P تختلف اختلافا كبيرا ( $P = 0.0062$ ) بين الأوراق والسيقان. خلال فصل الشتاء، يختلف متوسط معدلات الرصاص المخزنة في الأوراق كثيرا ( $P < 0.05$ ) عن السيقان ( $2.18 \pm 0.46$ ) مقابل  $1.33 \pm 0.64$  mg/kg MS. لوحظ ارتباط ملموس ( $P < 0.01$ ) بين معدلات Mg و K في التربة و في الشجيرة محل دراستنا. المعاملات المحسوبة في حدود 0.4616 و 0.5965 على التوالي. وعلاوة على ذلك، فإن مستوى النحاس في الأرض والنبتة العلفية المدروسة يتغير في نفس الاتجاه ( $P < 0.01$ ) ومعامل الارتباط في حدود 0.80.

**مصطلحات البحث:** النباتات الملحية، *Atriplex halimus*، منطقة جافة، معادن رئيسية وثانوية، كاديوم، رصاص، خصائص فيزيائية وكيميائية.

## Résumé :

Notre étude a porté sur l'évaluation des éléments minéraux majeurs et mineurs (Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn et Fe) et sur la détermination des paramètres physico-chimiques : matière sèche (MS), humidité, matière minérale (MM) et matière organique (MO) de l'arbuste halophyte *Atriplex halimus* et du sol (en plus de son pH) sur lequel il pousse dans la région agro-pastorale Essaada (localité d'El Haouche au Sud-Est de Biskra). De plus, une analyse des teneurs en éléments toxiques (Pb et Cd) a été réalisée. Un premier protocole expérimental a été mis en œuvre au cours duquel ont été mensuellement déterminées les concentrations en minéraux essentiels et toxiques dans *Atriplex halimus* sur une période de dix mois dans les feuilles et les tiges et pour chaque fraction de la plante, de la fraction apicale I jusqu'à la fraction basale V. Les taux enregistrés en macroéléments et en oligoéléments sont plus élevés dans les feuilles que dans les tiges ( $P < 0.05$ ), à l'exception des taux du Cu qui sont similaires ( $P > 0.05$ ). Les taux du rapport Ca/P et ceux du K sont plus élevés dans les tiges que dans les feuilles ( $P < 0.05$ ). Les teneurs en P, Mg, Na, K, Cu, Zn et en Mn enregistrées dans les cinq fractions des feuilles sont comparables ( $P > 0.05$ ). Par ailleurs, la fraction apicale I a la teneur la plus faible en Ca ( $9.2 \pm 2.7$  g/kg MS) et en Fe ( $665 \pm 207$  mg /kg MS). Le taux du rapport Ca/P le plus élevé a été constaté dans la fraction V ( $4.74 \pm 2.5$ ) et le plus faible dans la fraction I ( $3.10 \pm 2.1$ ). Comparativement aux résultats des fractions des feuilles, ceux des tiges indiquent une diminution progressive du sommet vers la base et une différence significative ( $P < 0.001$ ) a été constatée entre les cinq fractions à l'exception des taux en Mn qui sont analogues ( $P > 0.05$ ). Les éléments toxiques (Pb et Cd) mesurés dans les feuilles et les tiges de l'arbuste sont semblables et équivalentes aux teneurs naturelles ( $P > 0.05$ ). Des prélèvements saisonniers de sol et d'arbuste objets de notre étude ont été effectués au cours du deuxième protocole expérimental afin de mettre en évidence les relations entre les teneurs en minéraux essentiels et non essentiels (Pb et Cd) dans les deux matrices (sol et végétal). L'étude des caractéristiques physico-chimiques du sol révèle qu'il est de texture argilo-limoneuse et de pH alcalin. Sa teneur en P assimilable varie de 35 à 113 mg/kg MS. Les taux de la MS, humidité, MM et de la MO diffèrent significativement d'une saison à une autre ( $P < 0.01$  et  $P < 0.001$ ). Les valeurs du pH sont légèrement influencées par la saison ( $P < 0.05$ ). Les concentrations des macroéléments et des oligoéléments du sol varient d'une saison à une autre ( $P < 0.05$ ), à l'exception de celles du Na et du Mn qui restent constantes au cours du temps ( $P > 0.05$ ). Les taux moyens du Pb mesurés sont de l'ordre de  $5.50 \pm 1.19$  et de  $5.89 \pm 0.43$  mg/kg MS au cours de l'automne et de l'hiver respectivement. Ceux du Cd varient de  $0.20 \pm 0.074$  à  $0.22 \pm 0.057$  mg/kg MS respectivement pour les mêmes saisons. Les taux de la MS, humidité, MM et de la MO dans les feuilles et les tiges d'*Atriplex halimus* sont variables d'une saison à une autre ( $P < 0.05$ ). Les taux les plus élevés en humidité sont enregistrés au cours de l'automne (7 % pour les tiges et 6.11 % pour les feuilles), ceux de la MM sont de l'ordre de 19 % et 6 % dans les

feuilles et les tiges respectivement (au cours de la période d'été). Les teneurs en minéraux majeurs et mineurs diffèrent significativement ( $P < 0.05$ ) d'une saison à une autre à l'exception des taux de Na qui restent invariables ( $P > 0.05$ ). Celles du Cu sont comparables ( $P > 0.05$ ) alors qu'en automne elles atteignent  $18.65 \pm 8$  et  $8 \pm 1.46$  mg/kg MS dans les feuilles et les tiges respectivement ( $P = 0.0035$ ). Au cours de l'été les taux du rapport Ca/P diffèrent significativement ( $P = 0.0062$ ) entre les feuilles et les tiges. Au cours de l'hiver, les taux moyens du Pb enregistrés dans les feuilles diffèrent significativement ( $P < 0.05$ ) de ceux des tiges :  $2.18 \pm 0.46$  contre  $1.33 \pm 0.64$  mg/kg MS. Des corrélations significatives ( $P < 0.01$ ) ont été observées entre les taux de Mg et de K du sol et ceux de l'arbuste étudié. Les coefficients calculés sont de l'ordre de 0.5965 et de 0.4616 respectivement. De plus, les taux du Cu dans le sol et la plante fourragère varient dans le même sens et avec une intensité similaire ( $P < 0.01$ ) avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0.80.

Nos résultats montrent que l'arbuste étudié *Atriplex halimus* constitue une source importante de minéraux à l'exception du P et du Mn. Un apport supplémentaire de ces éléments est nécessaire. Ce déficit est lié probablement à la nature du sol (carbonaté) et du pH élevé ; ces deux facteurs réduisent la translocation de ces minéraux du sol vers la plante. Les teneurs en Cd et en Pb dans le sol et dans l'arbuste étudié sont naturelles non nocives pour l'environnement et pour les animaux qui broutent cet arbuste.

**Mots clés :** Halophyte, *Atriplex halimus*, zone aride, minéraux majeurs et mineurs, cadmium, plomb, paramètres physico-chimiques.

**Abstract:**

Our study focused on the evaluation of major and minor mineral elements (Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn and Fe) and on the determination of physicochemical parameters: dry matter (DM), Mineral matter (MM) and organic matter (OM), of the halophytic shrub *Atriplex halimus* and soil (in addition to its pH) on which it grows in the agro-pastoral region of Essaada (locality of El Haouche in the South-East Of Biskra). In addition, an analysis of the contents of toxic elements (Pb and Cd) was carried out. A first experimental protocol was implemented during which the essential and toxic mineral concentrations in *Atriplex halimus* were determined monthly during ten months in the leaves and stems, in the five fractions of the plant from upper one I to lower one V. Major elements and trace elements levels are higher in leaves than in stems ( $P < 0.05$ ), with the exception of Cu levels that are similar ( $P > 0.05$ ). The Ca/P ratio and K were higher in stems than in leaves ( $P < 0.05$ ). The P, Mg, Na, K, Cu, Zn and Mn levels recorded in the five leaf fractions are comparable ( $P > 0.05$ ). In addition, fraction I had the lowest Ca and Fe contents ( $9.2 \pm 2.7$  g / kg DM) ( $665 \pm 207$  mg / kg DM) respectively. The highest Ca/P ratio was found in fraction V ( $4.74 \pm 2.5$ ) and the lowest in fraction I ( $3.10 \pm 2.1$ ). Compared to leaf fractions results, stems ones decreased from upper fraction I to lower fraction V and a significant difference ( $P < 0.001$ ) was observed except for Mn contents which were similar ( $P > 0.05$ ). The toxic elements (Pb and Cd) measured in the leaves and stems of the shrub are similar and considered to be normal ( $P > 0.05$ ). Seasonal soil and shrub samples were studied during the second experimental protocol in order to highlight the relationships between the essential and non-essential (Pb and Cd) minerals. The study of the physico-chemical characteristics of the soil reveals that it is of clay-silty texture and has alkaline pH. Phosphorus content varies from 35 to 113 mg / kg DM. DM, moisture, and OM levels differ significantly from one season to another ( $P < 0.01$  and  $P < 0.001$ ). The pH values are slightly influenced by season ( $P < 0.05$ ). The concentrations of major elements and trace elements in soil vary from one season to another ( $P < 0.05$ ), with the exception of those of Na and Mn which remain constant during the four seasons ( $P > 0.05$ ). Mean Pb levels measured were  $5.50 \pm 1.19$  and  $5.89 \pm 0.43$  mg / kg DM during the autumn and winter respectively. The Cd values ranged from  $0.200 \pm 0.074$  to  $0.220 \pm 0.057$  mg / kg DM for the same seasons, respectively. DM, moisture, MM and OM levels in the leaves and stems of *Atriplex halimus* are variable from one season to another ( $P < 0.05$ ). The highest moisture levels are recorded during the autumn (7% for stems and 6.11% for leaves), while MM level is in the order of 19% and 6% in leaves and stems respectively (during the summer period). The major and minor mineral content differed significantly ( $P < 0.05$ ) from one season to another, with the exception of Na levels which remains invariable ( $P > 0.05$ ). Those of Cu are in the same order ( $P > 0.05$ ), whereas in autumn they reached  $18.65 \pm 8$  and  $8 \pm 1.46$  mg / kg DM in the leaves and stems respectively ( $P = 0.0035$ ). During the summer, the Ca/P ratio differed significantly ( $P =$

0.0062) between leaves and stems. In winter, average Pb levels recorded in leaves differed significantly ( $P < 0.05$ ) from those of stems  $2.18 \pm 0.46$  versus  $1.33 \pm 0.64$  mg / kg DM. Significant correlations ( $P < 0.01$ ) were observed between soil Mg and K levels and those of the shrub studied. The calculated coefficients are of the order of 0.5965 and 0.4616 respectively. In addition, Cu levels in the soil and the forage plant studied vary in the same direction and with a similar intensity ( $P < 0.01$ ) and the correlation coefficient is in the order of 0.80.

Our results show that the studied shrub *Atriplex halimus* is an important source of minerals with the exception of P and Mn. An additional contribution of these elements is necessary. This deficit is probably related to the nature of the soil (carbonate) and high pH, both factors reduce the translocation of these minerals from the soil to the plant. The levels of Cd and Pb in the soil and in the studied shrub are natural and not harmful for the environment nor for the animals grazing this shrub.

**Keywords:** Halophyte, *Atriplex halimus*, arid zone, major and trace minerals, Cadmium, lead, physicochemical parameters.