

Article Original / Original article

Dosage des métaux lourds dans les *Zygophyllum* réputés antidiabétiques

Heavy metal test in Zygophyllum reputed to be antidiabetic

Dalila Smati^{1*}, Victoria Hammiche¹, Mohamed Azzouz², Barkahoum Alamir³

¹ Laboratoire de Botanique Médicale. Département de Pharmacie, Université d'Alger, 18 avenue Pasteur, Alger, Algérie

² Laboratoire de Toxicologie. Département de Pharmacie, Université d'Alger, 18 avenue Pasteur, Alger, Algérie

³ Centre National de Toxicologie, Route Petit Staoueli, Delly Brahim, 16000 Alger, Algérie

Résumé – Objectifs : Parmi les métaux lourds présents dans notre environnement, certains sont toxiques ; absorbés par les plantes, ils s'accumulent dans les tissus et s'éliminent lentement ; d'autres, les oligoéléments, indispensables à l'organisme, deviennent toxiques à dose forte. Dans le genre *Zygophyllum*, trois espèces sahariennes *Z. geslini*, *Z. album*, et *Z. sp.*, sont employées quotidiennement en médecine traditionnelle comme antidiabétiques ; cette utilisation répétée nous a incités à effectuer un dosage des métaux lourds (plomb, cadmium, fer, arsenic, manganèse, zinc, chrome, cuivre). **Méthodes :** – Pour chaque plante, une prise d'essai de 2 g de poudre de tige, racine, feuille, fruit, est minéralisée (méthode de Kjeldall). L'opération est effectuée deux fois. – Chaque minéralisât est analysé par injection dans le four (20 µL du minéralisât dilué au vingtième et 5 µL de modificateur de matrice). Pour chaque élément, une courbe d'étalonnage est réalisée. – La lecture s'effectue dans les conditions analytiques identiques à celles utilisées pour établir la courbe d'étalonnage. La concentration de l'échantillon est directement lue sur les courbes respectives. – Dosage par spectrophotométrie ; appareil simple (fer) ou absorption atomique (plomb, cadmium, manganèse, arsenic, nickel). **Résultats :** Sous forme de tableaux, ils sont exprimés en µg/g, pour les trois espèces. **Conclusions :** Les valeurs les plus élevées sont : le plomb, le cadmium, le manganèse et le nickel. Le taux de chrome avoisine celui de la levure de bière, considérée comme une bonne source. La valeur en zinc dans *Z. geslini* est importante. Le fer est faiblement représenté.

Mots clés : Métaux lourds, *Zygophyllum*, diabète

Abstract – Objectives: Among the heavy metals present in our environment, some are toxic; absorbed by plants, they accumulate in tissues and are eliminated slowly; others, the trace elements, essential to the organism, become toxic in strong doses. In the *Zygophyllum* genus, three Saharan species, *Z. geslini*, *Z. album*, and *Z. sp.*, are of daily use in traditional medicine as antidiabetics; this repeated use encouraged us to investigate concentrations of heavy metals in these plants (lead, cadmium, iron, arsenic, manganese, zinc, chromium and copper). **Methods:** – For each plant 2 g of powdered stem, root, leaf and fruit are mineralized (Kjeldahl method). The operation is performed twice. – The analysis of each is done by injection in a furnace (20 µL diluted to the twentieth and 5 µL of matrix modifier). For each element a calibration curve is carried out. – The reading is carried out under the same analytical conditions used for the establishment of the calibration curve. The concentration of the sample is directly read on the respective curves. – Determination by spectrophotometry; simple apparatus for iron, atomic absorption for lead, cadmium, manganese, arsenic and nickel. **Results:** In the form of tables, they are expressed in µg/g, for the three species. **Conclusions:** The highest values are: lead, cadmium, manganese and nickel. The chromium rate borders that of brewers' yeast, which is regarded as a good source. The zinc value in *Z. geslini* is significant. Iron is poorly represented.

Key words: Heavy metals, *Zygophyllum*, diabetes

Reçu le 19 juin 2011, accepté après modifications le 2 septembre 2011
Publication en ligne le 17 octobre 2011

* Correspondance : Dalila Smati, dalila_smati@yahoo.fr

1 Introduction

Il n'existe pas de relation fixe entre la teneur du sol en métaux lourds et leur absorption par les plantes. L'absorption est fonction non seulement de la solubilité des métaux dans le sol mais aussi des propriétés du sol (pH, potentiel d'oxydoréduction), des variations climatiques, des fertilisants et des systèmes racinaires [1]. Dans les sols acides et pauvres en humus, les métaux lourds peuvent être absorbés par les plantes. Par contre, dans les sols basiques, riches en humus, les métaux lourds sont piégés et il n'y a pas de risque immédiat pour la santé. Certains métaux, tels que le plomb et le cadmium, sont toxiques ; d'autres, les oligoéléments tels que le zinc, le cuivre, le manganèse et le chrome, indispensables à l'organisme à faible dose, deviennent toxiques à plus forte dose.

Trois plantes sahariennes, appartenant au genre *Zygophyllum*, sont des antidiabétiques réputés : *Z. geslini* Coss., espèce endémique répandue au Sahara septentrional algérien ; *Z. album* L., des pâturages désertiques algériens et tunisiens ; *Z. cornutum* Coss., endémique algéro-tunisienne commune sur les terrains salés des zones présahariennes.

Leur utilisation dans des traitements au long cours nous a incités à y doser les métaux lourds.

2 Matériel et méthode

Espèces testées

Z. geslini de Ouargla¹, *Z. album* d'Adrar², *Z. sp.* d'Oued Souf³. La prise d'essai est de 2 g de poudre de tige, racine, feuille et fruit.

Minéralisation

Réactif : Acide nitrique supra-pur Panreac quimica (69 %) (PRS).

Matériels

- Éprouvettes, tubes, pipettes à 1 mL, balance.

Mode opératoire

- 2 g de poudre + 10 ml d'acide nitrique ;
- on ajoute au fur et à mesure 2 mL d'acide nitrique jusqu'à obtention d'un minéralisat limpide. Les volumes obtenus figurent dans le tableau I ;
- le blanc est soumis aux mêmes conditions que les essais.

Analyse des échantillons

On injecte dans le four 20 µL du minéralisat dilué au vingtième et 5 µL de modificateur de matrice. La lecture des échantillons s'effectue dans les mêmes conditions analytiques utilisées pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. La concentration de l'échantillon est directement lue sur les courbes respectives.

Dosage

Pour chaque élément, une courbe d'étalonnage a été réalisée.

¹ Ouargla, à 800 km au sud-est d'Alger.

² Adrar, à 1400 km au sud-ouest d'Alger.

³ Oued Souf, à 620 km au sud-est d'Alger.

Tableau I. Volumes des minéralisats obtenus à partir d'une prise d'essai de 2 g de poudre.

	Échantillon de Ouargla	Échantillon d'Adrar	Échantillon de Oued Souf
Blanc	21 mL	30 mL	24 mL
Racine	27 mL	22 mL	13 mL
Tige	26 mL	17 mL	18 mL
Feuille	30 mL	17 mL	18 mL
Fruit	27 mL	21 mL	16 mL

Tableau II. Dosage du cadmium, programme thermique.

Température (°C)	Temps de montée (s)	Temps de maintien (s)	Débit de gaz (mL/mn)	Type de gaz
Séchage :				
• 110	1	30	250	Normal
• 130	15	30	250	Normal
Pyrolyse 700	10	20	250	Normal
Atomisation 1 800	0	3	0	Normal
Nettoyage 2 450	1	3	250	Normal

2.1 Dosage du cadmium

Appareillage

- Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une correction par effet Zeeman de type A-Analyst 800-Perkin Elmer ;
- lampe de cadmium de type EDL.

Réactifs

- Acide nitrique à 5 % dans l'eau distillée ;
- acide nitrique à 8 % dans l'eau distillée ;
- modificateur de matrice : NH₄H₂PO₄ à 0,050 mg + Mg(NO₃)₂ à 0,003 mg ;
- solution stock de cadmium à 1 g/L Panreac, Lot N° 0000113126.

Conditions analytiques

- Longueur d'onde (nm) : 228,6 ;
- temps de lecture (s) : 5 ;
- fente (nm) : 0,7 ;
- gaz vecteur : argon ;
- mode de lecture : absorbance ;
- intensité de la lampe (mA) : 69 ;
- programme thermique (tableau II).

2.2 Dosage du cuivre

Appareillage

- Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une correction par effet Zeeman de type « A-Analyst 300-Perkin Elmer » ;
- lampe de cuivre de type HCL (*Hollow Cathod Lamp*) ;

- atomisation par flamme ;
- système d'injection automatique.

Réactifs

- Acide nitrique à 5 % dans l'eau distillée ;
- acide nitrique à 8 % dans l'eau distillée ;
- modificateur de matrice : $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ à 0,050 mg + $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ à 0,003 mg ;
- solution stock de cuivre à 1 g/L Panreac, Lot N° 0000108602.

Conditions analytiques

- Longueur d'onde (nm) : 324,4 ;
- temps de lecture (s) : 5 ;
- fente (nm) : 0,7 ;
- mode de lecture : absorbance ;
- intensité de la lampe (mA) : 68 ;
- gaz : acétylène.

2.3 Dosage du nickel

L'alimentation apporte 0,3 à 0,6 mg par l'intermédiaire des légumes verts [2].

Appareillage

- Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une correction par effet Zeeman de type « A-Analyst 800-Perkin Elmer » ;
- lampe de nickel de type HCL (*Hollow Cathod Lamp*) ;
- atomisation : four en graphite de type Perkin Elmer ;
- système d'injection automatique μ .

Réactifs

- Acide nitrique à 5 % dans l'eau distillée ;
- acide nitrique à 8 % dans l'eau distillée ;
- solution stock de Nickel 1 g/L Panreac, Lot N° 51844 MBT.

Conditions analytiques

- Longueur d'onde (nm) : 232 ;
- temps de lecture (s) : 5 ;
- fente [nm] : 0,7 ;
- gaz vecteur : argon ;
- mode de lecture : absorbance ;
- intensité de la lampe (mA) : 34 ;
- programme thermique (tableau III).

2.4 Dosage du chrome

Le chrome intervient dans la régulation de la glycémie d'où l'intérêt de son dosage. La forme biologique du chrome est un complexe appelé FTG (facteur de tolérance au glucose). Le chrome occupe le centre de la molécule lié à deux molécules de niacine (vitamine PP) et trois acides aminés : acide glutamique, glycine et cystéine.

Tableau III. Dosage du nickel, programme thermique.

Température (°C)	Temps de la rampe (s)	Temps de montée (s)	Débit de gaz (mL/mn)	Type de gaz
Séchage :				
• 110	1	30	250	Normal
• 130	15	30	250	Normal
Pyrolyse 1 100	10	20	250	Normal
Atomisation 2 300	0	5	0	Normal
Nettoyage 2 450	1	3	250	Normal

Rôle physiologique du chrome

- *Cofacteur de l'insuline*

Le FTG est transporté vers les tissus cibles (foie, tissus adipeux et muscles) où il intervient dans l'utilisation des sucres en augmentant la sensibilité de l'insuline en se liant à elle pour assurer son transport jusqu'aux récepteurs cellulaires et permettre sa fixation aux membranes. L'augmentation de la sensibilité de l'insuline conduit à une baisse du risque athérogène au travers d'une baisse de l'insulinémie. On a constaté que le chrome maintient le taux de sucre équilibré non pas par production d'insuline mais par synergie avec elle. Des études ont révélé que le FTG potentialise l'effet de l'insuline et neutralise le diabète latent du rat des sables [3].

- *Régulateur de la glycémie*

Le sucre est mieux régulé ou on observe une baisse d'insuline au niveau sanguin, des cas d'hypoglycémie sont régulés par un apport de chrome sous forme de FTG. Il agirait sur le métabolisme lipidique et protidique.

Le chrome est un oligo-élément mais qui, à forte dose, peut devenir toxique. Les aliments les plus riches sont la levure de bière et le foie de veau.

Appareillage

- Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une correction par effet Zeeman de type « A-Analyst 800-Perkin Elmer » ;
- atomisation : four en graphite de type Perkin Elmer ;
- système d'injection automatique ;
- lampe de chrome de type HCL (*Hollow Cathod Lamp*).

Réactifs

- Acide nitrique à 5 % dans l'eau distillée ;
- acide nitrique à 8 % dans l'eau distillée ;
- modificateur de matrice : $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ à 0,050 mg + $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ à 0,003 mg ;
- solution stock de chrome à 1 g/L Panreac, Lot N° 312112311.

Conditions analytiques

- Longueur d'onde (nm) : 357,9 ;
- temps de lecture (s) : 5 ;
- fente (nm) : 0,7 ;
- gaz vecteur : argon ;
- mode de lecture : absorbance ;
- intensité de la lampe (mA) : 79 ;
- programme thermique (tableau IV).

Tableau IV. Dosage du chrome, programme thermique.

Température (°C)	Temps de montée (s)	Temps de maintie (s)	Débit de gaz (mL/mn)	Type de gaz
Séchage :				
• 110	1	30	250	Normal
• 130	15	30	250	Normal
Pyrolyse 1 100	10	20	250	Normal
Atomisation 2 300	0	5	0	Normal
Nettoyage 2 450	1	3	250	Normal

Tableau V. Dosage du manganèse, programme thermique.

Température (°C)	Temps de montée (s)	Temps de maintien (s)	Débit de gaz (mL/mn)	Type de gaz
Séchage :				
• 110	1	30	250	Normal
• 130	15	30	250	Normal
Pyrolyse 1 100	10	20	250	Normal
Atomisation 2 300	0	5	0	Normal
Nettoyage 2 450	1	3	250	Normal

2.5 Dosage du manganèse

L'intérêt du dosage du manganèse provient du fait qu'il intervient dans le métabolisme glucidique. Il active l'enzyme pyruvico-carboxylase responsable de la transformation du glucose en glycogène par phosphorylation et favorise la synthèse de la spermine, utile dans la régulation de la glycémie.

Appareillage

- Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une correction par effet Zeeman de type « A-Analyst 800-Perkin Elmer » ;
- lampe de manganèse de type HCL (*Hollow Cathod Lamp*) ;
- atomisation : four en graphite de type Perkin Elmer ;
- système d'injection automatique.

Réactifs

- Acide nitrique à 5 % dans l'eau distillée ;
- acide nitrique à 8 % dans l'eau distillée ;
- modificateur de matrice : $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ à 0,050 mg + $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ à 0,003 mg ;
- solution stock de manganèse à 1 g/L Merk, Lot N° 091166220.

Conditions analytiques

- Longueur d'onde (nm) : 279,5 ;
- temps de lecture (s) : 5 ;
- fente (nm) : 0,7 ;
- gaz vecteur : argon ;
- mode de lecture : absorbance ;
- intensité de la lampe (mA) : 35 ;
- programme thermique (tableau V).

Tableau VI. Dosage de l'arsenic, programme thermique.

Température (°C)	Temps de montée (s)	Temps de maintien (s)	Débit de gaz (mL/mn)	Type de gaz
Séchage :				
• 110	1	30	250	Normal
• 130	15	30	250	Normal
Pyrolyse 1 100	10	20	250	Normal
Atomisation 2 300	0	5	0	Normal
Nettoyage 2 450	1	3	250	Normal

2.6 Dosage de l'arsenic

Appareillage

- Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une correction par effet Zeeman de type « A-Analyst 800-Perkin Elmer » ;
- lampe d'arsenic de type HCL (*Hollow Cathod Lamp*) ;
- atomisation : four en graphite de type Perkin Elmer ;
- système d'injection automatique.

Réactifs

- Acide nitrique à 5 % dans l'eau distillée ;
- acide nitrique à 8 % dans l'eau distillée ;
- modificateur de matrice : $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ à 0,050 mg + $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ à 0,003 mg ;
- solution stock d'arsenic à 1 g/L Merk, Lot N° 90399321.

Conditions analytiques

- Longueur d'onde (nm) : 193,7 ;
- temps de lecture (s) : 5 ;
- mode de lecture : Absorbance ;
- intensité de la lampe (mA) : 68 ;
- programme thermique (tableau VI).

2.7 Dosage du plomb

Appareillage

- Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une correction par effet Zeeman de type « A-Analyst 800-Perkin Elmer » ;
- lampe de plomb de type EDL (*Electrodless Discharge Lamp*) ;
- atomisation de type THG (four graphite à chauffage transversal) ;
- système d'injection automatique.

Réactifs

- Acide nitrique à 5 % dans l'eau distillée ;
- acide nitrique à 8 % dans l'eau distillée ;
- modificateur de matrice : $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ à 0,050 + $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ à 0,003 mg ;

Tableau VII. Dosage du plomb, programme thermique.

Température (°C)	Temps de montée (s)	Temps de maintien (s)	Débit de gaz (mL/mn)	ype de gaz
Séchage :				
• 110	5	20	250	Normal
• 130	10	5	250	Normal
Pyrolyse 850	10	20	250	Normal
Atomisation 1 600	0	5	0	Normal
Nettoyage 2 450	1	3	250	Normal

- solution stock de plomb à 1 g/L Panréac, Lot N° 0000124408.

Conditions analytiques

- Longueur d'onde (nm) : 283,3 ;
- temps de lecture (s) : 5 ;
- mode de lecture : absorbance ;
- énergie de la lampe (mA) : 72 ;
- programme thermique (tableau VII).

2.8 Dosage du zinc

Appareillage

- Spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une correction par la lampe de deutérium de type « A-Analyst 300-Perkin Elmer » ;
- lampe de Zinc de type HCL (*Hollow Cathod Lamp*) ;
- compartiment flamme.

Réactifs

- Acide nitrique à 5 % dans l'eau distillée ;
- acide nitrique à 8 % dans l'eau distillée ;
- solution stock de zinc à 1 g/L Merk, Lot N° 08861319.

Conditions analytiques

- Longueur d'onde (nm) : 213,9 ;
- temps de lecture (s) : 5 ;
- fente : 0,7 ;
- mode de lecture : absorbance ;
- intensité de la lampe (mA) : 51 ;
- gaz : acétylène.

2.9 Dosage du fer

Le dosage concerne *Z. geslini*, récolté à Ouargla en 2004, à raison de 2 g de racine, 2 g de feuille, 2 g de tige et 2 g de fruit. Les échantillons subissent une minéralisation (méthode de Kjeldahl).

Appareillage

Spectrophotomètre Beckman, TM, DU^R 640B.

Tableau VIII. Dosage du fer, volumes recueillis en fin de minéralisation.

Blanc	21 mL
Racine	27 mL
Tige	26 mL
Feuille	30 mL
Fruit	27 mL

Réactifs

Les réactifs utilisés sont de marque Panreac :

- acide chlorhydrique pur concentré 37 %, M=36,46 ;
- solution réductrice d'hydroxylamine : chlorhydrate d'hydroxylamine (10 g) + eau distillée (100 mL) ;
- solution tampon ammoniac-acétique :
 - acétate d'ammonium dissous (250 g) + eau bidistillée (250 mL) ;
 - après dissolution ajouter : acide acétique cristallisable (700 mL) + eau distillée (1000 mL) ;
- solution d'orthophénanthroline : phénanthroline-1–10 (0,1 g) + acide chloridrique N (1 goutte) + eau bidistillée (100 mL).

Minéralisation

Le dosage concerne *Z. geslini*, récolté à Ouargla. Les prises d'essai sont de 2 g pour chacune des parties de la plante : feuille, tige et fruit.

3 Résultats

Les résultats sont exprimés en µg/g, à partir d'une dose d'essai de 2 g, pour les trois échantillons- *Z. geslini*, *Z. album* et *Z. sp.* Les valeurs les plus élevées sont en gras.

4 Discussion

Le dosage des métaux lourds dans le genre *Zygophyllum* a fait l'objet de peu de travaux. Kong *et al.* [5] ont cherché à déterminer un coefficient de corrélation entre les concentrations du plomb dans le sol et dans le *Z. xanthophyllum*. Les résultats de recherches de plomb, cadmium et mercure effectuées sur plus de 12 000 échantillons par Kabelitz et Barbin [1] ont été importés dans une base de données et évalués. Les auteurs se proposent de définir des teneurs maximales générales acceptables en métaux lourds. *Z. geslini* n'a fait l'objet d'aucune publication.

Plomb et cadmium

Les concentrations limites dans le matériel végétal brut, fournies par l'OMS sur la base d'une revue des réglementations en vigueur dans différents pays [6] sont respectivement de 10 µg/g pour le plomb et 0,3 µg/g pour le cadmium. La concentration la plus élevée en plomb, 10,98 µg/g, se trouve dans la racine de *Z. album* d'Adrar (tableau XI), celle de cadmium dans la racine de *Z. sp.* d'Oued Souf avec 2,145 µg/g

Tableau IX. Contenu en métaux lourds de *Z. geslini* provenant de la région d'Ouargla.

	Cd µg/g	Pb µg/g	Cr µg/g	Mn µg/g	Cu µg/g	Zn µg/g	Ni µg/g	As µg/g
Fruit 1	0,23	1,30	1,55	15,58	5,76	74,39	6,10	0,03
Fruit 2	0,24	1,29	1,53	14,55	5,93	79,38	2,19	0,04
Tige 1	0,18	1,10	2,46	13,64	7,10	57,33	1,43	0,07
Tige 2	0,19	1,37	4,06	13,52	6,96	44,33	11,58	0,07
Feuille 1	0,34	1,12	2,12	19,86	6,53	102,6	5,31	0,06
Feuille 2	0,32	1,27	2,30	24,89	6,26	119,10	12,03	0,07
Racine 1	0,09	1,60	3,94	4,27	6,89	22,28	2,08	0,06
Racine 2	0,09	1,17	3,83	5,99	6,95	22,28	2,28	0,04

Tableau X. Contenu en métaux lourds de *Z. sp.* provenant de la région d'Oued Souf.

	Cd µg/g	Cu µg/g	Ni µg/g	Pb µg/g
Feuille	0,058	10,60	3,35	4,13
Fruit	0,143	9,19	5,52	3,81
Tige	0,093	9,71	8,13	2,99
Racine	2,145	9,1	6,89	3,48

Tableau XI. Contenu en métaux lourds de *Z. album* provenant de la région d'Adrar.

	Cd µg/g	Cu µg/g	Ni µg/g	Pb µg/g
Feuille	0,209	7,92	8,00	8,35
Fruit	0,058	11,42	13,89	10,54
Tige	0,131	9,78	7,82	9,39
Racine	0,107	11,5	19,78	10,98

(tableau VII). Kabelitz et Barbin [1] ont dressé une liste de plantes médicinales avec des valeurs maximales en plomb et en cadmium. Les concentrations les plus élevées sont pour le plomb, 14 µg/g, dans la mousse d'Islande et pour le cadmium, 1,8 µg/g dans l'écorce de saule. Les valeurs que nous avons obtenues sont proches pour le plomb. Pour le cadmium, elles sont nettement supérieures pour la racine de *Z. sp.* Ceci pourrait s'expliquer par une contamination du sol de la région où la cueillette a été effectuée. Lefevre *et al.* [7] ont montré qu'une espèce voisine, *Z. fabago*, est susceptible de réguler les concentrations de cadmium. Cette plante envahissante est capable de proliférer sur des sols contaminés par le cadmium et de le concentrer au niveau des racines et des feuilles âgées. L'accumulation des métaux lourds par les plantes fait l'objet de recherches en vue d'être exploitée dans le développement de techniques de phytoremédiation pour décontaminer les sols des sites industriels abandonnés [8].

Fer

Sathiyamoorthy *et al.* [9] ont dosé les métaux lourds de 42 plantes médicinales du désert du Néguev. La concentration la plus élevée est celle du fer avec 3 020 µg/g dans *Gundelia tournefortii* et 2 485 µg/g dans *Anchusa strigosa*. Les taux ob-

Tableau XII. Dosage du cadmium dans les échantillons des trois régions.

	Oued souf <i>Z. sp.</i> µg/g	Adrar <i>Z. album</i> µg/g	Ouargla <i>Z. geslini</i> µg/g
Feuille	0,058	0,209	0,341
Fruit	0,143	1,018	0,239
Tige	0,093	0,131	0,192
Racine	2,145	0,107	0,089

Tableau XIII. Dosage du cuivre dans les échantillons des trois régions.

	Oued souf <i>Z. sp.</i> µg/g	Adrar <i>Z. album</i> µg/g	Ouargla <i>Z. geslini</i> µg/g
Feuille	10,60	7,92	6,39
Fruit	9,19	11,42	5,8
Tige	9,71	9,78	7,10
Racine	9,1	11,5	6,9

tenus chez *Z. geslini* sont comparativement très faibles avec un maximum de 2,4 µg/g au niveau de la feuille et 2,16 µg/g au niveau du fruit (tableau XV).

Cuivre

Dans la même étude, il est rapporté que le taux de cuivre est plus élevé chez *Nicotina glauca*, 27 µg/g, et *Anchusa strigosa*, 21 µg/g. Kong *et al.* [5] constatent que les concentrations en cuivre sont les plus variables des métaux. Le maximum est relevé chez *Potaninia mongolica* où, pris dans deux sites différents, il est compris entre 209 µg/g et 1543 µg/g. Le minimum est retrouvé chez *Salsola passerina* avec des concentrations allant de 18 µg/g à 54 µg/g selon le site. Les concentrations limite dans le matériel végétal brut, fournies par l'OMS dans [6], est de 150 µg/g. Les résultats de notre étude montrent une concentration en cuivre maximale de 11,5 µg/g au niveau de la racine de *Z. album* de la région d'Adrar et des valeurs voisines, 11,42 µg/g, pour le fruit d'Adrar, 10,60 µg/g pour la feuille d'Oued Souf (tableaux V et VI). La variabilité rapportée par Kong *et al.* [5] n'a pas été observée. Salama et Ali [10] ont mis en évidence le fait que *Z. album* concentre le cuivre dans ses parties aériennes mais nous ne l'avons pas constaté.

Tableau XIV. Dosage du nickel dans les échantillons des trois régions.

	Oued souf <i>Z. sp.</i> µg/g	Adrar <i>Z. album</i> µg/g	Ouargla <i>Z. geslini</i> µg/g
Feuille	3,35	8,00	6,39
Fruit	5,52	13,89	5,8
Tige	8,13	7,82	7,02
Racine	6,89	19,78	6,9

Tableau XV. Dosage du fer dans les différentes parties de *Z. geslini*.

	Échantillon 1 Concentration µg/g	Échantillon 2 Concentration µg/g	Concentration moyenne µg/g
Feuille	1,20	2,40	1,80
Fruit	2,16	1,89	2,02
Tige	1,04	1,43	1,24
Racine	0,27	0,13	0,20

Zinc

Sathiyamoorthy *et al.* [9] ont rapporté que le zinc était plus concentré dans *Populus euphratica*, 113 µg/g et *Achillea fragrantissima*, 85 µg/g. Les concentrations de zinc que nous avons retrouvées sont nettement supérieures avec 119,10 µg/g dans les feuilles de *Z. geslini* (tableau IX). Cette valeur est assez proche de celle rapportée par Lefevre *et al.* [7] chez une espèce voisine, *Z. fabago*, où elle est de l'ordre de 150 µg/g. Garcia *et al.* [2] ont constaté que *Z. fabago* accumule fortement le zinc.

Manganèse

Sathiyamoorthy *et al.* [9] rapportent des concentrations maximales de manganèse dans *Phagnalon rupestre* et *Anchusa strigosa* avec respectivement 109 µg/g et 99 µg/g. De fortes concentrations ont également été observées chez *Asparagus aphyllus*, 33 µg/g, *Echinops polyceras*, 25 µg/g et *Seriphidium sieberi*, 23 µg/g. Le taux maximum que nous avons mis en évidence, 24,89 µg/g, se trouve chez *Z. geslini*, au niveau des feuilles (tableau IX); il est comparable à ceux rapportés par ces auteurs [9] pour les trois plantes citées. Hashem et Alfarhan [11] rapportent que chez *Z. album*, le manganèse est concentré au niveau des tiges.

Nickel

Nos résultats montrent qu'avec 19,78 µg/g, la concentration en nickel est plus importante au niveau de la racine de *Z. album* (tableau XIV). Elle est équivalente à celles que Sathiyamoorthy *et al.* [8] ont relevées chez *Paronychia argentea*, 19 µg/g, et chez *Anchusa strigosa* avec 16 µg/g.

Arsenic

Le taux d'arsenic, déterminé chez *Z. geslini*, est plus élevé dans la tige et la feuille, 0,07 µg/g, que dans la racine et le fruit (tableau IX). La concentration limite dans le matériel végétal brut, fournie par l'OMS dans [6], est de 5 µg/g.

Chrome

Le taux de chrome obtenu au niveau de la tige est de 4,06 µg/g et 3,94 µg/g dans la racine du *Z. geslini* (tableau IX). À titre de comparaison, les valeurs rapportées par Ghanim et Naismith [12] sont de 5 µg/g pour l'orge, 0,56 µg/g pour la levure de bière et 0,21 µg/g pour le froment. La concentration limite dans le matériel végétal brut, fournie par l'OMS dans [6], est de 2 µg/g.

Hashem et Alfarhan [11] ont noté que *Z. album* accumule fortement l'aluminium, le cuivre, le manganèse et le zinc. Le taux de zinc est plus élevé dans les racines alors que l'aluminium, le cuivre et le manganèse sont plus concentrés dans les tiges.

Dans notre étude les concentrations très élevées de zinc, 119,10 µg/g, de *Z. geslini* sont localisées dans les feuilles (tableau IX); celles du cuivre de *Z. album* sont supérieures dans la racine (tableau XI) et de *Z. sp.* dans la feuille (tableau X). En accord avec les résultats obtenus par ces auteurs sur *Z. album*, le manganèse est plus concentré dans les feuilles de *Z. geslini* (tableau IX).

5 Conclusions

Le fer est faiblement représenté. Les valeurs les plus élevées sont : le plomb (ce qui peut être la conséquence d'une pollution du site de la récolte), le cadmium, le manganèse et le nickel. Le taux de chrome avoisine celui de la levure de bière qui est considérée comme une bonne source. La valeur en zinc dans *Z. geslini* est importante. Chrome et manganèse interviennent dans la régulation de la glycémie; le taux élevé de ces composés pourrait expliquer l'activité antidiabétique des *Zygophyllum* utilisés en médecine traditionnelle.

De même, les concentrations de zinc et de cuivre pourraient justifier l'usage des *Zygophyllum* pour leurs activités cicatrisante et anti-inflammatoire que préconise la médecine traditionnelle.

Enfin, la facilité que possèdent les *Zygophyllum* à se développer, à partir de graines au pouvoir germinatif élevé, pourrait ouvrir des perspectives intéressantes en vue de décontaminer les sols puisque ces espèces poussent au voisinage des sites d'exploitation pétrolière et au carrefour des voies de communication vers les oasis du sud du pays et de l'Afrique subsaharienne.

Conflits d'intérêts. Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts.

Références

1. Kabelitz L., Barbin Y. Les métaux lourds dans les plantes médicinales. STP Pharmapratiques. 1999; 9 (6): 443-453.
2. Furon D., Haguenoer JM. Toxicologie et hygiène industrielles. Les dérivés minéraux (2^e partie). Technique et documentation, 1981.

3. Koceir EA, Dahmani Y, Leverve X. Low rate of glucose 6-phosphate hydrolysis in liver cells is a physiological feature of non-diabetic wild *Psamomys obesus*. *Diabetes Metab.* 2003; 29 (4-1): 363-74.
4. US. EPA. Toxicological review of hexavalent chromium. Chromium (VI); CASRN 18540-29-9, 1998. Disponible en ligne : <http://www.epa.gov/iris>.
5. Kong L, Gao P, Ren T, Zhang H, Yang S, Zhiwu X. Characteristics of phytochemistry in Naomuhong Copper mine area at the alasan of Mongol. *J Integr Plant Biol.* 1992; 34 (10): 78-79.
6. WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. WHO, 2007.
7. Lefevre I, Correal E, Lutts S. Cadmium tolerance and accumulation in the noxious weed *Zygophyllum fabago*. *Can. J. Bot.* 2005; 83 (12): 1655-1662.
8. Garcia GS, Cervantes A, Faz A. Heavy metal polluted soil remediation of an autochtonus Mediterranean plant species: *Zygophyllum fabago*. *Fors chunszentrum Karlsruhe.* 2003; 2702-2704.
9. Sathiamoorthy P, Van Damme P, Oven M, Golan-Goldrith A. Heavy metals in medicinal and fodder plants of Negev desert. *J Environ Health A.* 1997; 32 (8): 2111-2123.
10. Salama HMH, Ali AAH. Variations in mineral ion composition of and some halophytes in the mediterranean coastal north of Egypt. *J Environ Sci.* 2003; 26 (1): 207-228.
11. Hashem AR, Alfarhan AH. Minerals content of wild plants from Ashafa, Toroba, Wahat and Wehait (Saudi Arabia). *JKS Unio Sci.* 1993; 5 (2): 101-106.
12. Ghanim SM, Naismith DJ. Role of chromium in Barley in modulating symptoms of diabetes. *Ann Nutr Met.* 1991; 35: 60-70.