

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Saad Dahleb Blida 1



Faculté des sciences
Département de physique

Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master en Physique

Option : **Physique Appliquée**

Thème :

**Evaluation des éléments en trace contenus dans les
plantes médicinales**

Présenté par :

M^{elle} HAMIDI Djamila

Soutenu le 12 / 11 / 2020 devant le jury composé de :

Djalab Abdelkader	Docteur	USDB1	Président
Benmaamar Zoubir	Professeur	USDB1	Encadreur
Fettaka Mohamed	Docteur	USDB1	Examineur

Blida 1-2019/2020-

REMERCIEMENTS

Avant tout, je dois remercier ALLAH qui m'a donné l'envie et la force et le courage pour mener à terme ce travail.

Je remercie mon encadreur Monsieur BENMAAMAR Zoubir, professeur à l'université Saad Dahlab Blida 1, et directeur de laboratoire de physique fondamentale et appliquée (FUNDAPL), pour avoir pris la direction de ce travail. , ses conseils et orientations.

Je tien à remercier les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie madame Baba Ahmed. L cheffe d'option.

Je remercie aussi tout personnel du laboratoire (FUNDAPL), spécialement madame Zahra : ingénieur du laboratoire.

Enfin je remercie toutes les personnes qui m'ont aide de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à:

Mes parents que Dieu leur offre une longue vie.

Mes très chères sœurs : Hanane, Ratiba, Hadjer.

Mon frère : Maroine.

Ma tante et toute ma famille.

Mes chères amies, avec qui j'ai passée des moments et des années
inoubliables.

Toute personne que je connais et que j'aime.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم محتوى العناصر النزرة في النباتات الطبية (أوكالبتوس والبابونج). أخذت هذه النباتات الطبية من مدينة مفتاح (ولاية البليدة). وقد تم قياس تركيزات العناصر النزرة بواسطة فلورة الأشعة السينية (XRF) (epsilon 3XL) في مختبر الفيزياء الأساسية والتطبيقية "FANDAPL".

وتظهر النتائج المتحصل عليها مستويات كبيرة من العناصر النزرة الزنك والنحاس والكوبالت والنيكل والرصاص والزرنيخ و الزئبق في النباتات الطبية التي تتجاوز التركيز المسموح به. وقد استنتجنا أن كلا النوعين من منطقة المفتاح لا يمكن أن يستخدم في الطب التقليدي.

تستخدم النباتات الطبية على نطاق واسع في الجزائر في الطب التقليدي وتباع دون رقابة مسبقة. ومن أجل تجنب أي تلوث أو ضرر على صحة الإنسان، نقترح:

- تحديد التركيزات المختلفة للعناصر النزرة في الأنواع: البابونج و الأوكالبتوس ، التي أخذت من مواقع مختلفة (نقية والملوثة) في الجزائر.

- إعداد قائمة بالمواقع التي يمكن استخدام النباتات الطبية فيها.

الكلمات المفتاحية : العناصر النزرة ، النباتات الطبية، فلورة الأشعة السينية

Résumé :

Cette étude a pour but d'évaluer la teneur des éléments en trace dans les plantes médicinales (*Eucalyptus globulus* et *Matricaire camomille*). Ces plantes ont été prélevées de la ville de Meftah (wilaya de Blida). La détermination des concentrations des éléments en trace a été réalisée par la technique de fluorescence des rayons X (XRF) (epsilon 3XL) au Laboratoire physique fondamentale et appliquée « FANDAPL ».

Nos résultats montrent des teneurs importantes des éléments traces Zinc (Zn), Cuivre (Cu), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Arsenic (As) et Mercure (Hg) dans les plantes médicinales dépassent ainsi les seuils de toxicité. On conclut que les deux espèces, issues de la région de Meftah, ne peuvent pas être utilisées en médecine traditionnelle.

Les plantes médicinales sont largement utilisées en Algérie dans la médecine traditionnelle et sont vendues sans contrôle préalable. Afin d'éviter toute contamination ou de nuisance pour la santé humaine, nous proposons en perspective:

- La détermination des différentes concentrations des éléments en traces dans les espèces : *Matricaire camomille* et *Eucalyptus globulus*, prélevés dans différents sites (sains et pollués) en Algérie,

- Etablir une liste des sites dans laquelle les plantes médicinales peuvent être utilisées.

Mots clés : Eléments en trace, plantes médicinales, fluorescence des rayons X.

Abstrat :

This study aims to assess the content of trace elements in medicinal plants (Eucalyptus globulus and Matricaire camomille). These plants were taken from the city of Meftah (state of Blida). The determination of trace element concentrations was performed by X-ray fluorescence (XRF) (epsilon 3XL) at the fundamental and Applied Physics Laboratory « FUNDAPL ».

Our results show high levels of trace elements Zinc (Zn), Copper (Cu), Cobalt (Co), Nickel (Ni), lead (Pb), Arsenic (As) and Mercury (Hg) in medicinal plants thus exceed the toxicity thresholds.

It is concluded that two species, originating from the region of Meftah, cannot be used in traditional medicine.

Medicinal plants are widely used in Algeria in traditional medicine and are sold without prior control. In order to avoid any contamination or harm health, we offer in perspective :

- The determination of the different concentrations of trace elements in the species : Matricaria camomille and Eucalyptus globulus, taken from different sites (holy and polluted) in Algeria,

- Establish a list of sites where medicinal plants can be used.

Key words : Trace elements, medicinal plants, X- ray fluorescence

Tables des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction	1
---------------------------	---

Chapitre I : Généralité sur les éléments en trace

I. Généralité sur les éléments en trace	3
I.1 Définition des éléments en trace	3
I.2.Types des éléments en trace.....	4
I.2.1. Les éléments essentiels « oligo-éléments »	4
I.2.2. Les autres contaminants	4
I.3. Origine des éléments traces	5
I.3.1.Origine naturel	5
I.3.2.Origine anthropique	6
I.4. Transfert sol-plante des éléments-traces	8
I.4.1. Répartition des éléments-traces dans le sol.....	8
I.4.2. Prélèvement des éléments en trace par les racines	8
I.4.3. Pénétration des éléments en trace dans les parties aériennes.....	10
I.4.4. Différents types de réponse des plantes aux ETM.....	11
I.5.Toxicité des éléments en trace	12
I.5.1.Effets toxiques des ETM chez les végétaux	13
I.5.2. Effet des ETM sur la santé humaine.....	14

Chapitre II : Base théorique de la technique XRF.

II. Spectrométrie de fluorescence X	16
II.1. Rayon X	16
II.1.1. Tube à rayon X	17
II.2. La fluorescence	18
II.2.1 Principe physique	18
II.3. Processus de détection	20
II.3.1 Méthode dispersive en longueur d'onde WDXRF :.....	20
II.3.2 méthode dispersive en énergie EDXRF	21
II.4. Analyse par XRF	22
II.4.1. Analyse qualitative	22
II.4.2. Analyse quantitatif	23
II.4 .2.1. Effets de matrice	24
II.4 .2.1 .1 Méthode des standards externes	25
II. 4 .2.1.2 Méthode du standard interne	25

Chapitre III : Matériel et méthode

III.1. Matériels	26
III. 1.1. Présentation du matériel	26
III.1.2. Echantillonnage	27
III.1 .3 Dispositif expérimentale.....	29
III.2. Méthode de travail	30
III.2.1. Préparation des échantillons avant analyse.....	30
III.2.2 Analyse par fluorescence X.....	32

Chapitre IV : Résultat et discussion

IV. Résultat et discussion	33
IV .1. Teneur moyenne des éléments dans la plante « <i>Eucalyptus globulus</i> ».....	33
IV.1.1.Comparaisons des oligo-éléments dans les <i>Eucalyptus globulus</i> (site 1 et 2)	34
IV.1.2.Comparaisons des éléments toxiques dans les <i>Eucalyptus Globulus</i> (site 1 et 2)....	35
IV.2.Teneur moyenne des éléments traces dans la plante « <i>Matricaire camomille</i> »	36
IV.2 .1 Comparaisons des oligo-éléments dans <i>Matricaire camomille</i> (site 1 et 2).....	37
IV.2.2.Comparaisons des éléments toxiques dans la <i>Matricaire camomille</i> (site 1 et 2)...	38
IV.3.Comparaison des teneurs des espèces étudiées par rapport les teneurs normal.....	40
Conclusion	44
Références bibliographiques	46
Annexe	53

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Sources anthropique de quelques ETM	7
Tableau I.2: Impact des ETM sur la santé humaine.....	15
Tableau IV.1: Teneurs moyennes des éléments contenus dans <i>l'eucalyptus globulus</i> (site 1 et site 2).	33
Tableau IV.2 : Teneurs moyennes des éléments traces contenus dans la Matricaire camomille (site 1 et site 2).....	37

Liste des figures :

Figure I.1: Classification des éléments du tableau périodique de Mendeleïev selon les quatre groupes proposés par Goldschmidt.....	4
Figure I.2: Origine des éléments traces dans le sol	5
Figure I.3: Proportions des différentes sources agricoles d'ETM dans les sols.....	6
Figure I.4: Répartition des différentes phases du sol à un instant t	8
Figure I.5: Phytodisponibilité des éléments en traces dans les sols	9
Figure I.6: Coupe transversal d'une feuille schématisée montrant les voies de pénétration des éléments traces	10
Figure I.7: Les différentes réponses des plantes à l'accroissement de la concentration des éléments traces dans le sol	11
Figure I.8: Cycle simplifié des éléments traces depuis les émissions jusqu'à l'exposition humains	12
Figure I.9: Courbe dose / réponse schématiques des plantes aux éléments en traces	13
Figure II.1: Schéma d'un tube à rayon X	18
Figure II.2: Principe de fluorescence X	19

Figure II.3: Schéma simplifié montrant l'origine de quelques transitions de fluorescence X.	20
Figure II.4: Spectromètre à dispersion en énergie.	21
Figure II.5: Exemple d'un spectre obtenu par la fluorescence X.....	22
Figure II.6: Intensité relative à l'émission X en fonction de l'épaisseur de l'échantillon	23
Figure III.1: Eucalyptus globulus.....	26
Figure III.2 : Matricaire camomille.....	27
Figure III.3: Carte d'échantillonnage N°1.....	28
Figure III.4 : Carte d'échantillonnage N° 2	28
Figure III.5 : Dispositif expérimentale de la (EDXRF).....	29
Figure III .6: Fleurs de Matricaire camomille sèches (à gauche) et feuilles de l'eucalyptus globulus sèches (à droite).....	30
Figure III.7 : Poudre de Matricaire camomille (à gauche) et la poudre de l'Eucalyptus (à droite).....	31
Figure III.8 : Feuille de mylar + les tubes (à gauche) porte-échantillon (à droite).....	31
Figure III.9: balance.....	32
Figure IV.1 : Histogramme illustrant la comparaison des teneurs moyennes en oligo- éléments (mg/kg) dans l'eucalyptus globulus (1 et 2).....	34
Figure IV.2 : Histogramme illustrant les teneurs moyenne en éléments toxiques (mg/kg) dans l'Eucalyptus globulus (site 1et 2).....	35
Figure IV. 3 : Histogramme illustrant la comparaison des teneurs moyenne en oligo- éléments (mg/kg) dans la <i>Matricaire camomille</i> (1 et 2).....	37
Figure IV.4 : Histogramme illustrant la comparaison des teneurs moyennes (mg/kg) dans la <i>Matricaire camomille</i> (1et 2).	39

Figure IV.5 : Histogramme illustrant la comparaison des teneurs en oligo-éléments des espèces étudiées avec les teneurs normal.....40

Figure IV.6 : Histogramme illustrant la comparaison des teneurs des éléments toxiques des espèces étudiées avec les teneurs normal.....42

Liste des abréviations :

ddp : différence de potentielle.

ED-XRF : energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry.

ET : élément trace.

ETM : élément trace métallique.

Ppm : Parties Par Million.

REE : terre rare.

U.V : ultraviolet. Visible

WD-XRF : wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry

g : gramme.

g / Kg : gramme par kilo gramme.

Kev : kilo électro- volt.

KV : kilovolt.

m A : milliampère.

mg/ Kg : milligramme par kilo gramme.

.

Introduction

Introduction

Introduction :

La pollution de l'environnement est le résultat du processus d'urbanisation, des processus démographiques et du développement des activités industrielles et agricoles au cours des trois derniers siècles. Parmi les différents types de pollution (organique et/ou minérale), le problème posé par la pollution due aux éléments traces métalliques (ETM) [1]. Ces éléments traces métalliques existent naturellement dans l'environnement mais à l'état de traces. Certains sont toxiques, même à de faibles concentrations, d'autres sont bénéfiques à des concentrations minimales nécessaires à une bonne croissance des plantes, mais deviennent potentiellement toxiques à des concentrations plus élevées [2].

Les éléments traces contaminent de plusieurs manières les aliments notamment par leurs absorptions à partir du sol (via les racines) par les plantes cultivées, ou suite de leurs présences sous forme des précipitations des poussières sur les végétaux (via les feuilles) [3]. Dans le domaine de la santé publique, les éléments traces (ET) absorbés par les plantes médicinales présente un risque toxique pour l'homme, car ces plantes sont les points d'entrée dans les chaînes alimentaires.

L'objectif de cette étude est de déterminer :

- les concentrations en éléments traces dans deux plantes médicinales (*Eucalyptus globulus* et *Matricaire camomille*) prélevées dans des zones de Meftah (wilaya de Blida) par la technique de fluorescence de rayon X. Ce choix est justifié par la présence de cimenterie et de l'autoroute Est-ouest (de la zone de Meftah) qui engendrent une pollution importante. D'autre part, d'après l'étude bibliographique, aucune étude n'a été faite sur ces deux espèces dans cette zone.

Notre étude est réalisée au sein du laboratoire de la physique fondamentale et appliquée de l'université (FUNDAPL) de Blida 1.

La présentation de ce travail s'articule autour de quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux éléments traces : définition, origines, leurs transferts vers les plantes par différentes voies, leurs effets sur les plantes et sur la santé humaine.

Le deuxième chapitre est consacré au principe de fonctionnement de la fluorescence des rayons X (XRF) comme technique utilisée dans cette étude.

Introduction

Le troisième chapitre illustre le matériel biologique, le dispositif expérimental et la méthode utilisée. Le dernier chapitre indique les résultats obtenus et leur interprétation.

Ce travail se termine par une conclusion générale synthétisant les résultats obtenus et présente les perspectives.

Chapitre I :

Généralité sur les éléments en trace

I. Généralité sur les éléments en trace :

I.1 Définition des éléments en trace :

Un élément à l'état de trace, ou élément en trace (ET) est défini comme un élément présent dans les sols et les plantes avec une petite quantité. Leur proportions sont généralement données en parties par millions (P.P.M) [4].

Les éléments trace regroupent 80 éléments chimiques, constituants de la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'entre eux et inférieure à 0.1%. Ils ne représentent à eux tous que 0.6% du totale, alors que les 12 éléments majeurs (Si, Al, Fe, Ca, Na, Mg, K, Ti, P, Mn, S et Ba) interviennent pour 99.4 % [5].

Les ET recouvre un ensemble d'éléments présent des propriétés très différents, des métaux (Cr, Cu, Zn, Pb, Cd ...) et des métalloïdes (Se, B, As, ...) d'où leur nom d'élément trace métalliques (ETM) dont la concentration est inférieure à 1 g /Kg de matière sèche dans la croûte terrestre ou inférieure à 0.1 g /Kg de matière sèche chez les organismes vivants [6].

Une autre famille d'éléments trace est celles des terres rares (REE). Elles regroupent 15 éléments de la série des lanthanides (La à Lu). Leur numéro atomique oscille entre 51 et 71[7].

Les ET peuvent également être subdivisés sur la base de la composition élémentaire des phases minéralogiques. Trois des quatre groupes déterminés par **Goldschmidt** comportent les éléments traces :

- Le groupe de *chalcophiles* qui comprend les éléments présentant une affinité dominante pour le soufre (Cd, Cu, Pb, Zn,...).
- Le groupe des *sidérophiles* qui comprend les éléments présentant une affinité dominante pour le fer (Mo, Ni,...).
- Le groupe des *lithophiles* qui concerne les éléments présentant une affinité dominante pour l'oxygène et se retrouvant par conséquent avec l'aluminium et les silicates (Mn, Ca, ...) [8].

Goldschmidt's Classification

GROUP	IA	Goldschmidt's Classification																VIIIA						
1	H																	He						
2	Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B	IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar								
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
7	Fr	Ra	Ac																					

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Nu	Pu									

	<i>Lithophile</i>		<i>Siderophile</i>		<i>Chalcophile</i>		<i>Atmophile</i>
--	-------------------	--	--------------------	--	--------------------	--	------------------

Figure I.1: Classification des éléments du tableau périodique de Mendeleïev selon les quatre groupes proposés par Goldschmidt [8].

I. 2. Types des éléments en trace :

Les éléments en trace peuvent être classés en deux types en fonction de leur effet physiologique et toxique : les éléments essentiels « oligo-éléments » et les contaminants.

I. 2.1. Les éléments essentiels « oligo-éléments » :

Ce sont des éléments indispensables pour le processus cellulaire et à l'équilibre physiologique de l'organisme vivant et sont ainsi appelés les oligo-éléments. Ces oligo-éléments ne sont pas les mêmes pour les animaux et les plantes. Ils se trouvent en proportion très faible Pour les plantes (B, Co, Fe, Cu, Mn, Mo, Ni, Zn) [6]. Cependant ces éléments essentiels peuvent devenir toxiques lorsque leur concentration dépasse un certain seuil [9].

I.2.2. Les autres contaminants :

Ces éléments ont un caractère polluant avec des effets toxiques (même en faible quantités) pour les organismes vivants, pour les plantes, pour les animaux et pour les

humains. Les ET les plus connus pour leur toxicité sont le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le chrome (Cr) et l'arsenic (As) [10].

I.3. Origine des éléments traces :

Les éléments trace présents dans le sol ont deux origines : origine naturel et origine anthropique.

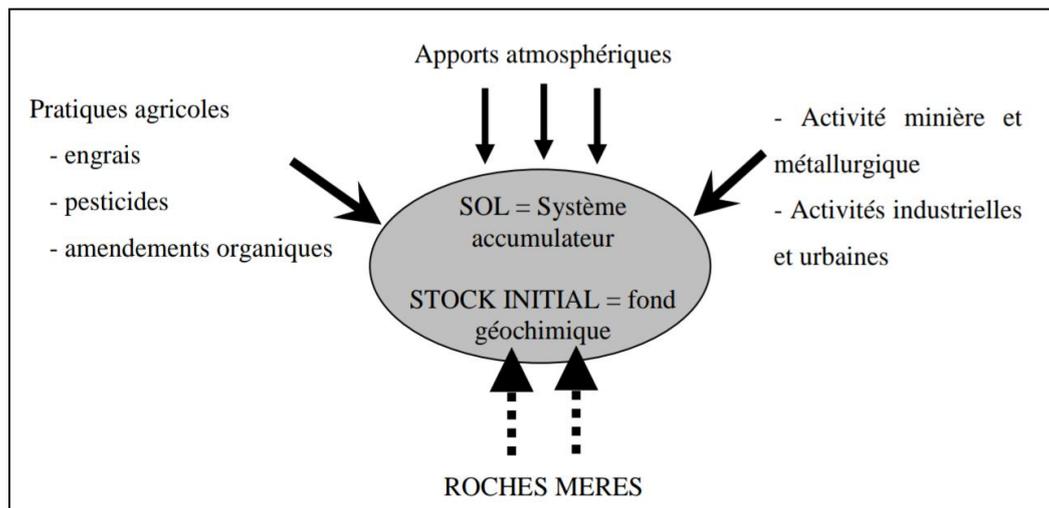


Figure I. 1: Origine des éléments traces dans le sol [6].

I. 3.1. Origine naturel :

Fonds géochimique : A l'état naturel le sol contient des micro-éléments métalliques qui ont pour origine la roche-mère sur laquelle le sol s'est formé [11]. Chaque type des roche (magmatique, sédimentaire, métamorphique) contient naturellement des teneurs différents en éléments trace (éléments trace métalliques et terres rares) [12]. A savoir que les sols formés sur des sédiments calcaires ou marneux ,ou des schistes sont plus riches en ETM (0.5 à 1mg/kg de matière sèche de Cd et de 25 à 50 mg /kg de matière sèche de Cu), alors que ceux qui se sont formés sur des sables quartzeux renferment des quantités extrêmes faibles (moins de 0.05 mg/kg de matière sèche de Cd , moins de 5 mg/kg de matière sèche de Cu) [13]. La présence et la distribution de ces ETM dans le sol résulte des phénomènes d'altération biogéochimique de la roche-mère et de processus pédologiques comme la formation des horizons, c'est ce qu'on appelle le fond pédo-géochimique [14].

Des retombée atmosphériques de microparticules ont pour origine des accidents naturels comme le vent de sable, les éruptions volcaniques, les feux de forêt, les tempêtes en milieu désertique ont une influence notable sur la richesse des sols en éléments traces [11].

I.3.2. Origine anthropique :

Les apports anthropiques peuvent être de natures différentes : les activités liées aux pratiques agricoles, les activités industrielles ou urbaines liées au développement des villes et des réseaux routiers [1].

✓ Sources agricoles :

Les pratiques agricoles sont l'origine de l'introduction des éléments trace dans les sols agricoles et l'augmentation de ces ET suite à l'utilisation massive des matières fertilisantes qui donne une richesse aux sols en ces derniers [15]. Les matières fertilisantes représentent la partie majeure des intrants employés en agriculture qui permettent d'accroître la fertilité du sol et comprenant :

- Certaines des produits qui résultent de l'association des produits entrant dans les catégories précédentes [6].

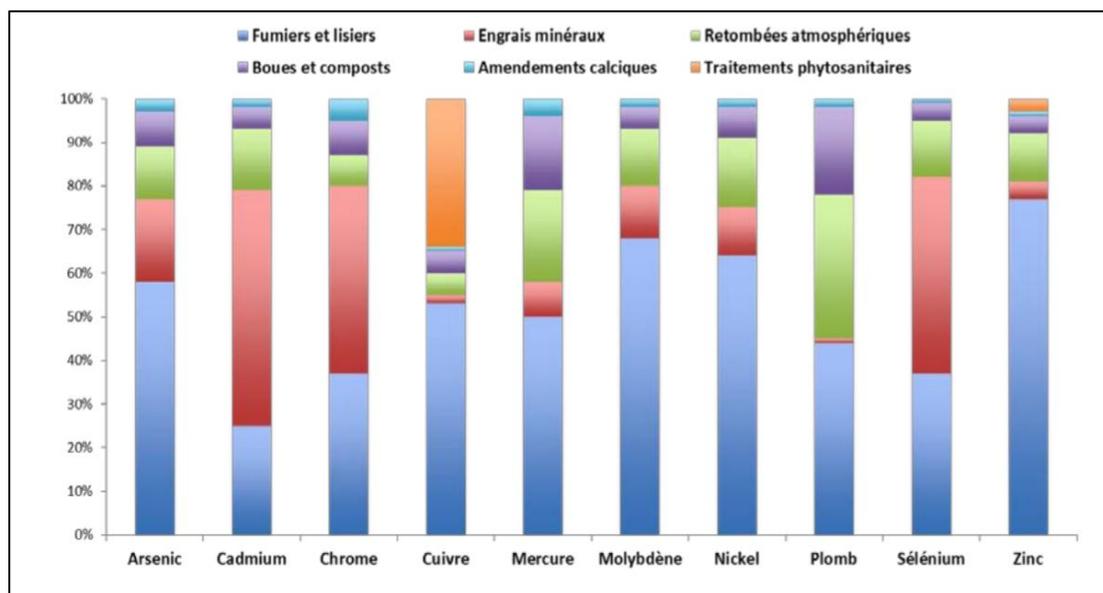


Figure I.3: Proportions des différentes sources agricoles d'ETM dans les sols [16].

✓ Sources d'origines industrielles :

Les activités industrielles et urbaines comptent parmi les sources principales des éléments en trace métalliques. Ces activités comprenant la combustion du charbon, la production de métaux non-ferreux, l'utilisation de carburants plombés, l'incinération d'ordures ménagères, des industries pétrochimiques et les traitements d'élimination des déchets

Ces activités produisent des rejets sous formes de poussières ou d'aérosols, transportées à très longue distance et haute altitude par les courants atmosphériques avant le rejoindre le sol [17].

L'urbanisation et les stockages des déchets urbains bruts, l'augmentation de la combustion de sources d'énergies fossiles (charbon, circulation automobile,...), ont conduit à une augmentation de la pollution des sols par les ETM [16].

Tableau I.1 Sources anthropique de quelques ETM [7].

ETM	Sources anthropiques
Cd	Huiles lubrifiantes, huiles diesel, pneus, engrais phosphatés, boues d'épuration, insecticides, galvanoplastie, pigments, batteries, combustion du charbon et de l'huile, production de métaux non ferreux, incinération des déchets, fabrication du fer et de l'acier
Cu	Métallisation, usure des roulements et des brossages, pièces de moteur en mouvement, usure des garnitures de freins, fongicides et insecticides, antialissure, corrosion de la plomberie en Cu, algicides, béton et asphalte, caoutchouc, engrais phosphatés, boues d'épuration
Ni	Carburant diesel et échappement de véhicule, huile de lubrification, placage de métal, usure de brossage, usure des garnitures de frein, revêtement en asphalte, engrais phosphatés, batteries de stockage
Pb	Essence au plomb, échappement automobile, usure des pneus, huiles et graisses lubrifiantes, usure des roulements, garnitures de freins, caoutchouc, béton, fabrication de peinture, fabrication de piles, insecticides, engrais phosphatés, boues d'épuration
Zn	Vulcanisation du caoutchouc et de l'usure des pneus, huile de moteur, graisse, batteries, galvanisation, placage, conduits de climatisation, pesticides, engrais phosphatés, boues d'épuration, fluide de transmission, revêtement, freins, asphalte, béton, combustion du charbon, fonte, incinération et combustion du bois
As	Energie, déchets, industrie (verre et métaux), transport, agriculture
Cr	Sidérurgie, industrie (verre, ciment et papier), transport, agriculture, énergie, déchets
Co	Energie (charbon), métallurgie, transport, déchets (batteries)

I.4. Transfert sol-plante des éléments-traces :

I.4.1. Répartition des éléments-traces dans le sol

Dans les sols, les ET peuvent se trouver sous différentes formes: associées à la phase solide ou solubles. Les formes associées à la phase solide (incluses dans les réseaux cristallins des minéraux, adsorbés sur les argiles) sont en quantité majoritaire. Les formes solubles (cations ou anions libres, complexes minéraux neutres) bien que minoritaires revêtent une importance particulière, puisqu'elles sont davantage biodisponibles [18].

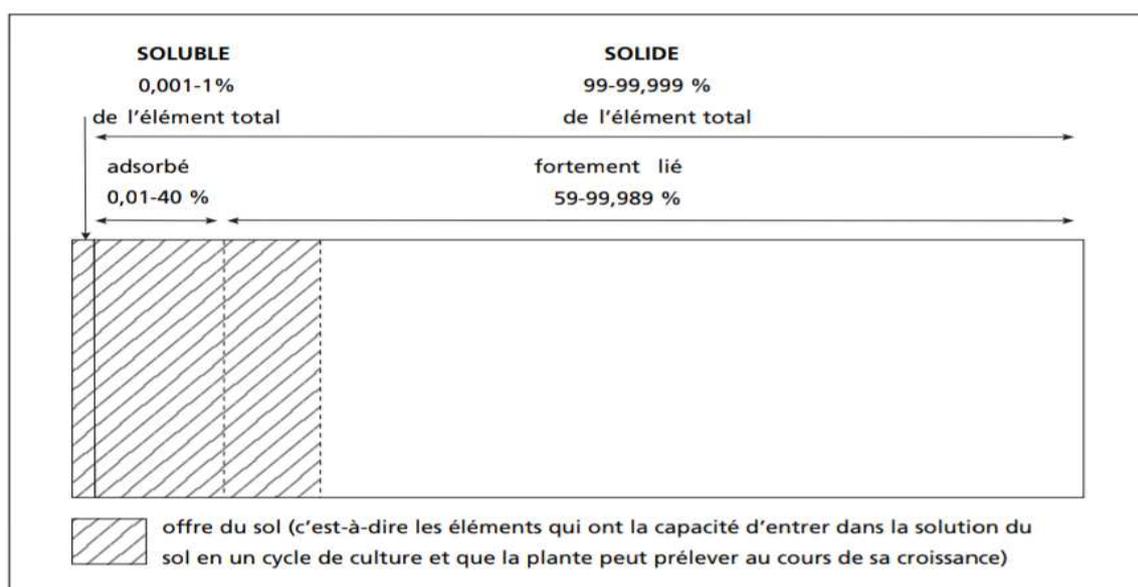


Figure I.4: Répartition des différentes phases du sol à un instant t [19].

Parmi les espèces chimiques, la forme ionique libre du métal est la plus facilement assimilable par les organismes mais ils ne sont pas disponibles pour les plantes avec la même intensité [20].

Les plantes sont exposées de deux façons aux éléments traces : par les parties aériennes et par les racines.

I.4.2. Prélèvement des éléments en trace par les racines :

La phytodisponibilité d'un élément trace peut être définie comme la quantité d'un élément donné qui peut être transférée dans la plante durant son développement. Elle est donc la résultante d'un ensemble de processus successifs

qui contribuent au transfert de l'élément de la phase solide du sol à la solution de sol puis aux tissus de la plante[19].

Le transfert ou l'absorption racinaire varie donc en fonction de l'élément (sa concentration dans la solution du sol, sous forme libre ou complexée), des conditions physico-chimiques du sol et de l'espèce végétale, ainsi que de l'ensemble des paramètres, climatiques, anthropiques, qui agissent sur les différentes composantes du système [21].

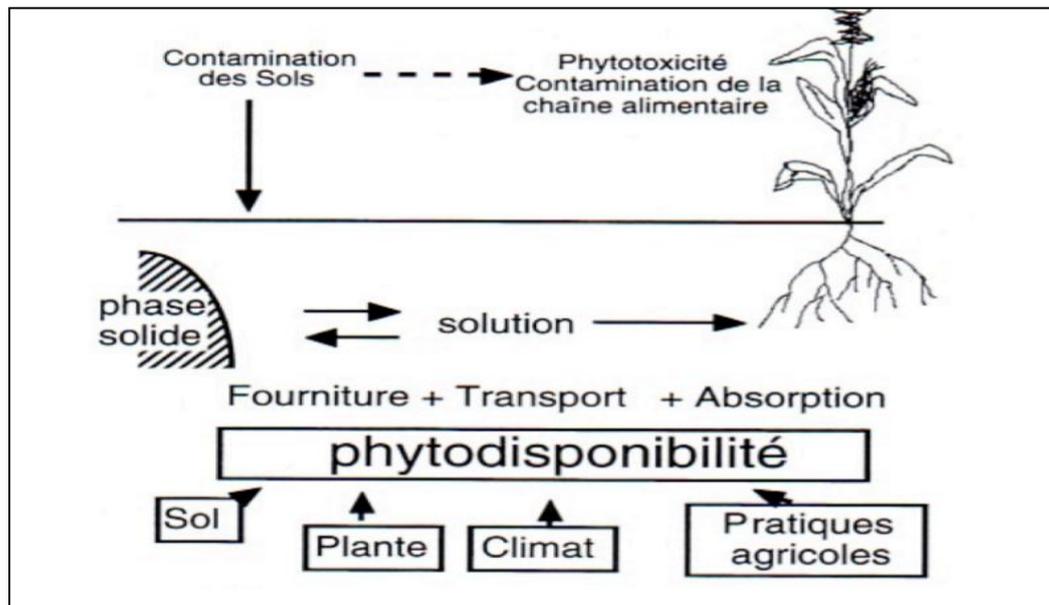


Figure I.5: Phytodisponibilité des éléments en trace dans les sols [6].

Les racines sont en étroit contact avec le sol et sa solution. L'absorption racinaire se fait au niveau des poils absorbants situés à l'extrémité racinaire. Le processus d'absorption racinaire des éléments dissous dans la solution du sol se fait en deux phases :

- Une phase passive suivant le degré de concentration : les éléments minéraux migrent de la solution du sol à forte concentration vers les poils absorbants à faible concentration.
- Une phase active : au sein de la racine, les éléments minéraux migrent grâce à une dépense d'énergie, des poils absorbants vers les vaisseaux conducteurs au centre de la racine.

Les ions, une fois absorbés au niveau racinaire, commencent leur ascension au sein de la plante [22].

Lorsque les ions métalliques ont été distribués dans toute la plante, ceux qui sont essentiels mais en excès, ainsi que ceux qui ne sont pas essentiels sont pris en charge par diverses molécules pour être stockés sous des formes non toxiques [23].

I.4.3 Pénétration des éléments en trace dans les parties aériennes :

La contamination par voie aérienne est généralement faible, sauf lorsque les retombées atmosphériques sont importantes: dans certains lieux comme les zones industrielles ou pour certains éléments comme le Pb, à cause des résidus de combustion de l'essence plombée.

Les éléments traces entrent dans la composition des matériaux et organo-minéraux qui composent les fines poussières présentes dans l'air, lesquelles se déposent à la surface des feuilles et les racines ou pénétrer dans la plante [19]. Les éléments traces essentiels, ainsi que les non-essentiels, peuvent être prélevés par les feuilles. Sous forme poussiéreuse ou gazeuse (Se, As, Hg), ils entrent directement dans les feuilles à travers les stomates [24]. Une partie des retombées atmosphériques, solubilisée par l'eau de pluie ou d'irrigation, peut traverser la cuticule des feuilles et des fruits, sous formes d'ions [19]. La perméabilité de la cuticule qui fonctionne comme un faible échange d'ions dépend de la taille du cation. Ainsi, la majeure partie du Pb reste fixée au niveau de la cuticule tandis que Cd, Zn et Cu pénètrent plus facilement dans la feuille [24].

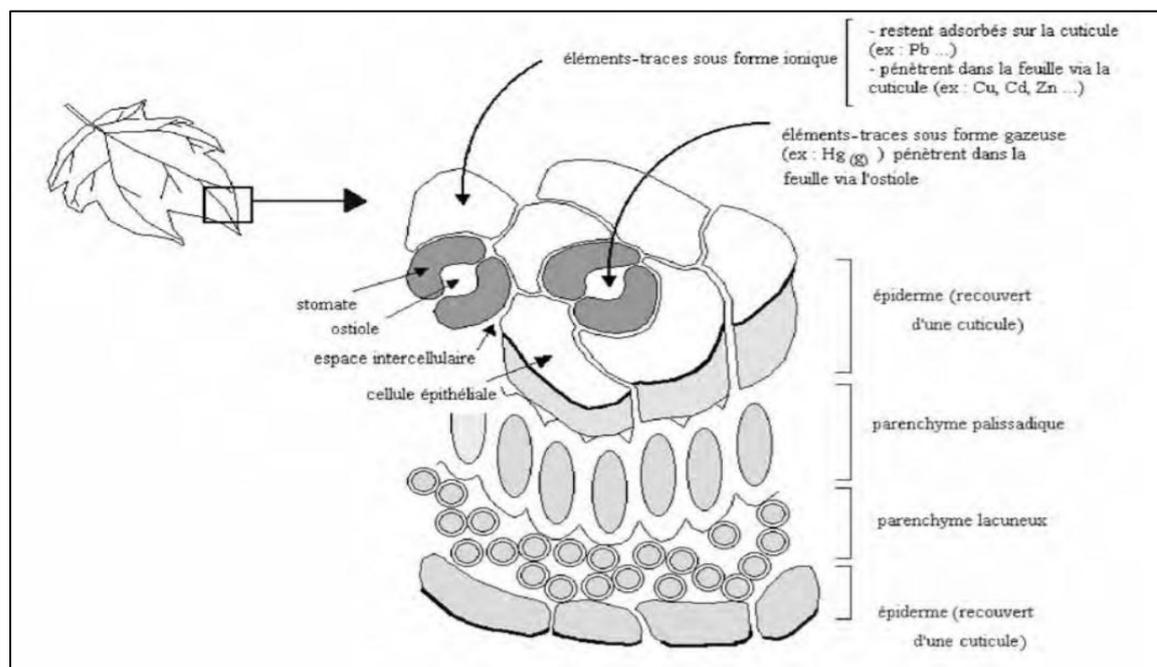


Figure I .6: Coupe transversal d'une feuille schématisée montrant les voies de pénétration des éléments traces [19].

I. 4.4. Différents types de réponse des plantes aux ETM:

Les plantes peuvent répondre de manière différente à l'augmentation de la concentration des ET dans le sol, en fonction des facteurs de transfert sol-plante des éléments en trace (teneur dans les tissus /teneur dans le sol). Les quatre principales catégories principales des plantes sont les indicatrices, les exclusives, les accumulatrices et regroupant les espèces qui peuvent présenter les teneurs d'éléments en trace supérieures à 1% et les hyperaccumulatrices (Figure I.1) [6].

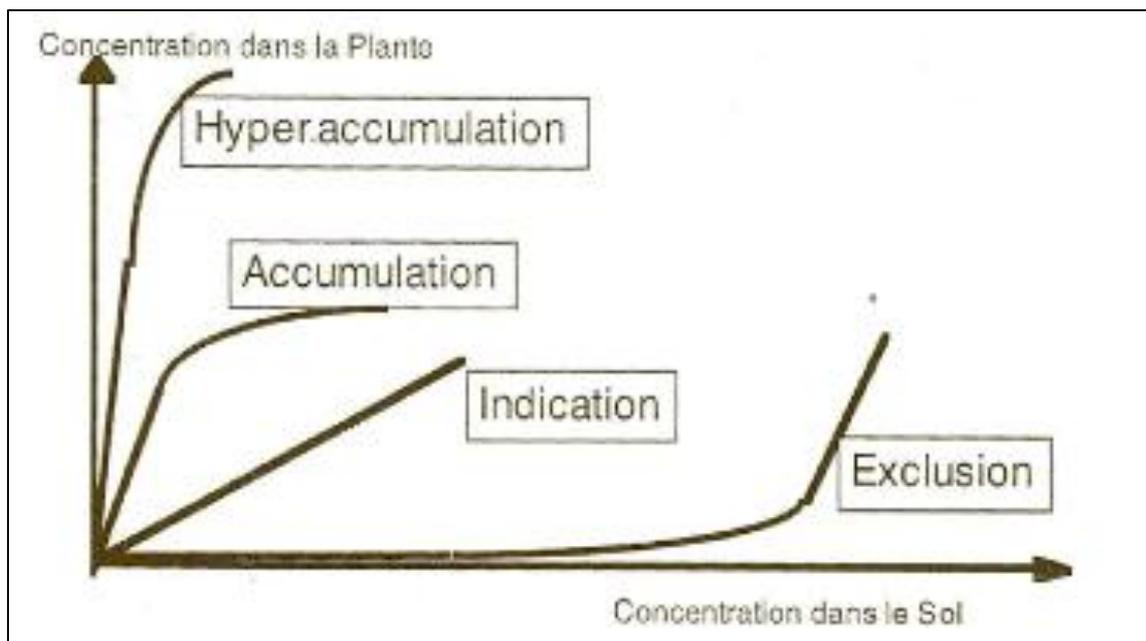


Figure I.7: Les différentes réponses des plantes à l'accroissement de la concentration des éléments traces dans le sol [6].

Les plantes hyperaccumultrices : sont des plantes très rare capable d'accumuler les ETM dans les parties aériennes avec des quantités supérieures par rapport à des plantes non accumultrices. Généralement ils désignent des plantes capables d'atteindre, dans leurs parties aériennes des teneurs d'ETM dépassent 0.1% de la masse de matière sèche.

Les plantes accumultrices : sont des plantes qui ont la capacité d'accumuler les ETM même non essentiels dans leurs parties aériennes. Parmi ces plantes, certaines le sont pour un élément spécifique, et d'autre ont tendance à accumuler plusieurs éléments.

Les plantes indicatrices : accumulent les ETM dans leurs parties aériennes à des concentrations reflétant le niveau de concentration du sol et qui augmentent de façon linéaire avec elle.

Les plantes exclusives : prélèvent des quantités très faibles des ETM même quand ils sont présents avec des concentrations élevées dans le sol [24-19].

Chaque espèce végétale a son propre comportement vis-à-vis des phénomènes d'absorption des ET puis de transfert et stockage vers tel ou tel organe. Donc il n'y a pas de relation directe entre la teneur totale d'un ETM dans le sol et la quantité absorbée par une plante [25].

I.5.Toxicité des éléments en trace :

Les éléments en traces font partie des contaminants les plus persistants dans l'environnement, parce que ces ET ne peuvent pas être dégradés biologiquement et chimiquement, alors ils s'accumulent dans la chaîne alimentaire. Ce qui provoque des perturbations éventuelles et des risques pour la santé humaine [26]. La chaîne alimentaires est contaminée par différentes voies : via le transfert sol-plante, puis la consommation par l'homme (ou directement par l'homme). Il peut aussi y avoir la contamination directe des plantes par dépôt sur la parties aériennes et la contamination des eaux [27].

La **Figure I.8** explique de façon simplifiée le cycle des éléments traces depuis leur émissions jusqu'à l'exposition humaine.

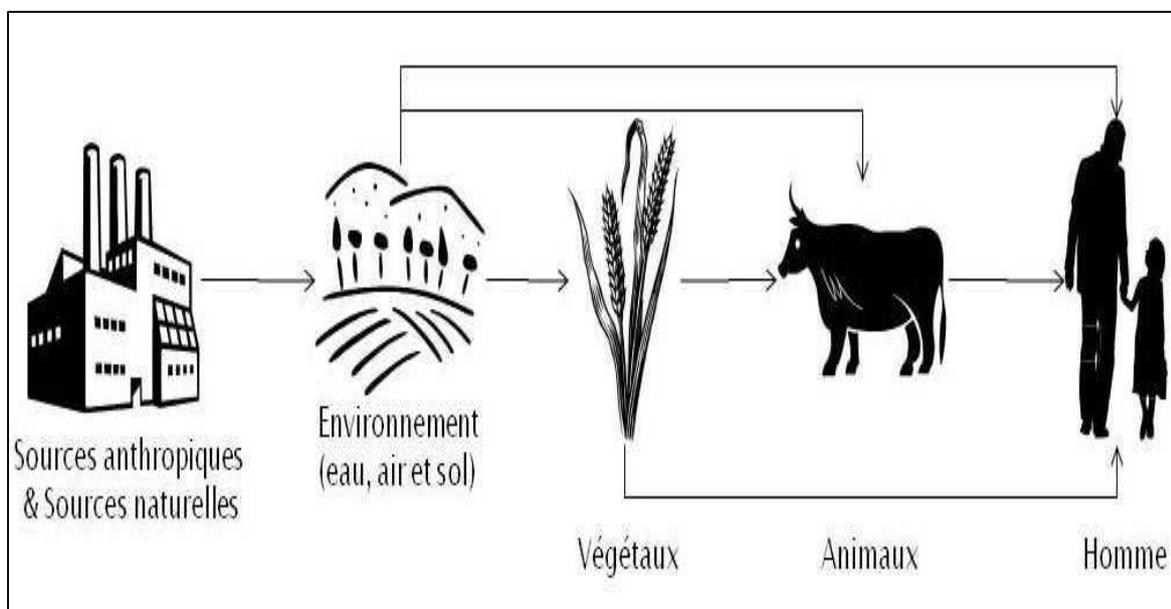


Figure I.8: Cycle simplifié des éléments traces depuis les émissions jusqu'à l'exposition humains [28].

I.5.1. Effets toxiques des ETM chez les végétaux :

Lorsque les végétaux sont cultivés sur un sol pollué par les ET, ces derniers sont absorbés et concentrés dans les racines. La sève va les distribuer dans tous les autres organes de la plante [29].

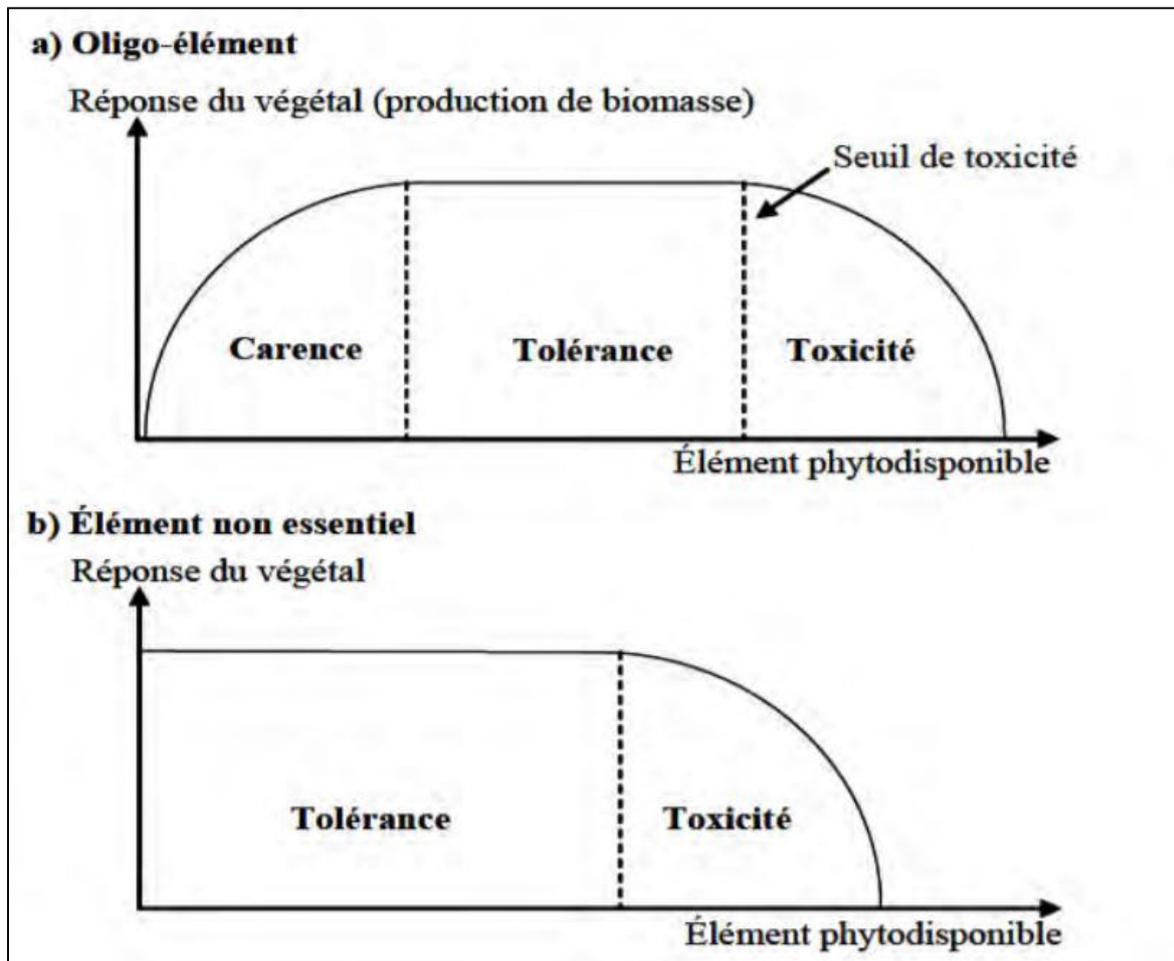


Figure I.9: Courbe dose / réponse schématiques des plantes aux éléments traces [6].

Si l'élément est essentiel, la réponse de la plante suivra une courbe « en cloche » qui identifie les trois phases observées. Ces trois phases sont la carence, la tolérance puis la toxicité (courbe a).

Si l'élément n'a aucune fonction physiologique établie, seuls la tolérance et la toxicité sont observées (figure (b)). La présence dans les tissus d'éléments non essentiels (Cd, Cr,...) et donc tolérée tant que le seuil de toxicité n'est pas atteint [6]. Les symptômes de phytotoxicité les plus souvent observés sont l'inhibition de la photosynthèse, une diminution de la fonction de reproduction, des baisses de croissance de la plante et une diminution des rendements des cultures, une chlorose des feuilles.

L'effet toxique de ces éléments varie avant tout selon le type de métal présent, sa concentration dans la plante, le temps d'exposition et selon l'espèce végétale affectée [30].

I.5.2. Effet des ETM sur la santé humaine :

Les êtres humains peuvent être exposés aux ETM par inhalation d'air pollué où les particules les plus fines chargées en ET qui pouvant pénétrer plus profondément dans les voies respiratoires. Par ingestion de produits liquides ou solides contaminés par les ET qui vont s'accumuler dans le corps humain et parfois la pénétration par voie cutanée avec des sols riches en polluant. Ce contact cutané est également considérée comme minime [31-32].

Les maladies dues à l'absorption (l'accumulation) des métaux dans l'organisme humain sont nombreuses, Ces maladies dues à la consommation des aliments pollués. Une fois que la partie de polluant se retrouve absorbée dans l'organisme, les molécules de polluants se fixent de préférence sur certains organes cibles reins foie etc. Différents symptômes, dysfonctionnements, anomalies ou maladies, sont alors observés [33].

Tableau I.2: Impact des ETM sur la santé humaine [31].

Elément	Toxicité Forme la plus toxique	Effets	
		Chronique Exposition peu intense de longue durée	Aigus exposition intense de courte durée
As	Formes inorganiques	Cancérogène, lésions (moelle osseuse, sang, foie, système nerveux)	Irritation des muqueuses, troubles digestifs et circulatoires, lésions de la peau
Cd	Forme inorganiques (chlorure et oxyde de cadmium)	Potentiellement cancérogène, ostéoporose, lésions du rein	Troubles digestifs, pulmonaires et rénaux
Cr	Formes inorganiques (Cr VI, trioxyde de Cr)	Effets cancérogènes (poumon), lésions du rein, troubles respiratoires et gastro-intestinaux	Irritation des muqueuses respiratoires
Cu	Toxicité rare sauf si l'exposition exceptionnelle	/	Lésions des muqueuses respiratoires
Hg	Méthylmercure	Trouble neurologiques et du comportement, tremblements	Troubles neurologiques et digestifs, irritations des voies respiratoires, lésions du rein
Ni	Toxicité assez rare forme organique (nickel tétracarbonyle)	Cancérogène, asthme, rhinites chroniques	Troubles respiratoire, digestifs et cutanés
Pb	Formes organiques	Potentiellement cancérogène, plombémie, convulsions, troubles et du comportement	Troubles neurologiques (enfants plus sensibles), digestifs et rénaux
Zn	Toxicité rare sauf si exposition exceptionnelle (sels solubles, chlorure, phosphure et sulfate de zinc)	/	irritation des muqueuses respiratoires, gastro- intestinales et cutanées, fatigue, frissons

Chapitre II :
Base théorique de la
technique XRF.

II. Spectrométrie de fluorescence X :

La spectrométrie de fluorescence X (SFX, en anglais XRF pour X-ray fluorescence) est une technique d'analyse chimique élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon.

Elle permet l'analyse de tous les éléments chimiques du Béryllium (Be) à l'Uranium (U) dans des gammes de concentration allant de quelques **ppm** à 100 % [34].

Avantages de cette méthode:

- Analyse tous les éléments, sauf les éléments très légers.
- La méthode est non-destructive, on peut répéter une analyse plusieurs fois sur le même échantillon [35].
- Les matériaux peuvent être sous forme solide, liquide et en poudre.
- Ne nécessite qu'un minimum de préparation des échantillons.
- Les applications sont très larges et incluent les industries du métal, du ciment, du pétrole, des polymères, du plastique et de l'alimentation, ainsi que les industries minière, minéralogique et géologique, et l'analyse environnementale de l'eau et des déchets [36].

II.1. Rayon X :

Les rayons X font partie du spectre de rayonnements électromagnétiques. Il se déplace dans le vide à la vitesse de la lumière C . La dualité particule-onde de ces rayonnements s'exprime par une relation entre l'énergie E d'un photon et la longueur d'onde λ :

$$E = h \nu = \frac{hc}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{hc}{E} \quad \text{II.1}$$

En exprimant la constante de PLANCK h et la vitesse de la lumière C par leur valeur, on obtient la relation numérique très utile suivante : [37].

$$\lambda \text{ (nm)} = \frac{1240}{E \text{ (eV)}} \quad \text{II.2}$$

Donc le domaine de longueur d'onde des rayons X va de 0.1 \AA (limite des rayons γ) à 100 \AA (limite de l'U.V. lointain). En termes d'énergie ceci à la gamme de 0.1-100 Kev [38].

Il existe des sources naturelles de rayons X (interaction de rayonnements de radioactivité). Les sources artificielles créées par l'homme sont basées principalement sur l'interaction des électrons avec la matière (tubes à rayons X) [37].

II.1.1. Tube à rayon X :

En spectrométrie de fluorescence X, les sources des rayonnements utilisées sont les tubes à rayons ou les sources radioactives [39].

La source usuelle des rayons X est le tube Coolidge (le nom de son inventeur). C'est un tube à vide comportant deux électrodes :

- Une cathode émettrice d'électrons.
- Une anode, qui est une masse métallique portée à un potentiel positif de l'ordre de 10 à 30 Kilovolts dans les tubes ordinaires.

IL comporte une fenêtre de Béryllium qui n'absorbe pas trop les rayons X émis [40].

Un faisceau d'électrons, accéléré par une ddp pouvant atteindre 100 kV, frappe une cible servant d'anode (anticathode) constituée d'un métal de numéro atomique compris entre 25 et 75. Celle-ci devient la source de rayons X primaires

Le bombardement électrique produisent un échauffement moins de 2% de l'énergie est transformée en émission X, le tube est refroidi par une circulation d'eau [41].

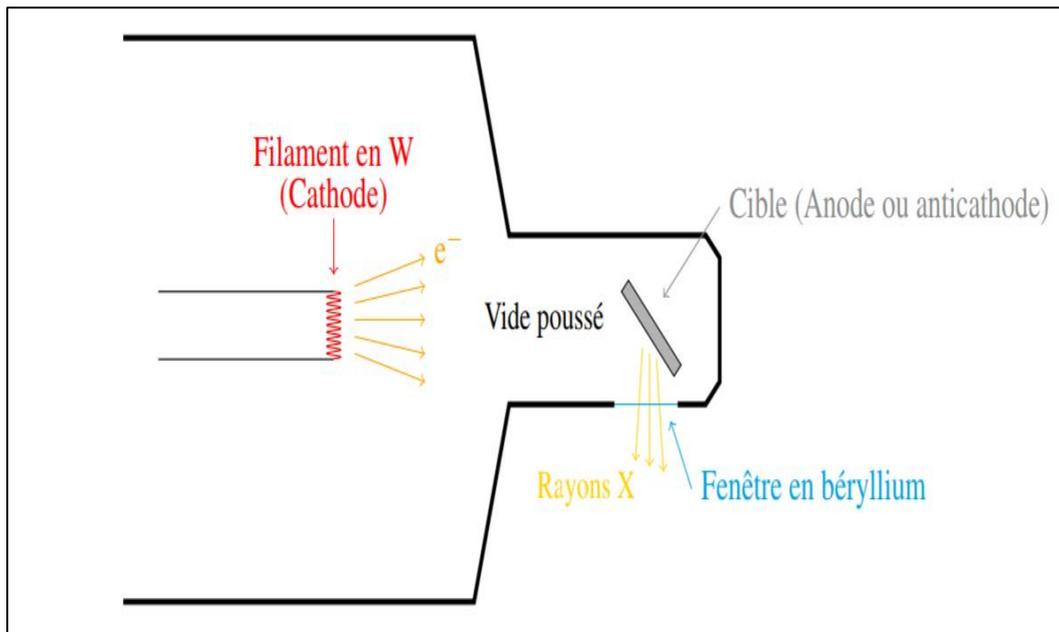


Figure II.1: Schéma d'un tube à rayon X [42].

II.2. La fluorescence :

La fluorescence X est une propriété spectrale des atomes exploitée couramment en analyse pour obtenir des renseignements qualitatifs et quantitatifs sur la composition élémentaire de toutes sortes d'échantillon [39].

La fluorescence X, basée sur une excitation la matière par un rayonnement électromagnétique et réémet une onde électromagnétique caractéristique à l'aide d'un tube à rayon X.

L'analyse de « rayonnement secondaire caractéristique » nous renseigne sur la composition chimique de la cible. En effet, l'énergie des rayonnements caractéristiques renseigne sur la nature des éléments contenus dans l'échantillon et l'intensité est reliée à la concentration massique de l'élément concerné [43].

II.2.1 Principe physique :

Lorsqu'un photon d'énergie suffisante frappe un atome, il y a une certaine probabilité qu'il arrache un de ses électrons des couches internes l'atome alors ionisé (se trouvant dans un état très instable). Elle va retrouver sa stabilité par « réorganisation interne » : un électron d'une couche plus externe va venir combler la lacune laissés par l'électron qui a été éjecté . Cette transition électronique s'accompagne d'une libération d'énergie sous forme

de rayonnement électromagnétique (photon X) d'énergie caractéristique de l'atome. C'est le phénomène de fluorescence X [40].

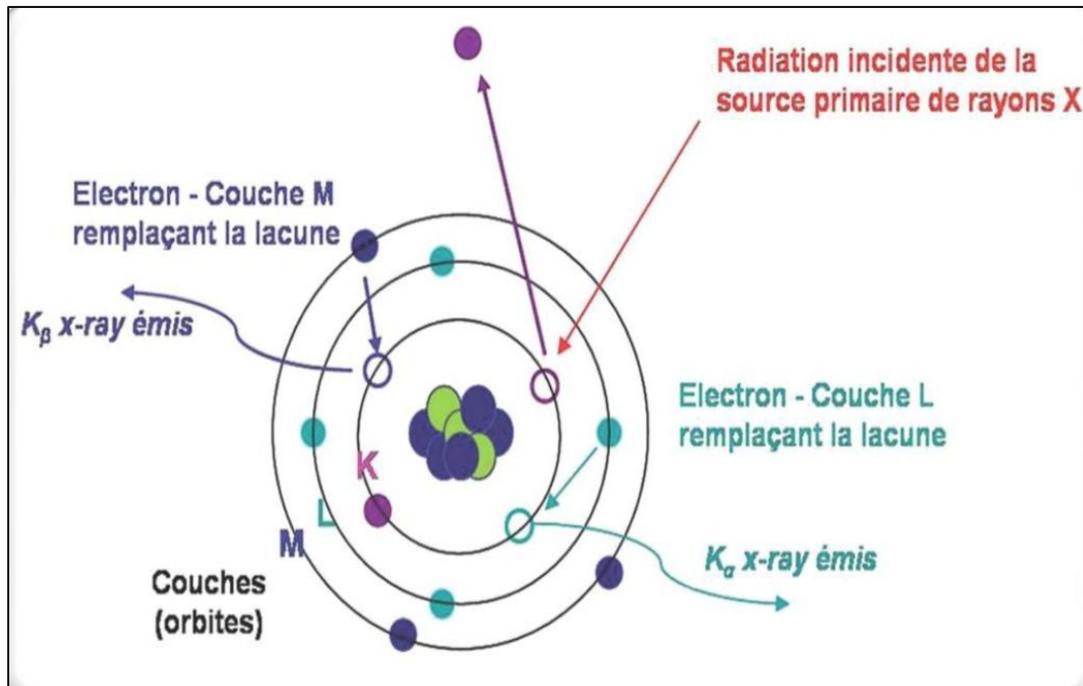


Figure II.2: Principe de fluorescence X [36].

Les rayons X de fluorescence ont une énergie E_f qui correspond à la différence d'énergie entre la couche électronique initialement ionisée et la couche électronique d'où provient l'électron venant combler cette lacune. Les couches internes ayant une énergie d'autant plus faible que le noyau est chargé, la différence d'énergie E_f est caractéristique de l'élément ionisé [44].

Suivant la notation de SIEGBAHN la transition $L \rightarrow K$ appelée $K\alpha$, la transition $M \rightarrow K$ est appelée $K\beta$, la transition $M \rightarrow L$ est appelée $L\alpha$ et ainsi de suite. Chaque transition correspond d'une raie caractéristique [37].

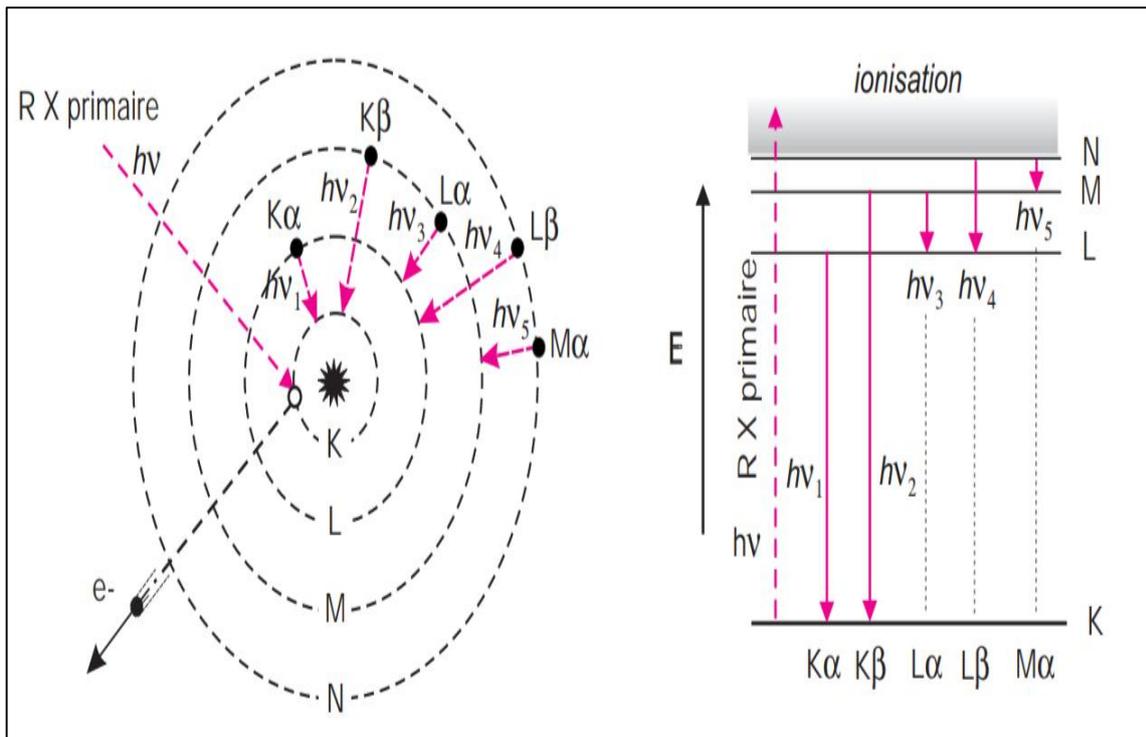


Figure II.3: Schéma simplifié montrant l'origine de quelques transitions de fluorescence X [39].

II.3. Processus de détection :

Pour l'analyse du rayonnement de fluorescence X émis par l'échantillon, il existe deux types d'appareillage :

- ✓ par analyse dispersive en longueur d'onde (WD-XRF, wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry).
- ✓ par analyse dispersive en énergie (ED-XRF, energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry).

II.3.1 Méthode dispersive en longueur d'onde WDXRF :

Un spectromètre de rayons X à dispersion de longueur d'onde est actuellement constitué d'un cristal monochromateur, d'un détecteur à gaz et d'une chaîne analogique . [37]. La WDXRF utilise la propriété diffractante d'un seul cristal pour séparer ou disperser la raie poly-chromatique de radiation. Son principe repose sur la réflexion sélective des rayons X par un cristal, avec utilisation de la loi de Bragg :

$$n \lambda = 2 d \sin \theta$$

II.3

Avec λ : longueur d'onde du rayonnement incident.

θ : angle d'incidence du rayonnement.

n : nombre entier positif, ordre de la réflexion.

d : distance réticulaire du cristal analyseur [40]. L'analyse des longueurs d'onde émis par l'échantillon permet de déduire les éléments présents à partir des raies caractéristiques observées [45].

II.3.2 méthode dispersive en énergie ED-XRF :

La spectrométrie EDXRF utilise la sensibilité de détecteur à l'énergie des photons X émis par les atomes qui constituent l'échantillon à analyser .

Il s'agit de détecteur de type semi-conducteur connecté à un amplificateur. Les photons X qui pénètrent dans le détecteur vont provoquer des ionisations dans semi-conducteur, les paires électrons/trous vont migrer sous l'effet du champ électrique de polarisation et provoquer des impulsions de courant dont la hauteur est proportionnelle à l'énergie du photon. Le détecteur convertit les photons X en charge électrique et l'amplificateur transforme le signal en impulsion électrique. Le signal détecté est proportionnel à l'énergie du photon [46].

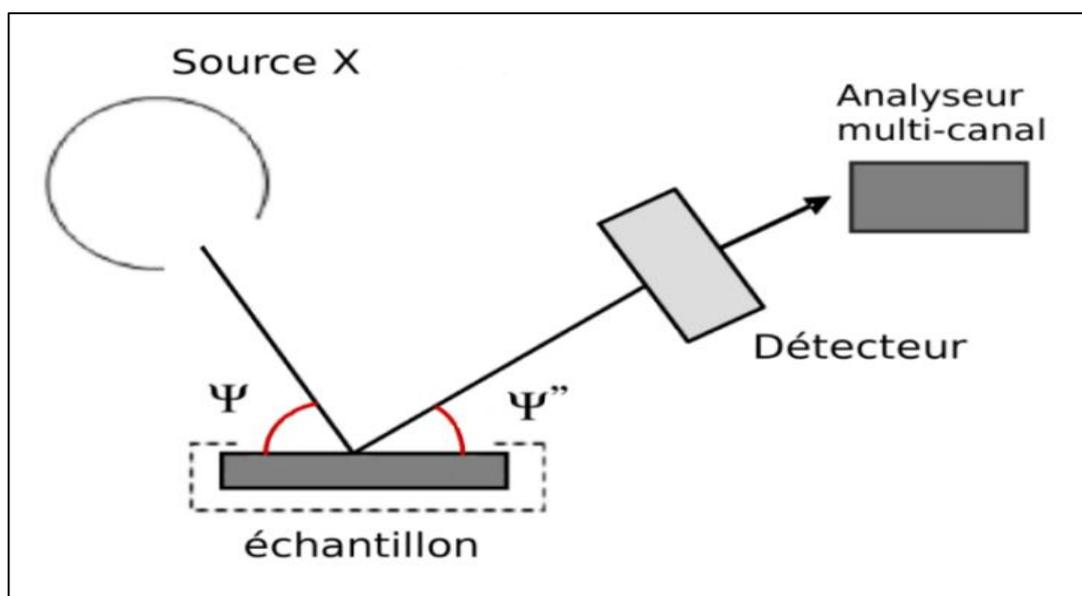


Figure II.4: Spectromètre à dispersion en énergie [42].

II.4. Analyse par XRF :

Le spectre de fluorescence X présente l'intensité recueillie par le détecteur en fonction de l'énergie émise par l'échantillon. Il est constitué des pics caractéristiques qui correspondent chacun à une transition électronique d'un atome constituant l'échantillon [47].

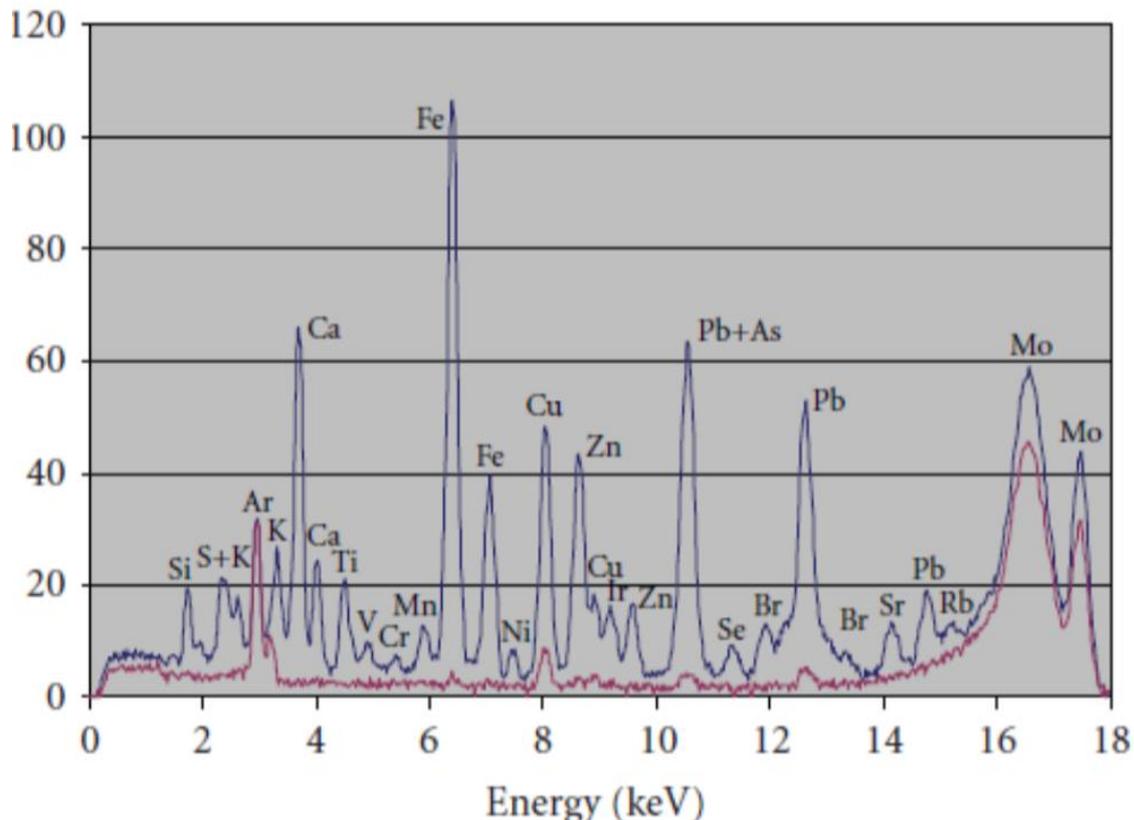


Figure II.5: Exemple d'un spectre obtenu par la fluorescence X [36].

II.4.1. Analyse qualitative :

L'analyse qualitative de l'échantillon, revient à repérer la position en énergie des raies caractéristiques d'émission correspondant à des niveaux d'énergie dont les tables donnent la nature de l'élément chimique concerné. Ces énergies sont données par la loi de Moseley qui exprime la proportionnalité entre l'énergie du rayon X émis par l'élément et le carré de son numéro atomique, selon la relation suivante [48].

$$h\nu = R h c (z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right) \quad \text{II.4}$$

Avec σ : constante d'écran

C : Vitesse de la lumière

R : constante de Rydberg

Z : numéro de Rydberg

P, n : nombres quantiques correspondant au niveau d'énergie initial et finale.

II.4.2. Analyse quantitatif :

L'analyse quantitative consiste à mesurer l'intensité d'une raie d'émission et à calculer la concentration de l'élément correspondant, donc on cherche à relier la concentration massique C_i d'un élément i du matériau à analyser à l'intensité mesurée I_i d'une raie X caractéristique de cet élément [37].

La variation de l'intensité de la raie X relative à l'élément i à analyser en fonction de l'épaisseur de l'échantillon permet de distinguer 3 régions (Figure II .6).

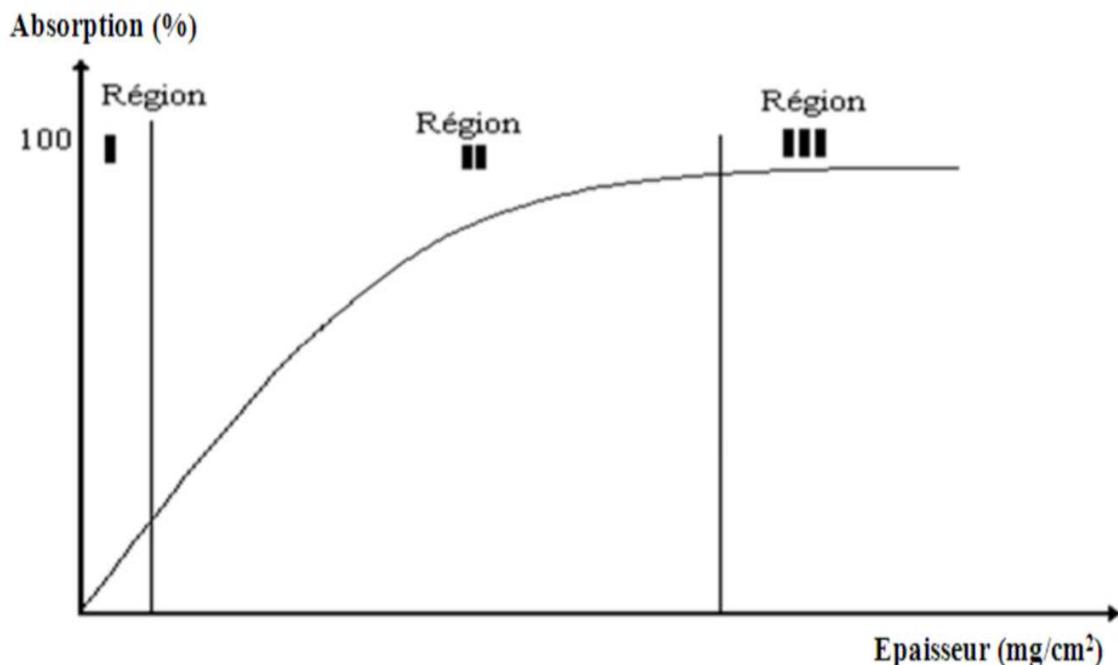


Figure II.6: Intensité relative à l'émission X en fonction de l'épaisseur de l'échantillon [48].

Région I : l'échantillon avec une épaisseur mince. Les effets de matrice sont négligeables.

$$I_i = K \cdot C_i$$

II.5

Avec : I_i : intensité mesurée de la raie de l'élément i .

K : facteur de calibration.

C_i : concentration de l'élément i .

Région II : L'échantillon avec une épaisseur intermédiaire. On utilise la méthode d'émission- transmission

Région III : L'échantillon avec une épaisseur. La correction sur l'intensité est maximale (les effets d'absorption primaire et secondaire ainsi que l'exaltation seront pris en considération) [48].

$$I_i = K \cdot C_i \cdot A_i \cdot H_i \quad \text{II.6}$$

Avec A_i : facteur d'absorption

H_i : facteur d'accroissement

II.4.2.1. Effets de matrice :

Généralement, en fluorescence X, l'intensité d'une raie n'est pas proportionnelle à la concentration de l'élément. Les autres atomes constituant l'échantillon modifient le signal. Ce qu'on appelle les « effets de matrice » [49].

La matrice intervient de trois façons :

- Le rayonnement X primaire est absorbé le long du trajet pour arriver jusqu'à l'atome à exciter : c'est l'absorption primaire.
- Le rayonnement de fluorescence caractéristique est absorbé le long du trajet pour sortir de l'échantillon en direction du détecteur : c'est l'absorption secondaire.
- si l'échantillon contient des éléments de numéros atomiques voisins (exemple élément X de numéro atomique A et élément Y de numéro atomique $A+2$) le rayonnement de fluorescence de l'élément Y peut à son tour exciter l'élément X, exaltant ainsi l'émission caractéristique de l'élément X. Il ya donc renforcement ou accroissement du rayonnement mesurée [43].

Pour résoudre le problème des effets de matrice, il faut procéder à des corrections. Parmi les méthodes de correction les méthodes relatives (méthodes des standards externes et méthode standard interne) [50].

II.4 .2.1 .1 Méthode des standards externes :

Elle consiste en l'utilisation de produits standards contenant des éléments identifiés, à des concentrations connues. L'irradiation des standards et des échantillons à analyser dans les mêmes conditions expérimentales, permet le calcul des concentrations inconnues des éléments constituant l'échantillon [50].

II. 4 .2.1.2 Méthode du standard interne

Cette méthode consiste à ajouter dans l'échantillon un élément en proportion connu de telle manière qu'il n'interfère pas avec les éléments d'intérêt. Les concentrations des éléments présents sont calculées à partir des aires des raies X en tenant compte des facteurs de sensibilité et d'absorption.

La concentration d'un élément **i** est donnée par l'expression suivante [51] :

$$C_i = C_s \frac{I_i}{I_s} \frac{K_s}{K_i} \frac{A_s}{A_i} \quad \text{II.7}$$

Avec I_i : l'aire de la raie X de l'élément recherché.

I_s : l'aire de la raie X du standard interne.

K_i : sensibilité de l'élément recherché.

K_s : sensibilité du standard interne.

Chapitre III :

Matériel et méthode

III. Matériels et méthode :**III.1. Matériels****III.1.1 Présentation du matériel biologique :**

Le matériel végétale est constitué de la partie aérienne (les feuilles et les fleurs) de deux plantes médicinales *Eucalyptus globulus* et *Matricaire Chamomilla L.*

a. Eucalyptus globulus :

Eucalyptus globulus c'est une plante médicinale avec des feuilles mesurent de 6 à 15 cm de long et sont ovales, larges, sessiles, opposée et couvertes d'une pruine cireuse bleu-gris. La floraison est de couleur blanc-crème .les fleurs sont solidaires, mellifères et relativement grands [52].

Classification botanique [53] :

Règne : plantae

Embranchement : spermaphytes

Sous Embranchement : Angiospermes

Classe : dicotylédones

Sous classe : dialypétales

Ordre : myrtacées

Genre : eucalyptus

Espèce : *Eucalyptus globulus*



Figure III.1: *Eucalyptus globulus*

b. Matricaire camomille :

C'est une plante herbacée, annuelle, odorante, mesurant de 15 cm à 40 cm de hauteur. Les feuilles vertes, alternes, épaisses, des fleurs blanche et jaune au centre. La camomille tolère de nombreux types de sols, mais elle préfère un sol sablonneux et bien drainé, avec un pH de 7,0 à 7,5 et beaucoup de soleil [54].

Classification botanique : [55]

Règne : Plantae

Embranchement : Spermatophytes

Sous-embranchements : Dicotyledones

Classe : Dicotyledoneae

Sous -classe : Asterideae

Ordre : Asteralae

Famille : Astéraceae

Genre : Matricaria

Espèce : Matricaria Chamomilla L



Figure III.2 : Matricaire camomille

III.1.2. Echantillonnage :

On a récolté la partie aérienne (les feuilles et les fleurs) des deux plantes au moins Mars (2020). Pour la même plante il y a eu au totale 2 échantillons choisis aléatoirement au niveaux de deux sites différents.

✓ Sites d'échantillonnages :

Les échantillons proviennent de la région de Meftah.

Meftah est une commune de la wilaya de Blida. Elle est située à environ 41km au nord de la ville de Blida, 26 Km au nord-ouest de la willaya d'Alger et de Boumerdes situé à 35 km au nord-est. La ville a une altitude voisine les 100 m au-dessus de niveau de la mer.

Elle est limitée :

- Au sud par les communes de Djbabra et Sohane.
- A l'est par la commune de Khmis-EL-Khechna.
- A l'ouest par la commune de Larbaa [56].

Meftah caractérise par :

- Le climat est de type méditerranéen. Il se caractérise par un été chaud et sec et un hiver doux. Les valeurs de précipitation de la région varient de 284 mm à 951 mm, concentré sur une période pluvieuse d'octobre en février.

- Elle est située dans la région de Mitidja. La Mitidja représente le centre de la production des fruits et légumes pour toute la région d'Alger. Cependant les quantités d'engrais sont utilisées d'une façon aléatoire.
- Elle a subie durant des années la pollution minérale de plusieurs unités industrielles (chimie plastique, verre, usine de cimenterie...) [57].

Le premier échantillonnage a été fait près de cimenterie de Meftah et à côté de la route de la route nationale N 29.



Figure III.3: Carte d'échantillonnage N°1

Le deuxième échantillonnage a été fait à proximité de la route nationale N 61 et la route W50, pas loin de cimenterie de Meftah .



Figure III.4 : Carte d'échantillonnage N° 2

III.1.2. Dispositif expérimentale :

Dans notre travail, on a utilisé une spectrométrie de fluorescence X à dispersion d'énergie (EDXRF) de modèle Epsilon 3XL destiné à l'analyse élémentaire d'une gamme d'échantillons .

Caractériser par :

- Une haute sensibilité grâce à un trajet optique optimisé en termes d'excitation et de détection.
- Leader en termes de performance sur les éléments légers.
- Sécurité Rayons X assurée.
- Conformité intégrale aux normes réglementaires.
- Outils flexibles pour une large gamme d'application [58].

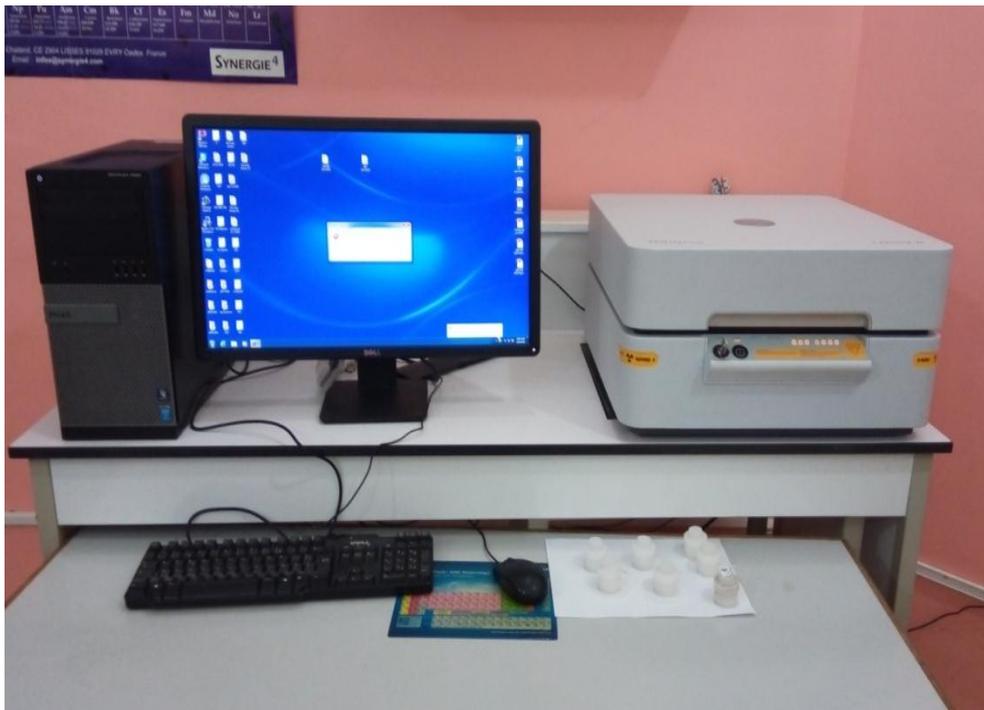


Figure III.5 : Dispositif expérimentale de la (EDXRF)

La chaîne d'analyse de spectrométrie utilisée composée de :

- ✓ Un tube à rayon X (PANalytical , Ag cible de 50 kV) avec une intensité 3 mA.
- ✓ Un détecteur semi-conducteur SDD (silicon drift detector) à effet Peltier, résolution 132.6 keV pour K_{α} – Mn X. La résolution de ce détecteur est généralement meilleure que 135 eV pour éviter les chevauchements de raies.
- ✓ Un passeur d'échantillons amovible à 10 positions.
- ✓ Un micro-ordinateur pour stocker et traiter les spectres, les spectres enregistrés sont traités à l'aide du logiciel Epsilon 3XL [59].

III.2. Méthode de travail :

III.2.1 Préparation des échantillons avant analyse :

- Les plantes récoltées sont séchées à l'aire libre et à l'abri de la lumière.



Figure III .6: Fleurs de Matricaire camomille sèches (à gauche) et feuilles de l'eucalyptus globulus sèches (à droite)

- Après le séchage, les plantes sont broyées, à l'aide d'un broyeur électrique, jusqu'à atteindre des poudre.

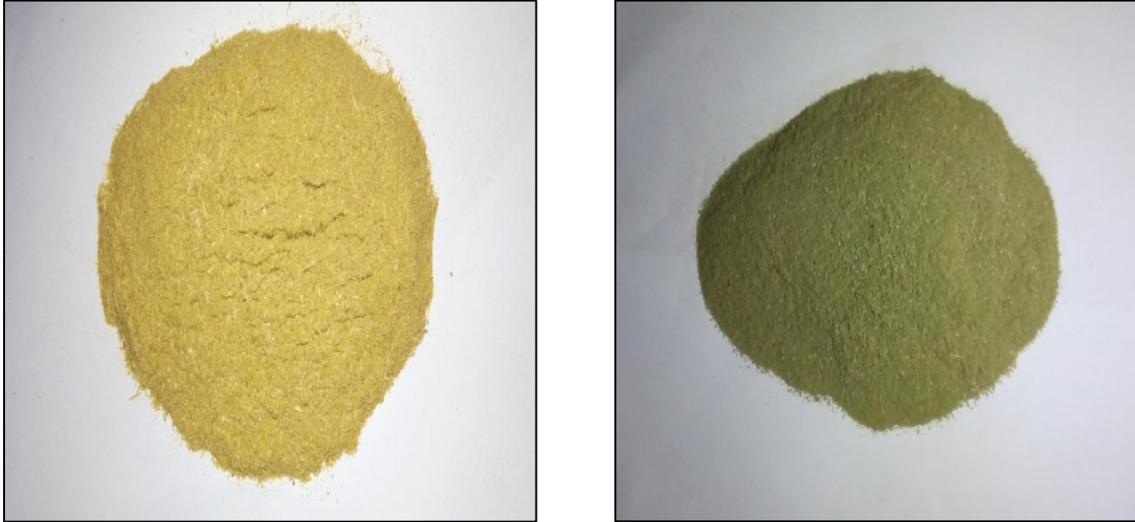


Figure III.7 : Poudre de Matricaire camomille (à gauche) et la poudre de l'Eucalyptus (à droite)

- On prépare des porte-échantillon à l'aide d'une feuille de Mylar et deux tubes consommables de l'appareil, comme présentés dans la Figure III.8



Figure III.8 : Feuille de mylar +les tubes (à gauche) porte-échantillon (à droite)

- On pèse une quantité de 1g de chaque échantillon à l'aide d'une balance.

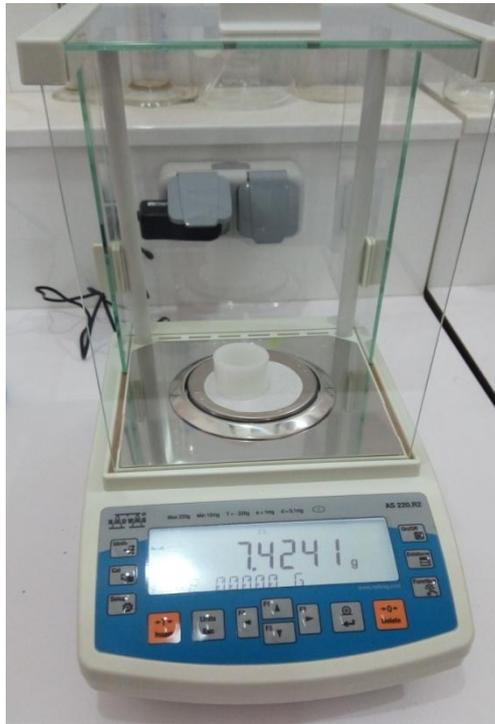


Figure III.9: balance

III.2.2 Analyse par fluorescence X:

- On mit les poudres directement dans les portes-échantillons (sur une feuille de Mylar de quelque micro d'épaisseur, très transparent aux rayons x), puis ils sont placés dans un passeur automatique de spectrométrie.
- L'ensemble des analyses ont été réalisées trois fois. L'analyse pour chaque échantillon dure 11 minutes.

Chapitre IV :

Résultats et

discussion

IV. Résultat et discussion :

Pour interpréter les résultats obtenus par analyse des échantillons par la technique de fluorescence X, la démarche la plus simple consiste à comparer l'analyse des échantillons végétaux pour la même espèce et le même organe.

Pour l'*Eucalyptus globulus* les résultats d'analyse sont présentés dans le tableau (IV.1). Pour la *Matricaire camomille* les résultats d'analyse sont présentés dans le tableau IV.2).

IV.1. Teneur moyenne des éléments dans la plante « *Eucalyptus globulus* » :

Les concentrations moyennes des éléments dans les feuilles de *eucalyptus globulus* prélevées sur les 2 sites de Meftah sont données dans le tableau (IV.1)

Tableau IV.1: Teneurs moyennes des éléments contenus dans *l'eucalyptus globulus* (site 1 et site 2).

Eléments	Concentration des éléments (mg/kg)		Seuils de toxicité (mg/kg) [19- 62]
	Eucalyptus globulus 1	Eucalyptus globulus 2	
Zn	1101,5 ± 23,8	1119,5 ± 12,4	100
Co	91,633 ± 18,333	63,133 ± 34,73	0,2
Ni	185,9 ± 85,8	125,266 ± 19,16	50
Cu	337,266 ± 6,266	503,266 ± 30,86	100
Cr	97,633 ± 29,033	393,266 ± 15,86	1,5
As	25,233 ± 2,466	7,166 ± 10,63	1
Pb	63,666 ± 4,233	33,666 ± 7,26	1
Hg	1,33 ± 2,67	7,033 ± 2,833	0,1

D'après ce résultat, les feuilles l'*Eucalyptus globulus* (site 1 et site 2) contiennent les oligo-éléments les éléments toxiques à l'état en trace.

IV .1 .1. Comparaisons des oligo-éléments dans les *Eucalyptus globulus* (site 1 et 2).

Les oligo-éléments présent dans les feuilles de *l'eucalyptus globulus* sont le zinc (Zn), Cuivre (Cu), nickel (Ni) et cobalt (Co).

L'histogramme de la Figure IV.1 présente de façon claire la différence des teneurs des oligo-éléments dans *l'eucalyptus globulus* (site 1 et site 2).

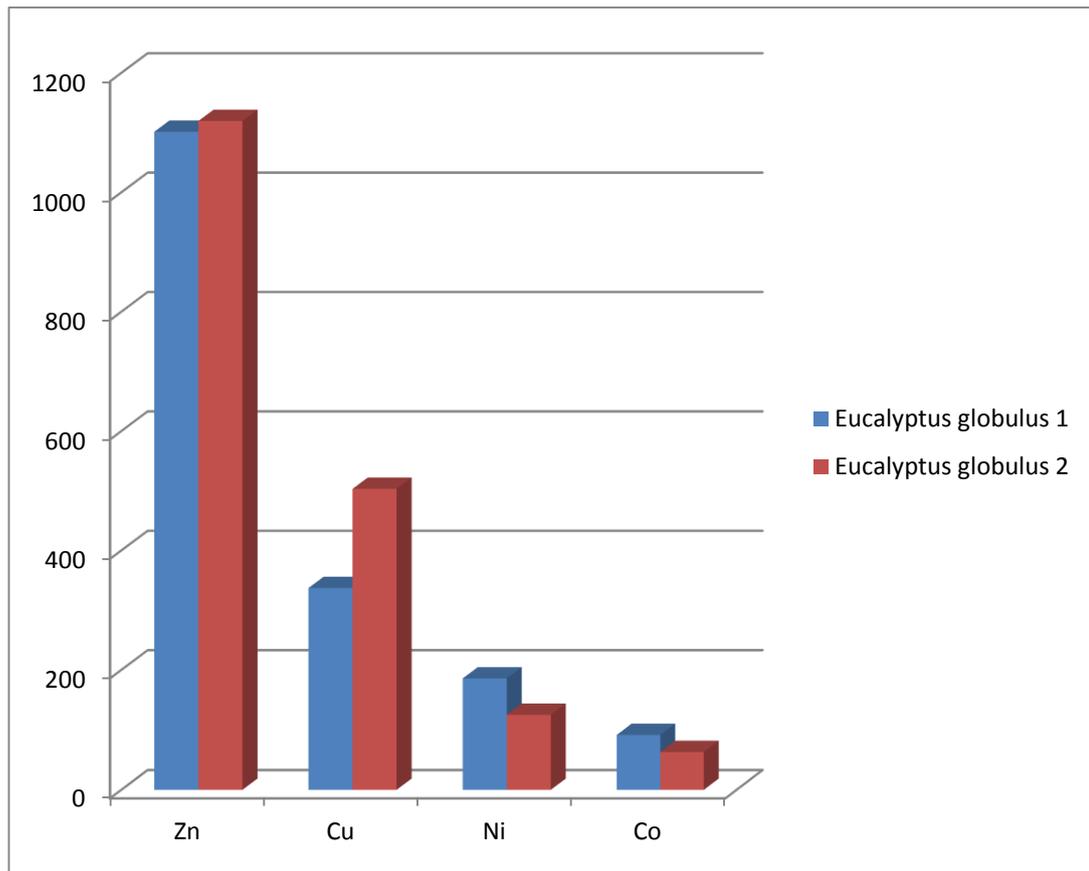


Figure IV.1 : Histogramme illustrant la comparaison des teneurs moyennes en oligo-éléments (mg/kg) dans l'eucalyptus globulus (1 et 2).

Pour le cuivre (Cu) la teneur la plus élevée est de 503,266 mg/kg (Eucalyptus globulus 1), pour le nickel (Ni) la teneur la plus élevée est de 185,9 mg/kg (Eucalyptus globulus 1), pour le cobalt (Co) la teneur la plus élevées est de 91,63 mg/kg (Eucalyptus globulus 1), pour le zinc (Zn) sa teneur est presque la même dans les deux plantes (1101,1 mg/kg (Eucalyptus globulus 1) et 1119,5 mg/kg (Eucalyptus globulus 2)).

La séquence des teneurs en oligo-éléments dans l'eucalyptus globulus est la suivante :

Pour l'eucalyptus globulus 1 : $Zn > Cu > Ni > Co$

Pour l'eucalyptus globulus 2 : $Zn > Cu > Ni > Co$

Par contre I.Querlt et al [60] trouvent que la concentration de Zn est 56 mg / kg et la concentration de Cu est 10 mg / kg.

IV .1.2. Comparaisons des éléments toxiques dans les *Eucalyptus Globulus* (site 1 et 2) :

Les éléments traces toxiques présente dans les feuilles de *l'eucalyptus globulus* sont Chrome (Cr), Plomb (Pb), Arsenic (As) et mercure (Hg).

L'histogramme dans la Figure IV.2 présente de façon claire la différence des teneurs des éléments toxiques dans *l'Eucalyptus globulus* (1 et 2).

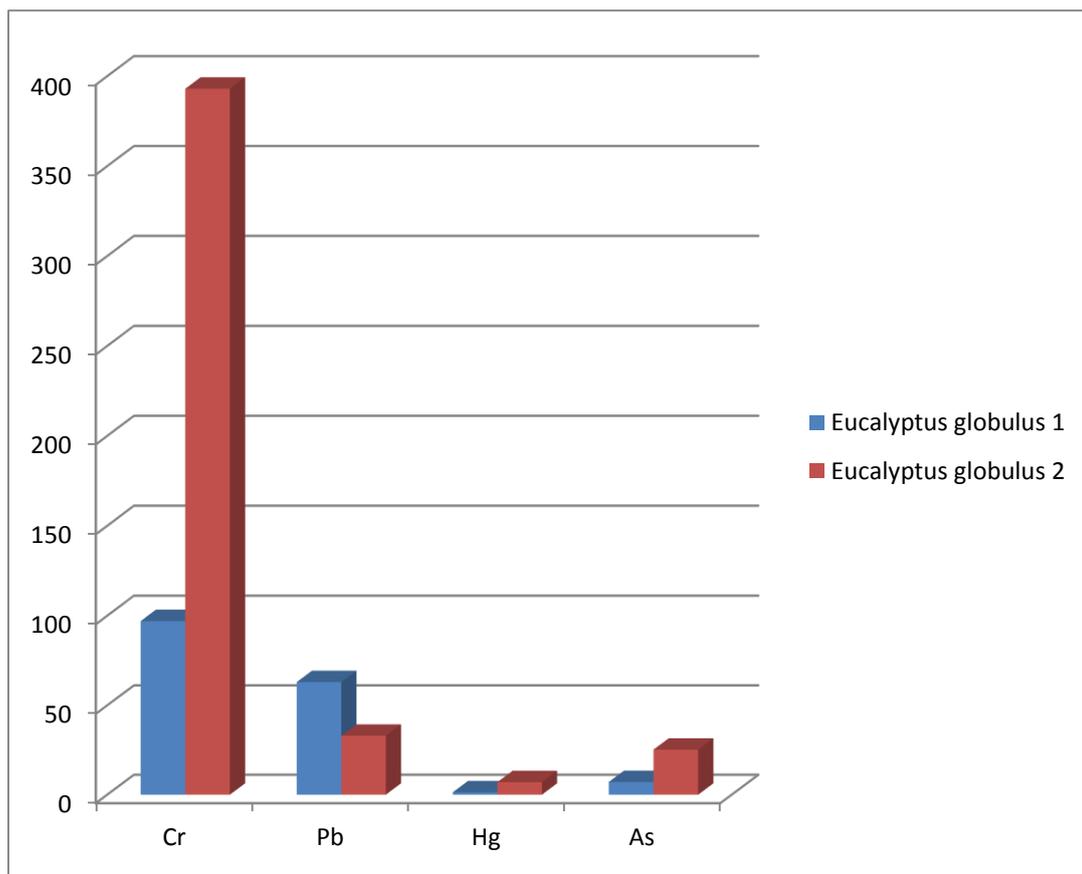


Figure IV.2 : Histogramme illustrant les teneurs moyennes en éléments toxiques (mg/kg) dans l'Eucalyptus globulus (site 1 et 2).

Pour le Chrome (Cr) la teneur la plus élevée est de 393.266 mg/kg (Eucalyptus globulus 2), pour le Plomb (Pb) la teneur la plus élevée est de 63.66 mg/kg (Eucalyptus globulus 1), pour le mercure (Hg) la teneur la plus élevée est de 7.03 mg/kg (Eucalyptus globulus 2), pour l'Arsenic (As) la teneur la plus élevées est de 25.16 mg/kg (Eucalyptus globulus 1).

La séquence des teneurs en oligo-éléments dans l'eucalyptus globulus est la suivante :

Pour la Eucalyptus globulus 1 Cr > Pb > As > Hg

Pour la Eucalyptus globulus 2 Cr > Pb > As > Hg

Par contre I.Querlt et al [60] trouvent que la concentration de Pb est 3 mg / kg, la concentration de As est 6 mg / kg. Concernant le Chrome (Cr) et le cobalt (Hg) ne sont pas détectent.

IV.2.Teneur moyenne des éléments traces dans la plante « *Matricaire camomille* » :

Les concentrations moyennes des éléments traces dans les feuilles de *Matricaire camomille* prélevées sur les 2 sites de Meftah sont données dans le tableau IV.2.

Tableau IV.2 : Teneurs moyennes des éléments traces contenus dans la *Matricaire camomille* (site 1 et site 2).

Eléments	Concentration des éléments (mg/kg)		Seuils de toxicité (mg/kg) [19_62]
	Matricaire camomille 1	Matricaire camomille 2	
Zn	996,733 ± 8,166	1134,566 ± 2,1333	100
Co	193,766 ± 21,533	55,166 ± 26,566	0.2
Ni	77.433 ± 8.866	87,266 ± 19,133	50
Cu	410.133 ± 6.166	516,466 ± 16,166	100
Cr	363,3 ± 14,3	369,766 ± 46,633	1.5
As	30,03 ± 4,0666	12,066 ± 6,333	1

Pb	98,1 ± 8,8	35,3 ± 11,3	1
Hg	5,6 ± 1,23	6,366 ± 1,533	0.1

ppm = mg/kg

D'après ce résultat les fleurs de *Matricaire camomille* contiennent des oligo-éléments les éléments toxiques sont à l'état de trace.

IV .2.1 Comparaisons des oligo-éléments dans *Matricaire camomille* (site 1 et site 2)

Les oligo-éléments présents dans les fleurs de la *Matricaire camomille* sont zinc (Zn), Cuivre (Cu), nickel (Ni) et cobalt (Co).

L'histogramme dans la Figure IV. 3 présent de façon claire la différence des teneurs des oligo-éléments dans la *Matricaire camomille* (site 1et site 2).

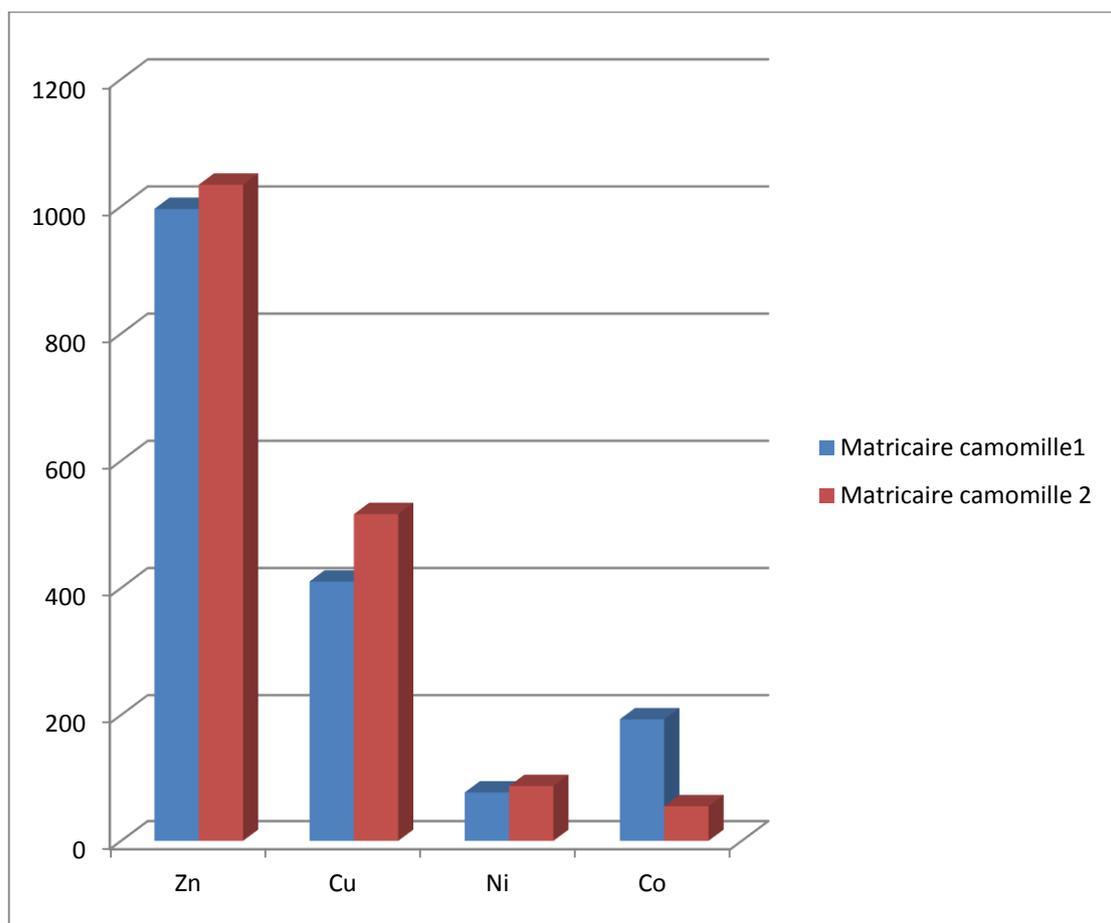


Figure IV. 3 : Histogramme illustrant la comparaison des teneurs moyenne en oligo-éléments (mg/kg) dans la *Matricaire camomille* (1 et 2).

Pour le cuivre (Cu) la teneur la plus élevée est de 516,466 mg/kg (Matricaire camomille 2), pour le nickel (Ni) la teneur la plus élevée est de 87,266 mg/kg (Matricaire camomille 1), pour le cobalt (Co) la teneur la plus élevées est de 193,766 mg/kg (Matricaire camomille 1), pour le zinc (Zn) la teneur la plus élevée est de 1134,566 mg/kg (Matricaire camomille 2).

La séquence des teneurs en oligo-éléments dans la Matricaire camomille (1 et 2) est la suivante :

Pour la Matricaire camomille (site1) : $Zn > Cu > Co > Ni$

Pour la Matricaire camomille (site2) : $Zn > Cu > Ni > Co$

Par contre I.Querlt et al [60] trouvent que la concentration de Zn dans est 49 mg / kg, la concentration de Cu est 20 mg / kg. Concernant le nickel (Ni) est le cobalt (Co) ne sont pas détectent.

IV.2.2.Comparaisons des éléments toxiques dans la *Matricaire camomille* (1 et 2) :

Parmi les éléments traces toxiques présente dans les fleurs de *Matricaire camomille* sont Chrome (Cr), Plomb (Pb), Arsenic (As) et mercure (Hg).

L'histogramme dans la figure IV.4 présente de façon claire la différence des teneurs des éléments toxiques dans la *Matricaire camomille* (site 1 et site 2).

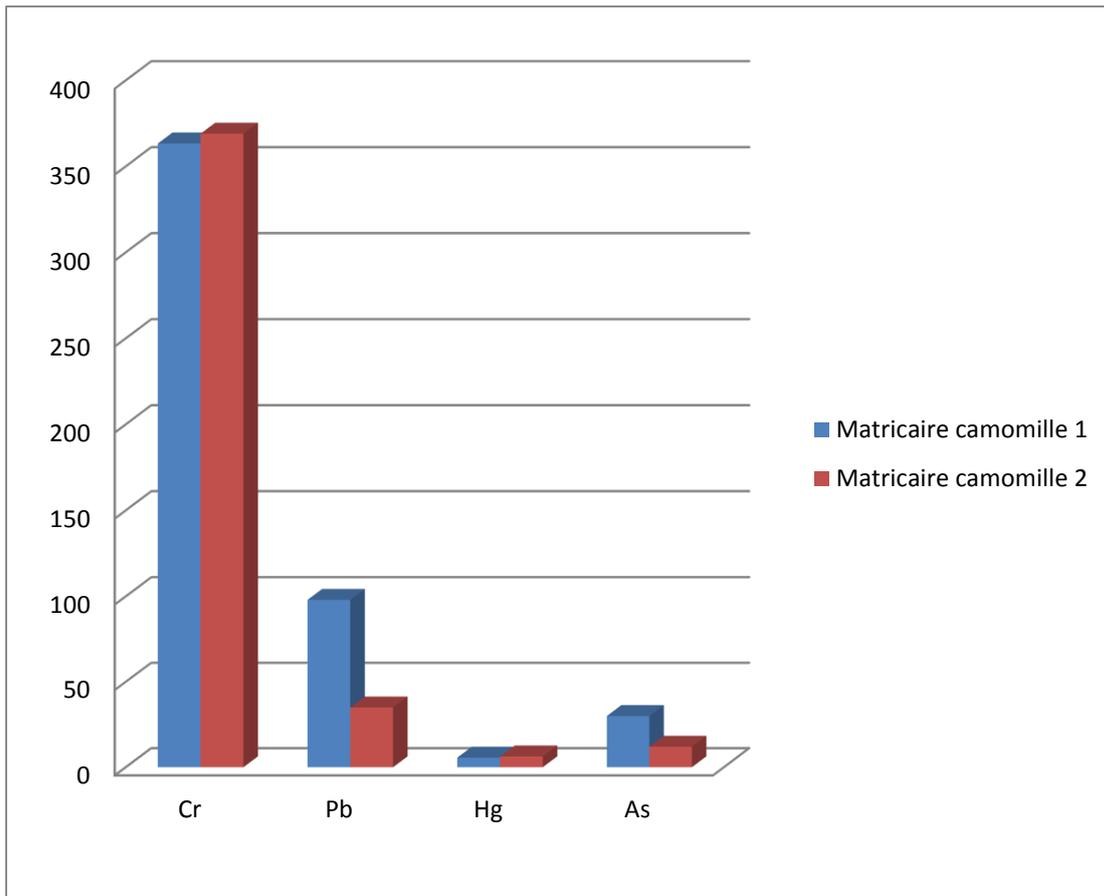


Figure IV.4 : Histogramme illustrant la comparaison des teneurs moyennes (mg/kg) dans la *Matricaire camomille* (1et 2).

Pour le Chrome (Cr), sa teneur est presque la même dans les deux plantes (363,3 mg/kg (Matricaire camomille 1) et 369.7 mg/kg (Matricaire Camomille 2), pour le Plomb (Pb) la teneur la plus élevée est de 98.1 mg/kg (Matricaire Camomille 1), pour l’Arsenic (As) la teneur la plus élevées est de 30.033 mg/kg (Matricaire Camomille 1), pour le mercure (Hg) la teneur la plus élevée est de 6.36 mg/kg (Matricaire Camomille 2).

La séquence des teneurs en oligo-éléments dans la Matricaire camomille (1 et 2) est la suivante :

Pour la Matricaire camomille (site1) : Cr > Pb > As > Hg

Pour la Matricaire camomille (site2) : Cr > Pb > As > Hg

Par contre I.Querlt et al [60] trouvent que la concentration de Pb est 3 mg / kg, la concentration de As est 6 mg / kg. Concernant le Chrome (Cr) et le cobalt (Hg) ne sont pas détectent.

IV.3. Comparaison des teneurs des espèces étudiées par rapport au teneur normal.**Concernant les oligo-éléments :**

Selon Naili et al [1] la plupart des oligo-éléments accumulés dans le sol sont absorbés par les plantes. Les végétaux en ont besoin pour leur croissance et leur développement, mais ils deviennent toxiques lorsqu'ils sont présents en forte concentration.

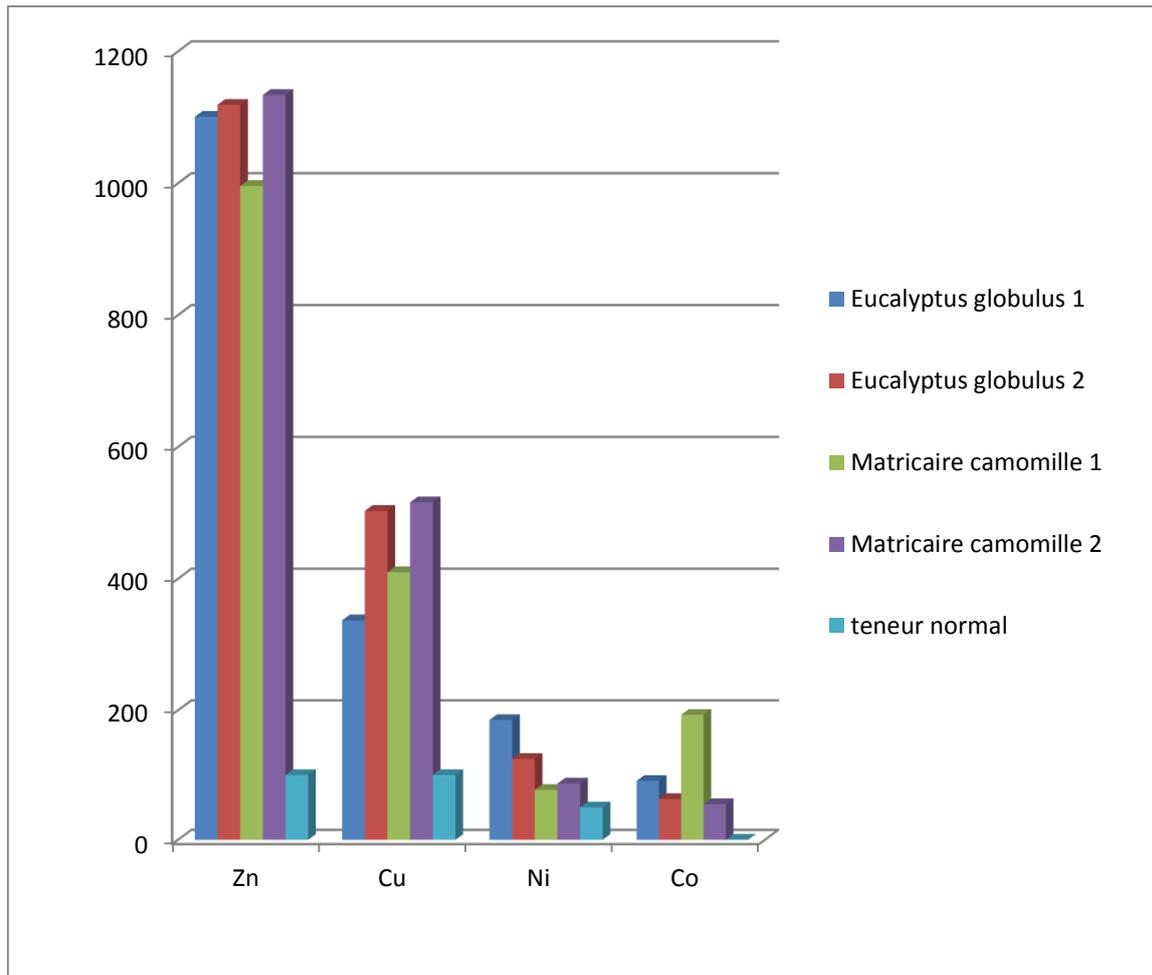


Figure IV.5 : Histogramme illustrant la comparaison des teneurs en oligo-éléments des espèces étudiées avec les teneurs normales

En ce qui concerne notre étude, l'historgramme de la Figure IV.5 montre que dans les espèces étudiées les teneurs des éléments (Zn, Cu, Ni et Co) présentent des concentrations supérieures aux teneurs normales.

- Pour zinc (Zn), la valeur limite acceptable étant fixée à 100 mg/Kg [62] ; les résultats montrent que dans les échantillons les valeurs étaient supérieures, respectivement 1134.566 mg/kg pour la Matricaire camomille (site 2), 1119.5 mg/kg pour l'Eucalyptus globulus (site 2), 1101.5 mg/kg pour l'Eucalyptus (site 1), 996.733 mg/kg la Matricaire camomille (site 1).
- Par rapport au cuivre (Cu) la valeur normale étant fixée au 100 mg/kg [62]; les résultats trouvés montrent une élévation dans tous les échantillons de 337.266 mg/kg à 503.266 mg/kg.
- Et pour le nickel (Ni) les teneurs dans les échantillons sont supérieures à la valeur limite (50 mg /kg) [62]; les concentrations variant de 77 ,433 mg/kg pour la matricaire camomille (site1) à 185,9 mg/kg pour Eucalyptus globulus (site 2).
- Pour le cobalt (Co), la valeur normale fixant à 0.2 mg/kg [19] ; sa concentration varie entre de 55 ,166 mg/kg à 193.766 mg/kg.

Les valeurs élevées Cu, Ni, Zn sont dues probablement à leur mobilité et leur assimilabilité par les plantes [63].

Concernant les éléments toxiques :

Les éléments traces comme le plomb (Pb), le mercure (Hg), l'Arsenic (As) et le chrome (Cr) reconnus comme des micropolluants non essentiels et toxiques à l'état de traces pour l'environnement ainsi que pour la plante [1].

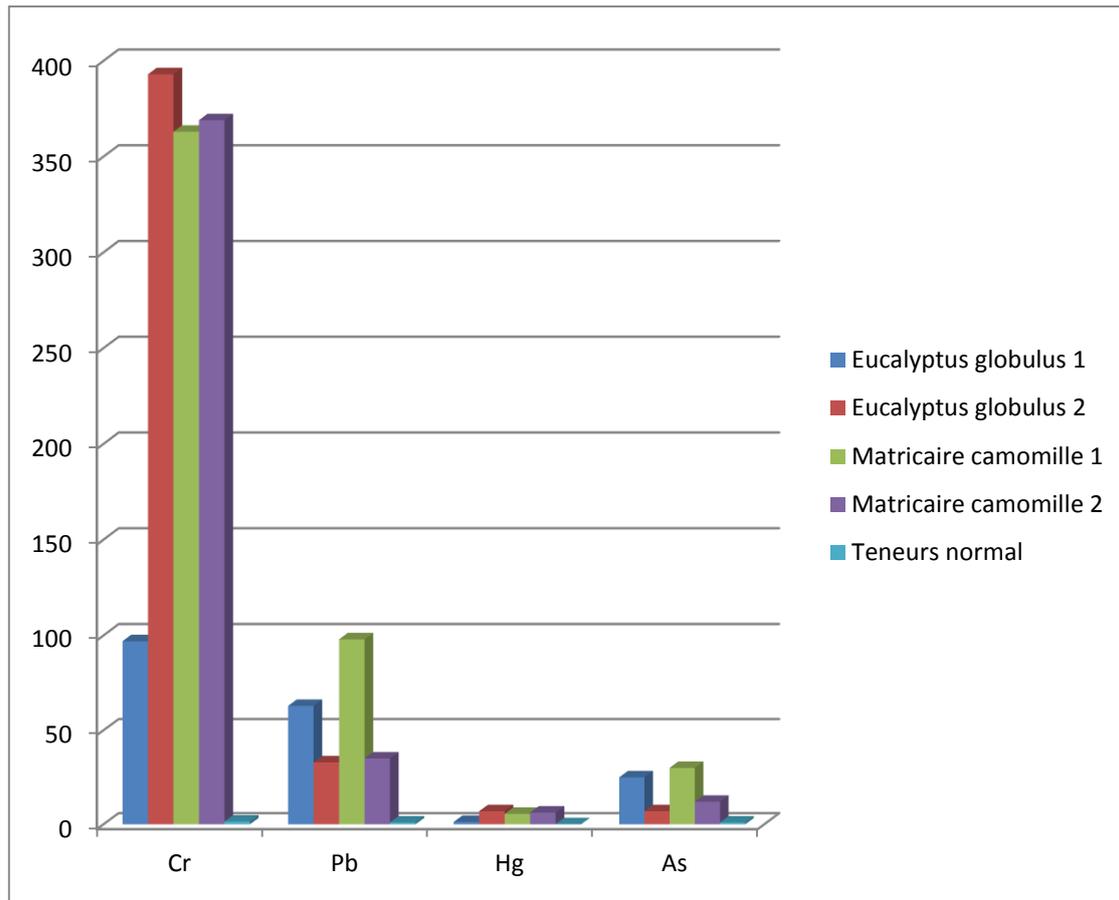


Figure IV.6 : Histogramme illustrant la comparaison des teneurs des éléments toxiques des espèces étudiées avec les teneurs normal.

Les histogrammes de la figure IV.6 représentent de façon claire que les teneurs des éléments traces (Pb, Hg, As, et Cr) sont supérieures aux valeurs normales dans les deux plantes étudiées.

- Pour l'Arsenic (As) les résultats montrent que les teneurs dans les échantillons sont supérieurs à la valeur acceptable (1 mg/kg) [19]. Sachant que les concentrations obtenue variant de 7,166 mg / kg pour l'eucalyptus globulus (site 2) à 30,03 mg / kg pour la Matricaire camomille (site 1).

L'arsenic est naturellement présent dans la croûte terrestre mais la majeure partie de lui provient des fumées émanant des industries de production d'As₂O₃ et de la combustion de produits fossiles [28].

- Pour le Hg la valeur limite est fixe à 0,1 mg /kg [19] ; les teneurs obtenue dans les échantillons variant de 1,33 mg /kg à 7,033 mg /kg. La contamination des plantes par l'Hg peut due au sol contaminé ou à l'air pollué [64].
- Par rapport au Cr la valeur normal est fixe à 1.5 mg/kg [19] ; sachant que les concentrations obtenue sont de 369,7 mg/kg à 97,633 mg/kg.
- Pour le Pb les concentrations obtenues sont supérieurs à la valeur acceptable (0.1mg/kg) [19]. Ces teneurs élevées (de 33 mg/kg à 98.1 mg/kg). niveau des plantes étudiées sont en relation avec les dépôts atmosphériques sur les parties aériennes [63].

Nos résultats montrent que les teneurs des éléments traces, enregistrées dans les espèces étudiées (*Eucalyptus globulus* et *Matricaire camomille*), diffèrent d'une espèce à un autre. En effet les plantes d'espèces différentes, poussant dans les mêmes conditions, n'absorbent pas les mêmes quantités de l'élément, et ne les stockent pas dans les mêmes organes [63].

Les teneurs élevées en éléments traces notamment Zn, Cr, Co Ni, Hg, As, et Pb enregistrées dans les feuilles d'*eucalyptus globulus* et les fleurs de *Matricaire camomille* pouvait s'expliquer par la proximité de la zone d'étude (Meftah) des axes routiers et des rejets industriels de cimenterie (des dépôts poussiéreux sur la surface des plantes) et des gaz d'échappements des véhicule.

Conclusion

Conclusion :

Conclusion :

Les résultats obtenus d'évaluer les teneurs des éléments traces dans les plantes médicinales (*Eucalyptus globulus* et *Matricaire camomille*) correspondent à la région de Meftah par la technique de fluorescence des rayons X (XRF).

Les résultats obtenus montrent que les teneurs des éléments traces (zinc (Zn), cuivre (Cu), nickel (Ni), cobalt (Co), arsenic (As), mercure (Hg) et plomb (Pb)) sont élevées dans les espèces analysées (*Eucalyptus globulus* et *Matricaire camomille*) par rapport aux seuils de toxicité.

- Les concentrations des éléments (Zn, Cu, Ni et Co) pour les deux espèces varient de (996,733 à 1134,566) mg/kg pour le Zn, de (503,266 à 337,266) mg/kg pour Cu, de (55,166 à 193,766) mg/kg pour le Co et de (77,433 à 185,9) mg/kg pour le Ni.
- Les concentrations des éléments toxiques (Cr, Pb, Hg et As) pour les deux espèces varient de (97,633 à 97,633) mg/kg pour le Cr, de (30,03 à 33,6) mg/kg pour le Pb, de (7,1 à 30,03) mg/kg pour l'As et de (1,33 à 7) mg/kg pour l'Hg.

De plus ces teneurs varient suivant le site et l'espèce étudiée. En effet les concentrations des éléments traces n'ont pas été identiques dans les deux sites étudiés pour la même espèce ou pour des espèces différentes.

Les teneurs élevées des éléments traces peuvent être dues à la proximité des deux sites étudiés (dans la zone de Meftah) des axes routiers (gaz d'échappements des véhicules) et des rejets industriels de l'usine de cimenterie.

On conclut que les deux espèces, issues de la région de Meftah, ne peuvent pas être utilisées en médecine traditionnelle.

Les plantes médicinales sont largement utilisées en Algérie dans la médecine traditionnelle et sont vendues sans contrôle préalable. Afin d'éviter toute contamination ou de nuisance pour la santé humaine, nous proposons en perspective:

- La détermination des différentes concentrations des éléments en traces dans les espèces : *Matricaire camomille* et *Eucalyptus globulus*, prélevés dans différents sites (sains et pollués) en Algérie,

Conclusion :

- L'étude de l'influence de la granulométrie sur les concentrations des ces éléments en traces,
- Etablir une liste des sites dans laquelle les plantes médicinales peuvent être utilisées.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] S.NAILI, A. NAIT MERZOUG, G.DÉNÈS, H.MERAZIG, A.LAKEHAL. « Détermination des teneurs en éléments traces métallique des sols cultivés dans la région de Constantine par spectrométrie XRF ». Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution, October30-31, 2016, Constantine, Alegria
- [2] Dany, Saba. « Les radionucléides et le plomb émis par une usine de fertilisants au Liban : Etude de leurs mobilités dans les sols et les plantes pour une évaluation du risque sanitaire ».Thèse de doctorat : Sciences de l'Environnement, Paris-Saclay, France, 2019
- [3] S. Kashimbo Kalala, E. Mbikayi, M. Ngoy Shutcha, L. Lukens. « Evaluation du risque de contamination de la chaine Alimentaire en éléments traces métalliques de trois espèces maraichères cultivées au bord de la rivière Lubumbashi (KATANGA/RD CONGO) ». International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 10 (4), Mar. 2015, pp. 1125-1133
- [4] MIKKO, Sillanpää « trace elements in soils and agriculture », F.A.O, Soils bulletin. 1972, p2
- [5] Denis, Baize. « Éléments traces dans les sols Fond géochimiques, fonds géochimiques naturels et teneurs agricoles habituelles : définition et utilités ». Courrier de l'environnement de l'INRA n° 57, juillet 2009.
- [6] Bourrelier P. H., Berthelin J., «Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion ». Académie des Sciences, rapport n° 42 ; Paris, France, 1998.
- [7] BENABDELKADER, Mohammed el amine. « Sources et transferts des éléments majeurs et traces dans le bassin versant de la Tafna (Algérie) : approches géochimiques et hydrochimiques », thèse de doctorat : Surfaces Interfaces Continentales Hydrologie, université de Toulouse, France, 2019
- [8] GONNEAU, Cédric. « Distribution, écologie et évolution de l'hyperaccumulation des éléments en trace par *Noccaea caerulescens* ». Thèse de doctorat en science agronomiques, lorraine, France, 2014

Référence bibliographique

- [9] Roger, Papp. « Les propriétés environnementales des éléments trace Particularités et conséquences pour l'analyse de risque ». Collège National d'Experts en Environnement de l'Industrie Chimique (CNEEIC), 2011
- [10] F. Matech. , F.Zaakour ., K .Moustarhfer ., Z.Chemsi ., I.Benazzouz, N .Saber .« Concentrations en éléments traces métalliques dans les sols irrigués par les eaux usées versées dans l'EOUD MERZEG (CASABLANCA-MAROC) », European Scientific Journal, vol, 10 (29), 2014
- [11] Isabelle, Feix. , de Jacques, Wiart « connaissance et maîtrise des aspects sanitaires de l'épandage des boues d'épuration des collectivités ». 2ème Edition, agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ADEME ,1998
- [12] Turekian,k.K .,wedepohl,k.,H.,1961.Distribution of the elements in major units of the earth's crust .geological society of America, Bulletin,72 ,175,-192
- [13] KRIKA, Abderrezak. «Etude de la distribution des métaux lourds dans les ripisylves de l'oued Rhumel » .Thèse de doctorat en Sciences : Pollution et Ecotoxicologie. Constantine1, Algérie, 2013/2014
- [14] Dany, Saba. « Les radionucléides et le plomb émis par une usine de fertilisants au Liban : Etude de leurs mobilités dans les sols et les plantes pour une évaluation du risque sanitaire » .thèse de doctorat : Sciences de l'Environnement, Paris-Saclay, France, 2019
- [15] Thi My Dung, HUYNH. « Impact des métaux lourds sur l'interaction plante /ver de terre/ microflore tellurique », Thèse de Doctorat : Ecologie microbienne. PARIS EST, France, 2009
- [16] Charlotte, Berthelot. « Les endophytes bruns septés dans les sols pollués aux éléments traces métalliques (ETM): Caractérisation, effet sur les plantes et mécanismes de tolérance aux ETM ». Thèse de doctorat : Écotoxicologie, Biodiversité, Écosystèmes, lorraine, France, 2017
- [17] Pierre, Stengel. , Sandrine, Gelin. « Sol : interface fragile », INRA Edition, paris, France, 1998
- [18] Mohamad, Assad. « Transfert des éléments traces métalliques vers les végétaux: mécanismes et évaluations des risques dans des environnements exposés à des activités

Référence bibliographique

anthropiques ». Docteur de l'Université Bourgogne Franche-Comté Sciences, Sciences agronomiques et Biochimie, 2017

[19] Anne, Tremel-Schaub ., Isabelle, Feix .« contamination des sols transferts des sols vers les plantes ».Académie des Sciences ; Paris, France 2005

[20] Arnaud, R.Schneider. « Comportement et mobilité des éléments traces métalliques dans des sols environnant une usine de seconde fusion du plomb. Approches expérimentales et modélisation ». Thèse de doctorat : Géochimie de l'environnement, université de REIMS CHAMPAGE_ARDENNE ,2016

[21] Marie-Thérèse, Ménager ., Jacqueline Garnier_ Laplace. « Toxicologie nucléaire environnementale et humaine », édition Lavoisier, PARIE, 2009

[22] L. Pasquier « Guide du sol Largile et Lamotte », Enesad, unité informatique pédagogique, 2016

[23] J.-F. Briat, M. Lebrun. « Plant responses to metal toxicity ». C. R. Acad. Sci. / Elsevier. Paris, Sciences de la vie / Life Sciences 1999.322, 43-54p

[24] Prasad, M.N.V., Hagemeyer, J. « Heavy metal stress in plants. From molecules to ecosystems ». Springer, 1999

[25] D. Baize, C. Courbe, O .Suc, C. Schwartz, M. Tercé, A. Bispo, T. Sterckman, H. Ciesielski. « Épandages de boues d'épuration urbaines sur des terres agricoles : impacts sur la composition en éléments en traces des sols et des grains de blé tendre ». Courrier de l'environnement de l'INRA n°53, décembre 2006, p 35-61

[26] Kandsi, Bel Abbes. « Contrôle analytique de la livraison des sols contaminés par les éléments traces métalliques (ETM) ».Thèse de doctorat : matériaux catalytiques d'environnement, université de Djillail liabes –Sidi bel Abbes, Algérie, 2019

[27] Morel, Jean-Louis. « Phytoremédiation des sols contaminés ».L'Actualité chimique, 2002, p 63-66

[28] A. Gouzy ., G . Ducos. « La connaissance des éléments traces métalliques : un défi pour la gestion de l'environnement ». AIR pur, 2008, pp 6-10

Référence bibliographique

- [29] A. Sidi Issah ., M.Djangbedja ., T.Tchamie . « Évaluation de la contamination des sols des carrières d'exploitation du gisement de calcaires de TABLIGBO (SUD-EST TOGO) par les métaux lourds toxiques ». Revue ivoirienne des sciences et technologies, 2018
- [30] OZ. Ibrahim,. AT. Dant-Badjo,. Y Guero, T Sterckeman,. G .Echevarria . « Distribution spatiale des éléments traces métalliques dans les sols de la zone aurifère de Komabangou au Niger ».International Journale of Biological and Chiminal Science ,13(1), 2019, P 557-573
- [31] Sandrine, Gombert,. Laurence, Galsomiès,. Catherine, Rausch,. Sébastien, Leblond,. Rémi, Losno,. Jean-Louis, Colin,. Bruno Charré. « Pollution atmosphérique par les métaux Bio surveillance des retombées », Académie des Sciences ; Paris, France, 2005
- [32] Claire, Laurent ., Cyril ,Feidt ., François , Laurent. « Contamination des sols: transferts des sols vers les animaux ». Académie des Sciences ; Paris, France ,2005
- [33] STÉPHANE, MOMBO. « Transfert des métaux et metalloïdes dans le système sol-plante-Atmosphère : mécanismes biologiques et conséquences environnement – santé ».Thèse de doctorat : écologie fonctionnelle. Institut national polytechnique de Toulouse (INP Toulouse), 2016
- [34] Philippe, Dillmann, Ludovic, Bellot-Gurlet. « Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes ». Edition des archives contemporaines ,2014
- [35] de Vries J.L., « Historique de la diffraction et de la fluorescence des rayons X », Colloque C4, Journal de Physique IV, vol(6), P C4-695-C4-701, 1996
- [36] BELARBI, NADIA. « Etude de la pollution atmosphérique par les particules et les métaux lourds (Cr, Zn, Cd.....) au niveau de la ville d'Alger ».Diplôme de doctorat en sciences : Spectrochimie et méthodes d'analyses, université d'Alger, Algérie
- [37] D. BENOIT, F. GRILLON, . F. MAURICE. , N. ROINEL,. J. RUSTE, . R. TIXIER. « Microanalyse par sonde électronique: spectrométrie de rayons X », PARIS, 1987
- [38] Pierre, Gravereau. « Introduction à la pratique de la diffraction des rayons X par les poudre ».Institut de chimie de la matière condensé de Bordeaux, 2012
- [39] Francis, Rouessac,. Annick, Rouessac, .Daniel, Cruché. « Analyse chimique: méthodes et techniques instrumentales modernes ». 6ème édition, Dunod, Paris, 2004

Référence bibliographique

- [40] « Méthodes Spectrométriques d'Analyse et de Caractérisation ». Centre SPIN, Ecole des Mines, Saint-Etienne
- [41] Claude, ESNOUF. « Caractérisation microstructurale des matériaux, analyse par les rayonnements X et électronique ». presse polytechnique et universitaire romandes, 2011
- [42] JULIEN ,PY. « Modélisation et développement d'un système d'analyse en ligne des transuraniens par spectrométrie de fluorescence X raies L » ,Thèse des doctorat en physique ,université de Franche-Comté, 2014
- [43] Johns, Lynch. « Analyse physico-chimique des catalyseurs industriels. Manuel pratique de caractérisation », Éditions TECHNIP, paris, France, 2001
- [44] Philippe. Goudeau ., René Guinebertière. « Rayons X et Matière 5 : RX 2013 », ISTE Edition Ltd, Great Britain, 2017
- [45] Danté CAMARILLO, RAVELO. « Détection et caractérisation par rayon x des éléments traces dans les fruits et légumes ». Thèse de doctorat : Imagerie et système, l'institut national des sciences Appliquées de lyon, 2007
- [46] P. Dillmann. , L. Bellot-Gurlet. « Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes » .édition des archives contemporaines, P293, 2014.
- [47] LOTFI, BOUTAHAR. « Applications de la spectrométrie de fluorescence X à l'analyse et la caractérisation des matériaux ». Diplôme de magister en physique, 2014
- [48] Ammar, MANSOURI. « Détermination du taux des oligoéléments sélénium et zinc dans le cheveu des patients atteints par le psoriasis au moyen de la spectrométrie par fluorescence X et de l'activation neutronique instrumentale ». Doctorat en sciences : Génie Chimique, Université Ferhat Abbas - Sétif 1, Algérie, 2014
- [49] Haïfa, Ben Abdelouahed. « Etude de la fluorescence X : Développement dans Geant4 de nouveaux modèles de sections efficaces pour la simulation PIXE. Applications biologiques et archéologiques ». Diplôme de doctorat en physique, Université de Tunis El Manar, 2014
- [50] M.E.A, BENAMAR. «Technique nucléaire de microanalyse Baie D'Alger, entre pollution et enjeux sanitaires » .Office de pollution des publications universitaires, 2002

Référence bibliographique

- [51] M.E.A BENAMAR. « Technique nucléaire de microanalyse Baie D'Alger, entre pollution et enjeux sanitaires ». Office de pollution des publications universitaires, 2002
- [52] ERAU, pauline. « L'EUCALYPTUS : Botanique, composition chimique, utilisation thérapeutique et conseil à l'officine ». Le diplôme d'état de docteur en pharmacie, université de MARSEILLE, 2019
- [53] A. METRO. « Les eucalyptus dans le monde méditerranéen ». Ed Masson et Cie, Parie. 1970
- [54] Paul Goetz., Kamel, Ghedira. « Phytothérapie anti-infectieuse » : Editeur –Springer .Parie, 2012
- [55] P. Quezel., S.Santa . « Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Tome II ». Edition du centre national de la Recherche scientifique. Paris. 1963
- [56]. SAM, Fetta. « Evaluation de l'environnement de la carrière de MEFTAH – BLIDA et son projet de réaménagement », diplôme de Master II en Sciences Agronomiques : Science de Sol, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2016
- [57]. MOKADEM, Tahar. «La cartographie des nitrates de la plaine de Mitidja ». Diplôme de Master en Hydraulique : Irrigation et drainage agricole, Ecole nationale supérieure d'hydraulique - ARBAOUI Abdellah, Algérie, 2016
- [58] Spectromètres Epsilon 3x. PANalytical. [Consulté le 02/10/2020]. <http://www.analytical.ru/epsilon3xl.pdf>.
- [59] Rapporte préliminaire, FUNDAPEL Blida 1,2019
- [60] I. Queralt, M. Ovejero, M. L. Carvalho, A. F. Marques, J. M. Llabrés. « Quantitative determination of essential and trace element content of medicinal plants and their infusions by XRF and ICP techniques ». X-Ray Spectrom. 2005, (34), p213–217
- [62] Kalonda et al. « Profil des métaux lourds contenus dans les plantes vivrières consommées couramment dans quelques zones minières de la province du Katanga ». J. Appl. Biosci. 2015. P 90 49 – 90 54
- [63] BELABED, SORAYA. « Contribution à l'Etude de la Pollution Métallique du Sol et de la Végétation au Niveau des Décharges publiques non Contrôlées à Mostaganem ». Thèse de

Référence bibliographique

doctorat en Science : Ecologie et Environnement, université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Algérie, 2018

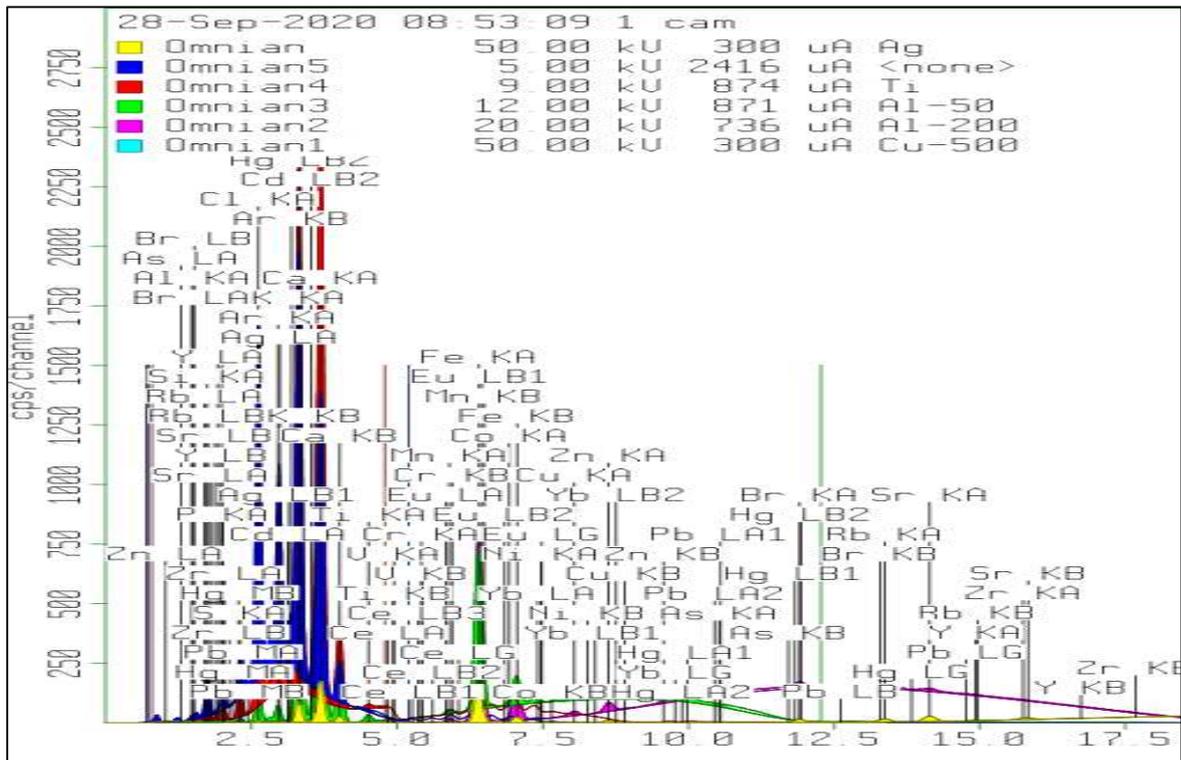
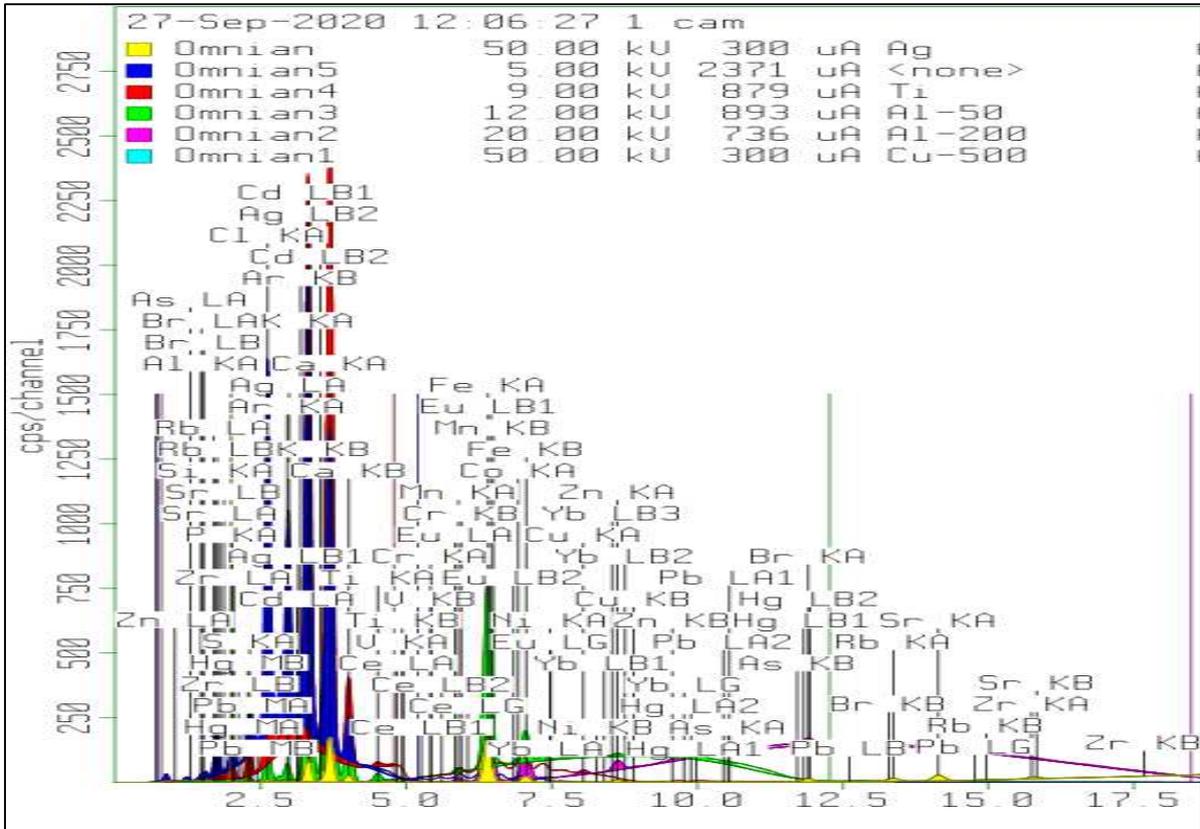
[64] Emmanuelle, BOULVERT. « Coefficients de transfert des éléments traces métalliques vers les plantes, utilisés pour l'évaluation de l'exposition .Application dans le logiciel MODUL'ERS ». Rapport rédigé pour le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2017

Annexes

Annexes :

Annexe 1

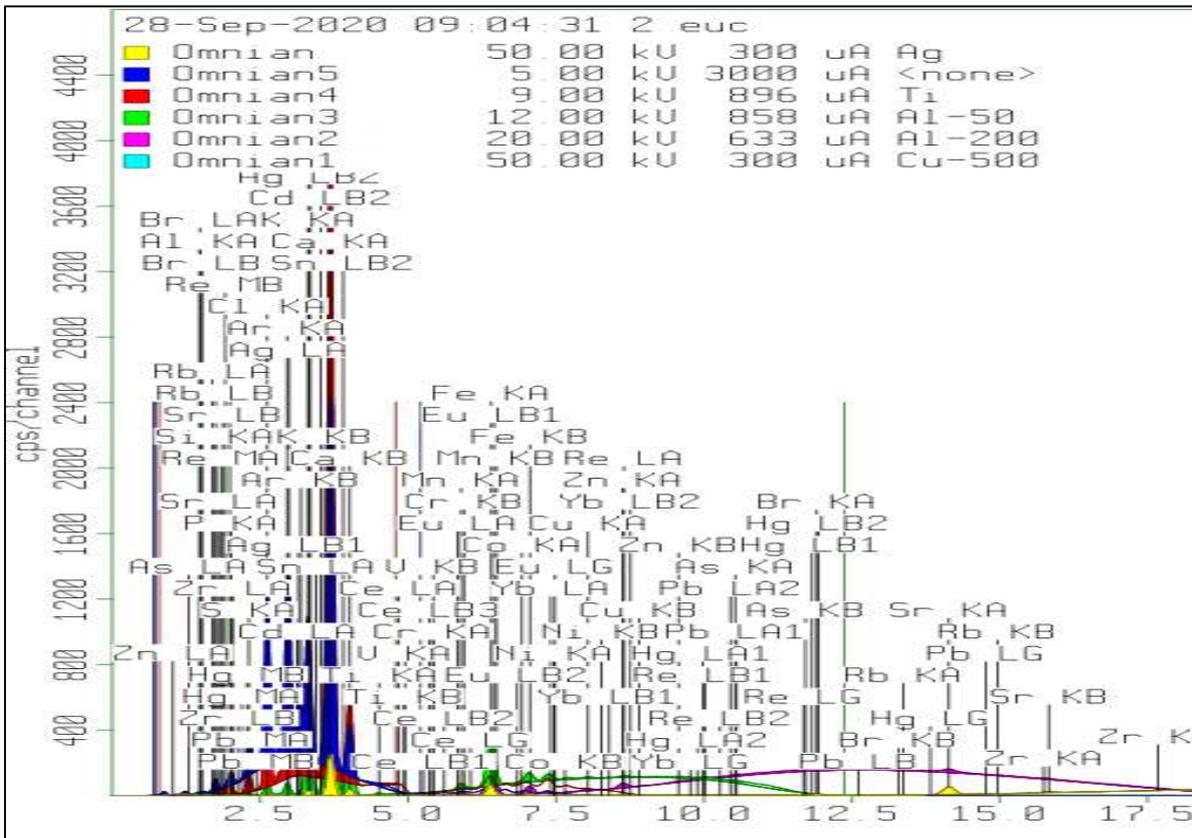
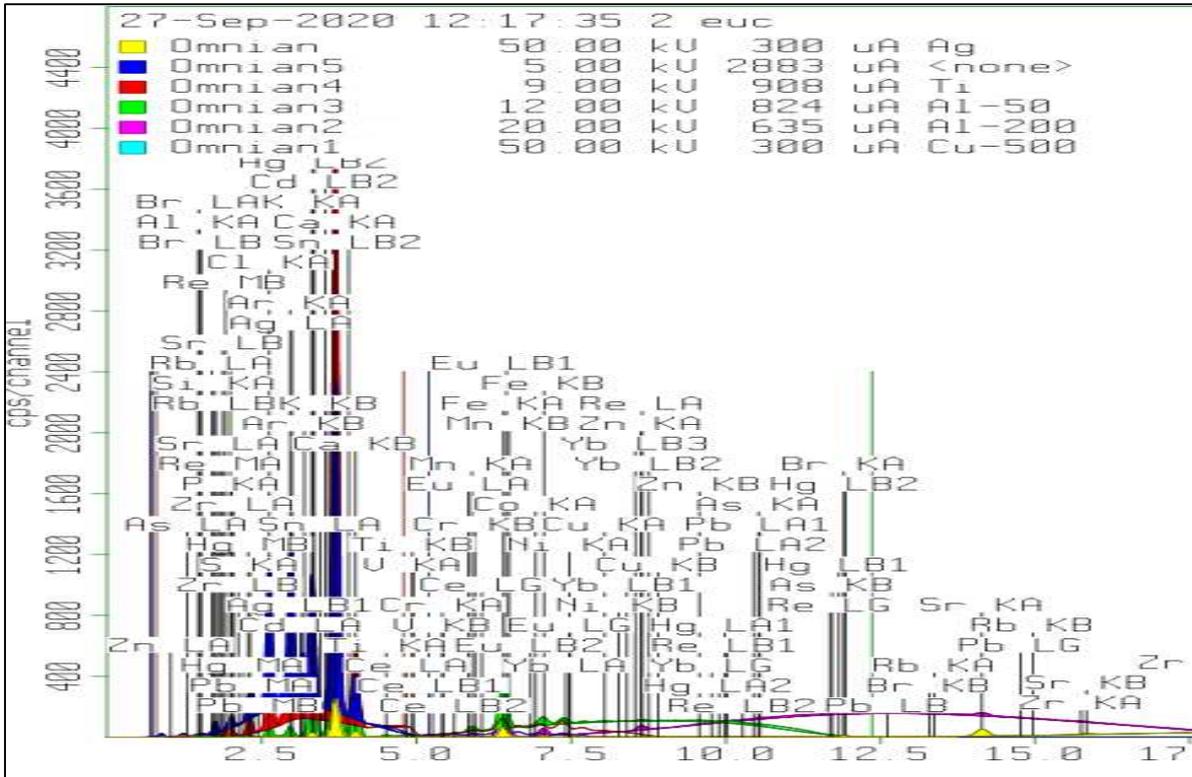
Les spectres XRF relatif à l'échantillon « Matricaire camomille 1 et 2 » respectivement.



Annexes :

Annexe 2

Les spectres XRF relatif à les échantillons « Eucalyptus globulus 1 et 2 » respectivement.



Annexes :

Annexe 3

Les concentrations moyennes des éléments dans les feuilles de *l'eucalyptus globulus 1 et 2*.

Eléments	Concentration des éléments		Unité
	Eucalyptus 1	Eucalyptus 2	
Al	5802,933 ± 272,166	4414 ,866 ± 146,43	Ppm
Si	1,6 ± 0,022	2,015 ± 0,0276	%
P	1,866 ± 0,026	2,052 ± 0,019	%
S	1,240 ± 0,0073	1,592 ± 0,0133	%
Cl	3,927 ± 0,021	7,86 ± 0,051	%
K	11,307 ± 0,054	39,019 ± 0,0616	%
Ca	76,046 ± 0,088	42,03 ± 0,093	%
Ti	2635,4667 ± 29,633	3995,3 ± 54,2	Ppm
V	31,4 ± 20,6	90,333 ± 52,666	Ppm
Cr	97,633 ± 29,033	393,266 ± 15,866	Ppm
Mn	4307,1 ± 8,3	1192,833 ± 18,166	Ppm
Fe	3,620 ± 0,003	3,896 ± 0,01	%
Co	91,633 ± 18,333	63,133 ± 34,733	Ppm
Ni	185,9 ± 85,8	125,266 ± 19,166	Ppm
Cu	337,266 ± 6,266	503,266 ± 30,866	Ppm
Zn	1101,5 ± 23,8	1119 ,5 ± 12,4	Ppm
As	25,233 ± 2,466	7,166 ± 10,633	Ppm
Br	598,966 ± 3,366	566,0666 ± 0,666	Ppm
Rb	47,966 ± 3,266	223,333 ± 7,033	Ppm
Zr	39,066 ± 7,333	103,066 ± 6,933	Ppm
Ce	163,8 ± 87	90 ± 10,2	Ppm

Annexes :

Annexe 4

Les concentrations moyennes des éléments dans les feuilles de *Matricaire camomille* 1et 2.

Elément	Concentration d'élément		Unité
	Matricaire camomille 1	Matricaire camomille 2	
Al	7976,133 ±67,733	5349,333 ±162,533	Ppm
Si	3,197 ±0,049	1,996 ±0,0126	%
P	1,276 ±0,0226	2,036 ±0,0183	%
S	1,078 ±0,0053	1,582 ±0,006	%
Cl	6,1693 ±0,0373	8,034 ±0,0123	%
K	28,822 ±0,0533	39,22 ±0,043	%
Ca	51,739 ±0,0416	41,802 ±0,0313	%
Ti	5108,233 ±15,533	3964 ±26,733	Ppm
V	83,5 ±35,1	101,833 ±17,633	Ppm
Cr	363,3 ±14,3	369,766 ±46,633	Ppm
Mn	1512,566 ±40,066	1202,633 ±39,033	Ppm
Fe	5,857 ±0,0186	3,905 ±0,004	%
Co	193,766 ±21,533	55,166 ±26,566	Ppm
Ni	77,433 ±8,866	87,266 ±19,133	Ppm
Cu	410,133 ±6,166	516,466 ±16,166	Ppm
Zn	996,733 ±8,166	1134,566 ±2,1333	Ppm
As	30,033 ±4,0666	12,066 ±6,333	Ppm
Br	555,9 ±4,1	592,7 ±1,2	Ppm
Bb	322,366 ±0,3667	223,633 ±1,933	Ppm
Pb	98,1 ±8,8	35,3 ±11,3	Ppm
Zr	136,6 ±10,3	60,5 ±10	Ppm
Hg	5,6 ±1,23	6,366 ±1,533	Ppm