

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Jijel

جامعة جيجل

Faculté des sciences exactes et de la nature et de la vie كلية العلوم الدقيقة و علوم الطبيعة والحياة

Département de la biologie animal et végétal

قسم البيولوجيا الحيوانية و النباتية

جامعة محمد الصديق بن يحيى
كلية علوم الطبيعة والحياة
المكتبة 1977
رقم الجرد :



**Mémoire de fin d'Étude En vue de l'obtention du
diplôme de Master
En biologie
Option : Toxicologie de l'environnement**

Thème :

**Utilisation des végétaux dans l'approche
écotoxicologique de la pollution atmosphérique
de la wilaya de JIJEL**

Membres du Jury:

President: M^{me} Ben fridja.L.

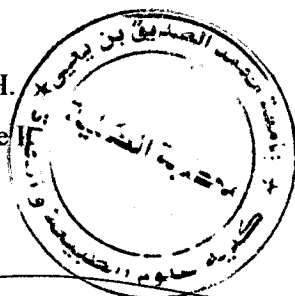
Examineur : M^{me} Lemzeri H.

Encadreur : M^{lle} Benterrouche H.

Présenté par :

Lalili Haniya

Lounis Nadjeh



Session juin 2011

Remerciement

C'est un grand honneur à nous de travailler avec M^{elle} Benterrouche Ilhem qui à été notre encadreur, nous la remercions pour sa bonté, sa générosité, sa patience et surtout pour les renseignements et les connaissances qu'elle nous a transmis.

Nous présentons aussi nos remerciements à tous les membres de cet honorables jury M^{em} Ben fridja L. et M^{eme} Lemzerie K. qui ont eu bien l'amabilité de siéger à cette soutenance et ont accepté de poser sur notre travail leur clairvoyant regard d'évaluateur.

Sans oublier M^{eur} Zelliche chef de circonscription de la commune de Tahir et M^{eur} Sedira chef de service de la gestion de la wilaya de Gijel qui nous ont aidé et facilité nos sorties sur terrains.

Dédicace

Pour tous ceux qui me sont chers,

Mes chers parents Ferhat, Souïd.

Mon marie Kichem , Mes frères Fateh et Ismail

Ma sœur Radja

La promotion de toxicologie de l'environnement

Mes amies



Nadjeh

Dédicace

*Je dédie ce mémoire À mon père et ma mère
pour leur soutien tout au long de mes études
À tous mes oncles, tantes, cousins et cousines ;
À mes frères, À mes sœurs ;
À mes amies ;
Mon faïencé ;
À tous mes collègues de l'éco toxicologie ;
et à tous ceux qui m'ont encouragé.*



Introduction.....	1
Partie1 : synthèse bibliographique	
Chapitre I: pollution atmosphérique.	
I.1. Les composantes de l'atmosphère.....	2
I.2. Les normes concernant les concentrations des polluants dans l'air ambiant.....	2
I.3. Origine des principaux polluants atmosphériques.....	3
I.4. Dispersion des polluants.....	3
Chapitre II : les métaux lourds.	
II.1 Définition.....	6
II.2. Sources des métaux lourds.....	6
II.2.1. Fond pédogéochimique naturel.....	6
II.2.2. Retombés atmosphériques.....	6
II.2.3. Sources anthropiques.....	7
II.4. Les métaux lourds dans le sol.....	7
II.5. Les métaux lourds et les végétaux.....	8
II.6. Transfert des métaux lourds vers les plantes.....	9
II.7. Facteurs contrôlant le transfert des métaux vers les plantes.....	10
II.8. Métaux lourds considérés dans l'étude.....	13
II.8.1. Le plomb.....	13

II.8.1.1. Propriétés physiques du plomb.....	14
II.8.1.2. Transfert du Pb du sol vers les plantes.....	14
II.8.2. Cadmium.....	14
II.8.2.1. Transfert du Cd du sol vers les plantes.....	15
II.8.3. Cuivre	15
II.8.3.1. Transfert du Cu du sol vers les plantes.....	15
II.8.4. Le Zinc.	15
II.8.4.1. Les propriétés physicochimiques.....	15
II.8.4.2. Transfert du Zn du sol vers les plantes.....	16

Chapitre III: les paramètres biochimiques considérés dans l'étude.

III.1. Pigments chlorophylliens.....	17
III.1.1. Localisation des pigments chlorophylliens.....	18
III.1.2. Rôle des chlorophylles.....	18
III.1.3. Chlorophylle et stress.....	19
III.2. La proline.....	19
III.2.1. Effet des facteurs interne sur l'accumulation de la proline.....	19
III.2.2. Effet des facteurs externes sur l'accumulation de la proline.....	20
III.2.3. Rôle de la proline.....	20
III.3. Sucres solubles.....	21
III.4. Les composés phénoliques.....	21
III.4. 1. Rôle des composés phénoliques.....	22

Partie2 : matériels et méthodes.

Chapitre IV : zone d'étude.

IV.1. Situation géographique.....	23
IV. 2. Géologie et lithologie.....	24

IV.3. Climat.....	24
IV.3.1. La pluviométrie.....	24
IV.3.2. Les variations saisonnières.....	25
IV.3.3. La température.....	25
IV.3.4. Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	27
IV.3.5. Le vent.....	28
IV.4. Aperçu sur l'état de l'environnement de la zone d'étude.....	28
IV.4.1. Zone industrielle.....	29
IV.4.2. Evolution du parc automobile dans la wilaya de Jijel.....	30
 Chapitre V: Matériels et méthodes.	
V.1. Méthodologie.....	31
V.1.1. Choix du matériel végétal.....	31
V.1.1.1. <i>Pistacia lentiscus</i>	31
V.1.1.2. <i>Inula viscosa</i>	32
V.1.2. Méthode de prélèvement.....	33
V.1.2.1. Méthode de prélèvement du sol.....	33
V.1.2.2. Méthode de prélèvement de la végétation.....	33
V.2. Techniques d'analyse.....	34
V.2.1. Analyses physicochimiques du sol.....	34
V.2.1.1. Analyse granulométrique:.....	34
V.2.1.2. Mesure de pH:	34
V.2.1.3. Mesure de la conductivité.....	34
V.2.1.4. Capacité d'échange cationique.....	34
V.2.1.5. Dosage du calcaire total.....	35
V.2.1.6. Dosage de la matière organique.....	35

VI.2.1.4. Accumulation de Cd chez les deux espèces en fonction des stations.....	55
VI.2. Teneur en eaux.....	57
VI.3 Accumulation de chlorophylle.....	58
VI.4. Accumulation de la proline.....	60
VI.5. Accumulation des sucres solubles.....	62
VI.6. Accumulation de l'HPCD (produits de peroxydation lipidique).....	63
VI.7 Quantification des composés phénoliques.	65
VI.7.1 Accumulation des phénols totaux.	65
VI.7.2. Accumulation des flavonoïdes.....	66
Conclusion.....	68
Références bibliographique.....	70
Annexes.	

Tableau 1 : valeurs guides de l’OMS. Comparaison entre les recommandations de 1987 et celles de 1999 (JAVIER et JOËLLE, 2001).....	4
Tableau2 : Composition moléculaire et caractéristiques des principaux polluants de l’air (Makeenzie et al., 2000).....	5
Tableau3 : Flux annuel de ML en France d’après ADLER (2001).....	7
Tableau4 : Concentration moyenne de quelques métaux lourds et leur teneur totale tolérable dans les sols (COTTENIE, 1983).....	7
Tableau 5 : Facteurs de transfert des métaux lourds du sol aux plantes (BLIEFERT et PERRAUD, 2009).....	10
Tableau 6 : La solubilité des métaux lourds (ppm) dans le sol en fonction du Ph (COTTENIE et al., 1980).....	11
Tableau7 : Concentrations maximales recommandées (ppm) des ML dans les sols selon la CEC (GIRON et COLI, 1992 in WEBBER et SINEH, 1999).....	12
Tableau 8 : Teneur limite maximum (normale) dans l’horizon superficiel des sols en fonction de leur texture (TEMMERMEAN et al., 1982 cités par BIELDERS et VANCLOOSTER, 2001).....	13
Tableau9 : Propriétés physiques du plomb (FLACY et al., 1998 ; GERARD MIQUEL, 2001).....	14
Tableau10 : les caractéristique physicochimiques du Zinc (NORBERG et al., 2005).....	16
Tableau 11 : moyenne mensuelles des précipitations.....	25
Tableau12 : Distribution des précipitations selon les saisons (O.N.M. 1999-2008).....	25
Tableau 13 : Moyenne mensuelles des températures maximales et minimales (O.N.M., 1999 - 2008).....	26
Tableau 14 : Types d’unités industrielles avec les types de déchets au niveau de la zone industrielle d’Ouled Salah (Taher) selon les résultats de l’enquête.....	29
Tableau15 : le nombre des véhicules enregistré au niveau de la wilaya de Jijel au cours des années (1990-2010) (Selon le bureau des cartes grises, 2011).....	30
Tableau 16 : Répartition des différents types de texture en fonction des classes de textures HENIN,1969 in ENITA, 2000.....	40

Tableau 17: Appellation simplifiée des classes de sols proposée par la station des recherches agronomiques (Gagnard et al., 1988).....	41
Tableau 18 : Classe du CaCO ₃ total. Gagnard et al., 1988.....	44
Tableau 19 : Classes d'appréciation de la matière organique du sol en % de terre sèche. GAGNARD et al. (1988).....	46
Tableau 20 : Facteur de transfère du Zn du sol vers les plantes dans les diffères stations.....	50
Tableau21 : dépôts atmosphériques du Zn sur les feuilles des plantes dans les stations.....	51
Tableau22 : Facteur du transfère du Pb du sol vers les plantes dans les diffères stations.....	52
Tableau23 : Dépôts atmosphériques du Pb sur les feuilles des plantes dans les différentes stations.....	53
Tableau24 : Facteur du transfère du Cu du sol vers les plantes dans les stations.....	54
Tableau25 : Dépôts atmosphériques du Cu sur les feuilles des plantes dans les stations....	55
Tableau26 : Facteur du transfère du Cd du sol vers les plantes dans les stations.....	56
Tableau27 : Dépôts atmosphériques du Cd sur les feuilles des plantes dans les stations....	57

Figure1 : Trajet des métaux lourds dans l'environnement (Claud et al.,1998).....	9
Figure 2 : Chlorophylle a.....	17
Figure3 : Chlorophylle b.....	17
Figure 4 : La proline.....	19
Figure5 : Carte de situation géographique de Jijel	23
Figure 6 : Variation des précipitations moyennes mensuelle de la période de 1998 à 2008.....	25
Figure7 : Variation des températures moyennes mensuelles de la période de (1998 à 2008).....	26
Figure 8 : Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la région de Jijel.....	27
Figure 9 : Direction des vents.....	28
Figure10 : <i>Pistacia lentiscus</i>	31
Figure11 : <i>Inula viscosa</i>	32
Figure12 : Variations des valeurs du pH du sol en fonction des stations étudiées.....	
Figure13 : Variation de la conductivité électrique selon les stations.....	41
Figure 14 : Variation de la capacité d'échange cationique (meq/100g) en fonction des stations.....	43.
Figure15 : Variation de calcaire total des sols des stations étudiées.....	44
Figure16 : Distribution de la matière organique dans les quatre stations.....	45
Figure17 : variation de la teneur en Zn du sol en fonction des stations étudiées.....	46
Figure18 :Variation de la teneur en Pb du sol en fonction des stations étudiées.....	47
Figure19 :Variation de la teneur en Cd du sol en fonction des stations étudiées.....	47
Figure20 :Variation de la teneur en Cu du sol en fonction des stations étudiées.....	48
Figure21 : variation de la concentration du Zn chez les deux espèces en fonction des stations.....	49
Figure 22 : variation de la concentration du Pb chez les deux espèces en fonction de stations.....	51

Figure 23 : variation de la concentration du Cu dans les deux espèces en fonction des stations.....	53
Figure24 : variation de la concentration du Cd dans les deux espèces en fonction des stations.....	55
Figure 25 : Teneurs en eau pour les deux espèces selon les stations.....	57
Figure 26 : Variation des teneurs en chlorophylles en fonction des stations étudiées.....	58
Figure 27 : Variation du rapport Cha/Chb en fonction des stations étudiées.....	59
Figure 28 : Variation des teneurs en proline foliaire chez les deux espèces en fonction des stations.....	60
Figure 29 : Variation des teneurs en sucres solubles foliaire chez les deux espèces en fonction des stations.....	62
Figure 30 : Variation de l'HPCD foliaire chez les deux espèces en fonction des stations.....	63
Figure31 : Variation des phénols totaux foliaire chez les deux espèces en fonction des stations.....	65
Figure32 : Variation des teneurs en flavonoïdes foliaire chez les deux espèces en fonction des stations.....	66

Liste des abréviations

A : Argile

As : Arsenic.

C° : degré celsius.

C : Carbone.

Cd : Cadmium.

CE : Conductivité électrique

CEC : Capacité d'échange cationique

Cha : Chlorophylle b.

Chb : Chlorophylle a.

CdCl₂ : chlorure de cadmium

Cl : Chlore.

Co : Cobalt.

Co₂ : dioxyde de carbone.

Cr : Chrome.

Cu : Cuivre.

Do : Densité optique.

F : Facteur de transfert.

FL : Fusilles lavés.

FNL : Fusilles non lavés.

g : gramme.

µg : microgramme.

h : heure.

Hg : Mercure.

H₂O : eau.

H₂S: hydrogène sulfureux.

Kg : Kilogramme.

L : Limon.

Lc : Limon caillouteux.

LF :Limon fin.

LG :Limon grossier.

m³ : mètre cube.

m : minimum.

M : Maximum.

µm : micromètre.

mf: matière fraîche.

ml : millilitre.

Ml : métaux

mm : millimètre.

mn : minute.

mo : matière organique.

Mp : Matière particulaire.

N₂ : azote.

(NH₄)₂CrO₄ : bichromate d'ammonium.

Ni : Nickel.

nm : nanomètre.

No : oxyde nitrique.

No₂ : peroxyde d'azote.

O₂ : Oxygène.

O₃ : Ozone.

OMS : Organisation Mondial de la Santé.

ONM: Office National de Météorologie.

PH : potentiel hydrique.

pf : poids de matière fraîche.

pb : plomb.

Pbp : plomb *pistacia*.

Pbi ; plomb *inula* .

ps : poids de matière sec.

K₂Cr₂O₇: chromate de potassium.

R : Répétition.

S : Sable

µs : micro

So₂ : Anhydride sulfureux.

St : Station.

T : Température.

TE : Teneur en eau.

TI : Titane.

V : Vanadium.

Zn : Zinc

Introduction :

La pollution atmosphérique est une notion qui décrit une altération de la qualité et de la pureté de l'air, par une ou plusieurs substances ou particules présentes à des concentrations et durant des temps suffisants pour créer un effet toxique ou éco toxicologique. Elle constitue aujourd'hui un problème environnemental très complexe qui se pose à l'échelle locale et globale.

En zones urbaines, les recherches épidémiologiques démontrent toujours les impacts de la pollution de l'air sur la santé humaine. Les polluants atmosphériques ont aussi des effets nocifs sur les écosystèmes et l'environnement.

La surveillance de la pollution de l'air et de ces effets sur les écosystèmes constitue aujourd'hui une priorité pour les politiques de protection de l'environnement et de la santé humaine. Dans ce contexte, la bio surveillance par l'utilisation des plantes bio indicatrices offre de nombreux avantages comparativement aux analyses physico-chimiques de l'air.

La pollution atmosphérique cause beaucoup de dégâts sur les végétaux n'importe qu'elle soit son origine. Pour cela, nous étudierons les conséquences écotoxicologiques des dépôts de poussières de quelques éléments traces métalliques dans des conditions environnementales naturelles et sous des contraintes urbaines et industrielles.

Notre objectif est de connaître les effets de ces retombées atmosphériques par l'étude des variations spatiales de chaque paramètre entre les différentes stations en comparaison avec une station témoin.

partie 1

synthèse géographique

Chapitre I

I.1. Les composantes de l'atmosphère :

L'air n'est jamais propre ou pur, dans le sens où il ne contiendrait que de l'azote, de l'oxygène, du gaz carbonique, de l'eau et des gaz rares. Déjà avant l'existence de l'homme, l'atmosphère contenait des composés, que nous décrivons aujourd'hui comme des polluants de l'air. De tels polluants naturels provenaient par exemple de l'activité volcanique et de la végétation ou résultaient des feux de forêt.

Les principaux constituants de l'air sont l'azote, N_2 (teneur volumique 78,084%) et l'oxygène, O_2 (20,946%), L'argon avec 0,934% est un constituant secondaire. Ces trois éléments constituent ensemble une concentration volumique de 99,964%, les autres éléments avec une teneur volumique inférieure à 0,04% constituent les gaz mineurs : le dioxyde de carbone, CO_2 , avec une teneur d'environ 380 ppm occupe le premier rang.

La composition de l'atmosphère terrestre n'est pas la même en tous les points ni au cours du temps ; elle peut dépendre de nombreux facteurs, entre autres :

- * de l'altitude (exemple : la répartition verticale des CFC),
- * de la latitude (exemple : la répartition horizontale du CO_2),
- * de la période prise en compte au cours d'une journée (exemple : les variations de la teneur volumique en ozone au cours d'une journée),
- * du domaine concerné (exemple : la mer par rapport au continent).

Malgré leur faible concentration, quelques gaz mineurs peuvent avoir des effets significatifs sur l'environnement et les plantes et ou les hommes. (BLIEFERT et PERRAUD, 2009).

I.2. Les normes concernant les concentrations des polluants dans l'air ambiant :

A partir des années 1970, la plus part des pays industrialisés ont développé des normes de qualité de l'air dans le cadre de leurs politiques environnementales. Ces normes qui fixent des valeurs limites, ont pour but la protection de la santé humaine et de l'environnement. L'organisation mondiale de la santé, (OMS) fixe des valeurs guides élaborées à partir d'études épidémiologiques, toxicologiques et expérimentation cliniques, et qui constituent la référence principale pour la fixation des normes de qualité de l'air. La comparaison entre les valeurs publiées dans le guide de l'OMS de 1987 et celles de la version révisée de 1999 donne une idée de l'évolution des connaissances scientifiques sur ce sujet. (tableau1) (JAVIER et JOËLLE, 2001).

I.3. Origine des principaux polluants atmosphériques :

(CLAUD et al, 1998) considère qu'il ya trois grandes sources de polluants atmosphériques:

- L'industrie : cimenteries, raffineries, usines chimiques, sidérurgie, papeteries...etc.
- Les voitures et poids lourds : moteurs à essence et surtout moteurs diesel.
- Le chauffage : chaudières domestiques, industrielles, centrales thermiques.

A ces trois grandes sources viennent s'ajouter :

- Des substances rejetées dans l'atmosphère par les volcans, les océans... etc.
- Des composés chimiques longtemps utilisés dont on ignorait le comportement à long terme tels que les chlorofluorocarbones...etc.
- La maîtrise non complète de mise en œuvre de certain technique accompagnant les réactions nucléaires (CLAUD et al, 1998).

I.4. Dispersion des polluants :

La dispersion des polluants émis dépend en priorité des conditions météorologiques. Cette dispersion s'effectue essentiellement dans la couche limite atmosphérique, couche la plus troublée, agitée sans cesse par des mouvements turbulents horizontaux et verticaux.

On peut citer plus d'une douzaine de facteurs météorologique qui interviennent soit directement, soit indirectement dans le transport et la dispersion des polluants. Les trois facteurs prédominants sont les suivants :

- La vitesse et la direction du vent.
- La température.
- L'humidité (OUCHIHA, 2008)

Les polluants se retrouvent dans l'atmosphère et suivant les conditions météorologiques ils se dispersent de différentes façons :

-Si la pollution est faible et s'il n'ya pas de vent, la dispersion est dite normale et les gaz se dispersent en altitude.

-Si la pollution est forte et sous l'action du vent, les polluants retombent en panache.

-Si la source de pollution est entre la ville et la campagne, à la tombée du jour, la ville constitue un îlot de chaleur par rapport à la campagne. L'air chaud s'élève au dessus de la ville et crée une dépression dans laquelle s'infiltré l'air frais de la campagne. Cet air frais va entrainer les pollutions environnementales de la ville.

-Sous l'action de la lumière et en présence d'air humide, les oxydes d'azote et de soufre favorisent la formation de pluies acides (CLAUD et al., 1998).

Tableau 1 : Valeurs guides de l'OMS. Comparaison entre les recommandations de 1987 et celles de 1999 (JAVIER et JOËLLE, 2001).

Polluant	Période	1987	1999
O₃ (µg/m³)	1h	150 - 200	-
	8h	100 - 120	120
NO₂ (µg/m³)	1h	400	200
	24 h	150	-
	1 an	-	40
SO₂ (µg/m³)	10 mn	-	500
	1 h	350	-
	24 h	125	125
	1 an	50	50
CO (mg/m³)	15 mois	-	100
	30mois	-	60
	1 h	30	30
	8 h	10	10
MP10(matières particulaires dont le Ø<10) (µg/m³)	24 h	70	-
	1 an	50	-
Benzène (µg/m³)	1 an	-	5 - 20
Plomb (µg/m³)	1 an	0.5 - 1.0	0.5

Tableau2 : Composition moléculaire et caractéristiques des principaux polluants de l'air
(MAKEENZIE et al., 2000)

Polluant	Composition	Caractéristiques
Anhydride sulfureux	SO ₂	Incolore, gaz lourd, soluble dans l'eau avec une odeur irritante.
Particules	variables	Particules solides ou gouttelettes liquides incluant vapeurs, fumées, poussières et aérosols.
Peroxyde d'azote	NO ₂	Gaz brun rougeâtre, légèrement soluble dans l'eau.
Hydrocarbures	Variable	Nombreux composés d'hydrogène et de carbone.
Oxyde de carbone	CO	Incolore, gaz inodore toxique, légèrement soluble dans l'eau.
Ozone	O ₃	Gaz bleu pale, soluble dans l'eau, instable, odeur douceâtre.
Hydrogène sulfureux	H ₂ S	Gaz incolore, avec une odeur repoussante « d'œuf pourris », légèrement soluble dans l'eau
Fluorures	variable	Irritants, incolore, gaz solubles dans l'eau.
Oxyde nitrique	NO	Gaz incolore, légèrement soluble dans l'eau.
Plomb	Pb	Métallique, peut exister dans des composés chimiques variés avec différentes caractéristiques.
Mercure	Hg	Métallique, peut exister dans des composés chimiques variés avec différentes caractéristiques.

Chapitre II

II.1 Définition :

Les métaux lourds sont des métaux ayant une densité supérieure à 5 g/cm^3 . Ils peuvent se trouver dans l'air, dans l'eau et dans le sol. Comme le pétrole, le charbon et le bois .

En principe, certains métaux, comme aussi les autres éléments, peuvent être essentiels pour un organisme, par exemple une plante ou un animal <<ou être non nécessaires>>. Ces métaux ne sont pas nécessaires à la vie, mais ils perturbent souvent le cours normal des processus métabolique, même à l'état de traces à l'exception de faibles doses tolérables, de tels métaux ont souvent un effet toxique (BLIEFERT et PERRAUD, 2009)

II.2. Sources des métaux lourds :

Les sources de la pollution métallique déterminent l'existence, la nature et le niveau général de la pollution , le nombre, l'espèce, l'emplacement et la capacité des sources sont les caractéristiques dont dépendent d'une manière fondamentale la nature et l'intensité de la pollution (MATEI, 1974).(tableau3).

II.2.1. Fond pédogéochimique naturel :

Les sols contiennent naturellement des métaux lourds(ML) qui proviennent directement de l'altération et de l'érosion des roches mères et des matériaux géologiques.

II.2.2. Retombés atmosphériques :

Les retombés atmosphériques (poussières, aérosols) désignent une autre source naturelle d'apport des éléments traces. Ils sont issus principalement de l'activité industrielle et de la circulation des différents moyens de transport (PERRONO, 1999).

***l'industrie :** les retombés atmosphériques correspondent à l'émission atmosphérique de micropolluants par les principales sources suivantes : les usines d'incinération, les hauts fourneaux, la production de brique, la combustion du charbon et du pétrole (PERRONO, 1999).

***les automobiles :** ces sources concernent essentiellement le transport (routier, fluvial) (STEPHANI, 2000). Les particules qui résultent de l'usure des pneus sont aussi une cause d'accroissement des teneurs en zinc et cadmium des sols et de la végétation (PERRONO, 1999).

II.2.3. Sources anthropiques :

Dans certaines parcelles, la présence marquée de métaux lourds est directement liée à l'activité humaine (MIQUEL, 2001). Les métaux lourds (ML) sont susceptibles d'être apportés par de nombreux composés utiles (engrais, médicaments, détergents...). Ils peuvent également provenir de nos déchets urbains (eau usées, boues d'épuration, ordures ménagères) ; agricoles (fumiers, lisiers...).

Tableau 3: Flux annuel de ML en France d'après ADLER (2001)

	Cu	Zn	Cd	Pb
Totale en millier de tonne	220	760	20	380
Déchets agricoles	55%	61%	20%	12%
Déchets urbaine	28%	20%	38%	19%
Engrais	1%	1%	2%	1%
Retombés atmosphériques	16%	18%	40%	68%

II.4. Les métaux lourds dans le sol :

Dans les conditions naturelles, les métaux lourds existent déjà à l'état de trace dans les sols. Ceci est mis en évidence dans le tableau 5 où sont portées ; la concentration moyenne des principaux métaux lourds et leur teneur tolérable dans les sols (COTTENIE, 1983).

Tableau 4 : Concentration moyenne de quelques métaux lourds et leur teneur totale tolérable dans les sols (COTTENIE, 1983).

Elément	Concentration moyenne (ppm)	Teneur totale tolérable (ppm)
Zn	50	300
Ni	50	100
Cu	20	100
Pb	10	100
As	10	50
Co	5	50
Cd	0.5	5
Hg	0.1	5

De nombreux facteurs physico-chimiques peuvent altérer le comportement des

substances dans le sol et la distribution entre eau et sol. La taille des particules du sol et la teneur en matière organique influent sur la quantité de substance adsorbée sur les particules. La température, la salinité, la concentration en oxygène et le pH sont des facteurs déterminants du devenir et de la toxicité des substances (FORBES et al., 1997).

Dans le sol, la concentration en métaux lourds varie avec la profondeur. En raison de leur très forte liaison avec les différentes phases solides (argile, carbonate de calcium,...) micro éléments issus d'apports extérieurs qui peuvent s'accumuler en surface, leur concentration va donc décroître avec la profondeur. Dans le cas des sols qui se sont formés à partir de roches mères métallifères, On pourra constater un accroissement de la teneur de ces derniers avec la profondeur (SOLDA, 1988).

La connaissance du comportement des métaux lourds dans un sol renseigne sur sa mobilité, c'est à dire de son aptitude à passer d'un compartiment du sol à un autre, où la solution du sol correspond au compartiment à partir du quel s'effectuent les transferts vers les plantes (MOREL, 1997)

II.5. Les métaux lourds et les végétaux:

Les plantes peuvent accumuler les métaux lourds par l'intermédiaire de plusieurs voies, les plus importantes sont le système racinaire et la voie foliaire, les éléments traces de la solution du sol sont transportés par la diffusion vers la rhizosphère, qui est la zone de sol proche de la racine, une fois dans la rhizosphère, ils sont prélevés par la racine (KABATA et PENDIAS, 1991 cités par MARTIN et FERGUSON, 1997).

L'exposition à une pollution atmosphérique par les métaux lourds est connue pour provoquer des effets dommageables, à court ou à long terme, aux systèmes vivants (écosystèmes terrestres et aquatiques).

D'une manière générale, tous les végétaux sont des accumulateurs de métaux, qu'ils soient aquatiques (algues) ou terrestres (lichens, champignons, mousses, feuilles des arbres, légumes...). Premier maillon de la chaîne alimentaire, les végétaux sont le point de départ du transfert des métaux dans cette chaîne, et peuvent ensuite se concentrer de manière parfois importante dans les échelons trophiques supérieures (bio magnification) (Claud et al., 1998).

Les plantes, comme les invertébrés, réagissent de façon différente selon les variétés. Certaines sont peu ou pas tolérantes et meurent au contact des métaux lourds. D'autres ont des réactions de défense, et freinent l'absorption en sécrétant des acides qui vont augmenter le pH

et par conséquent réduire la mobilité des éléments traces. D'autres enfin, sont tolérantes aux métaux, et même les accumulent, les concentrent. Ces plantes sont dites « hyper accumulatrices » et métallophiles.

La bioaccumulation fait référence à l'accumulation progressive d'un polluant dans un même organisme suite à des expositions répétées. Plus la concentration d'un élément est importante dans la solution du sol, plus la plante peut prélever cet élément.

II.6. Transfert des métaux lourds vers les plantes :

Il y a de nombreux produits industriels qui polluent les sols. Alors qu'en général les produits de l'agrochimie agissent sur les plants par le sol, les polluants se trouvant dans les déchets, dans les eaux usées et dans les rejets gazeux peuvent avoir un effet direct supplémentaire sur les plantes, les animaux et les hommes, par le biais de l'atmosphère (figure1).

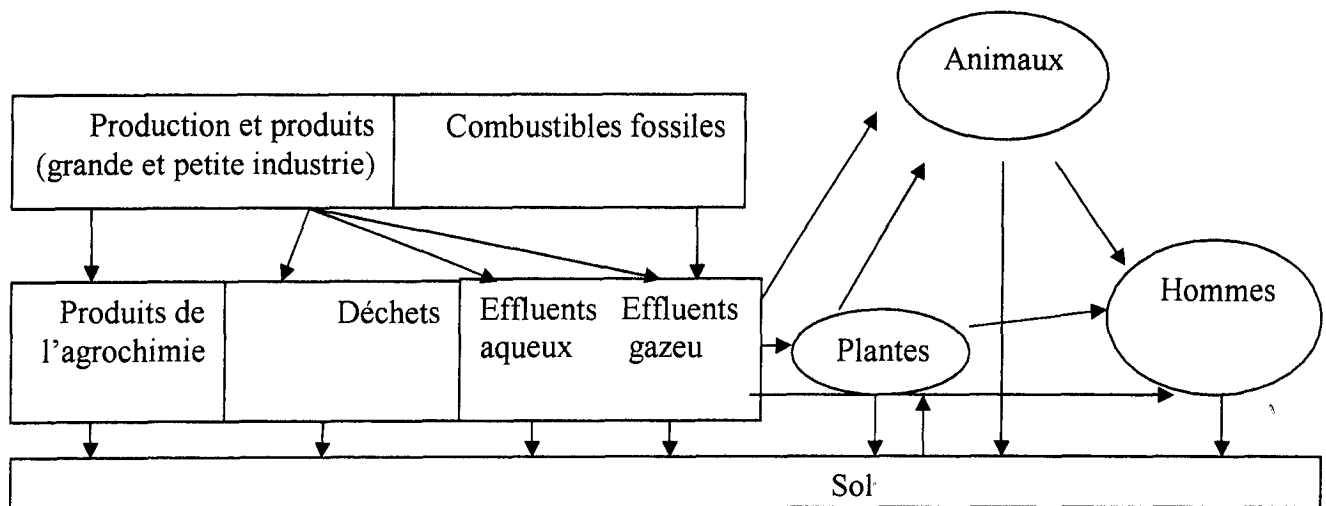


Figure1 : Trajet des métaux lourds dans l'environnement (Claud et al., 1998).

En général, lorsque les teneurs en métaux lourds et autres polluants augmentent dans les sols, ces teneurs augmentent aussi dans les plantes. Le transfert des métaux lourds des sols aux plantes peut s'évaluer à l'aide du facteur de transfert (F), défini comme le quotient de la concentration des métaux dans les plantes sur la concentration des métaux dans le sol (les deux concentrations étant relatives à la masse sèche):

$$F = \text{concentration du métal dans la plante} / \text{concentration du métal dans le sol.}$$

Les teneurs en métaux lourds peuvent varier selon la variété, l'écotype, la race, et même l'individu. Elles sont aussi fonction de l'âge et de l'organe végétal (SHALLARI, 1997).

D'après (BLIEFERT et PERRAUD, 2009), le transfert des métaux lourds du sol aux plantes diffère d'un métal à l'autre. Plus les plants absorberont facilement les ions métalliques du sol, plus le facteur F sera grand. Ce facteur ne donne qu'un ordre de grandeur pour décrire le transfert de certains métaux lourds du sol dans les plantes. Les teneurs en métaux lourds dans les plantes et leur sol peuvent, selon l'élément concerné, afficher une différence pouvant atteindre un facteur 1000; les valeurs F se situent entre 0,01 et 10. Par rapport à ce transfert sol-plantes, le plomb et le mercure sont peu mobiles alors que par exemple le cadmium l'est beaucoup plus (Tableau 6)

Tableau 5 : Facteurs de transfert des métaux lourds du sol aux plantes (BLIEFERT et PERRAUD, 2009)

Elément	Facteurs de transfert (F)	Mobilité des ions
Pb, Hg, Co, Cr	0.001... 0.1	Faible
Ni, Cu	0.1... 1.0	modérée
Zn, Cd, Tl	1.0... 10	bonne

II.7. Facteurs contrôlant le transfert des métaux vers les plantes :

Le prélèvement des éléments traces par les racines est sous l'influence de facteurs liés au sol, à la plante, au climat, et aux interactions entre les éléments eux-mêmes.

Parmi les facteurs liés au sol, le pH, la capacité d'échange cationique sont les plus importants (ANNE et ISABELLE, 2005).

*le pH :

La solubilité d'un élément trace dépend tout d'abord du pH. Un pH bas augmente généralement le prélèvement des éléments traces, car l'ion H^+ a une plus grande affinité pour les charges négatives sur les colloïdes, et rentre alors en compétition avec les ions métalliques vis-à-vis de ces sites, ce qui induit un relâchement de éléments traces dans l'eau des pores du sol (ANNE et ISABELLE, 2005).

Plus le sol est acide, plus le transfert de Cd, Cu, Pb, Zn vers la plante est important, car ces éléments sont plus solubles (tableau7). En effet, les réactions de précipitation et

d'absorption augmentent avec le pH. Les fertilisations acidifiantes, comme un apport d'azote sous forme d'ammonium, provoquent un accroissement du transfert vers la plante (WU, 1989 in ANNE et ISABELLE, 2005). De même l'apport de soufre en tant que fongicide conduit à l'acidification du sol, et un transfert accru des métaux lourds vers les végétaux (LOUÉ, 1986 in ANNE et ISABELLE, 2005).

Le transfert du Cd et du Zn est principalement contrôlé par le pH, le prélèvement de ces éléments traces n'augmente pas de manière significative quand le pH diminue de 6.5 à 6, mais par contre augmente fortement en dessous de 6 (US-EPA, 1989 in ANNE et ISABELLE, 2005).

La solubilité du Cu est moins affectée par le PH que celle des autres éléments, car deux tendances inverses se contrecarrent. D'un côté le Cu est un métal qui tendance à être plus soluble en milieu acide, et de l'autre il est complexé par les matières organiques solubles pour des pH Supérieurs à 6.5 (BARBER, 1995 in ANNE et ISABELLE, 2005).

Quand le pH du sol est supérieur à 7, la solution du sol contient surtout des carbonates et des bicarbonates et la plupart des MLne sont pas bio disponibles pour les plantes (BARGAGLI, 1998 in ANNE et ISABELLE, 2005).

Selon VERGINIE (2001), l'ordre décroissant de mobilité en pH acide est le suivant:

Zn, Cd, Hg, Ni > Pb, Cr, Cu > Se.

Tableau6: La solubilité des métaux lourds (ppm) dans le sol en fonction du pH (COTTENIE et al., 1980).

Type du sol	pH de la solution du sol	Métaux lourds (ppm)			
		Cu	Pb	Zn	Cd
Sol non pollué	5.7	Tr	Tr	0.1	Tr
	4	Tr	Tr	2.2	Tr
	2	5.8	0.4	15	0.2
	0.5	14	9.6	22	0.3
Sol pollué	6.1	1.0	Tr	0.2	Tr
	4	98	1.7	56	1.4
	2	1430	183	272	5.2
	0.5	2445	530	410	7.1

Tr: traces

* Capacité d'échange cationique (CEC):

La capacité d'échange cationique est un paramètre global, qui représente la quantité maximale de cation de toutes sortes qu'un poids déterminé de sol est capable de retenir ou, autrement dit, le total des échanges négatives du sol disponibles pour la fixation de cations métalliques ou d'ions H^+ . Pour les pays tempérés, les cations dissous dans la solution du sol sont attirés par des composants chargés négativement (principalement, les argiles, les oxydes de métaux et la matière organique qui sont les contributeurs les plus importants à la CEC du sol) (BARGAGLI, 1998 in ANNE et ISABELLE, 2005).

Une CEC élevée veut dire que la possibilité de fixation sur les charges négatives augmente. Plus la CEC est élevée, plus les cations métalliques (Cd, Pb, Cr, Zn, Hg, Cu, Ti) sont adsorbés ou complexés par les matières organiques, les argiles et les oxydes, donc moins assimilables par les plantes.

Tableau 7: Concentrations maximales recommandées (ppm) des ML dans les sols selon la CEC (GIRON et COLI, 1992 in WEBBER et SINEH, 1999).

Ni	Pb	Zn	Cr	Cd	Hg	CO	Cu	CEC
60	70	160	120	2.4	0.14	34	50	CEC>15
30	35	80	60	1.2	0.17	17	25	CEC<15

*Texture des sols:

L'absorption des métaux lourds par les plantes est aussi influencée par la nature du sol, elle varie en fonction de l'ordre des particules. La fraction fine du sol joue un rôle important dans l'absorption des ML en raison des propriétés colloïdales qu'elle possède (DUCHAUFOR, 1977). Donc, les sols sableux permettent un transfert des éléments traces vers les plantes plus élevé que les sols plus lourds (plus argileux) qui rend les métaux lourds plus solidement liés dans le sol (ANNE et ISABELLE, 2005).

Tableau8: Teneur limite maximum (normale) dans l'horizon superficiel des sols en fonction de leur texture (TEMMERMEAN et al., 1982 cités par BIELDERS et VANCLOOSTER, 2001).

Métaux lourds	S,LS	SL	L	Lc,A
Cd	1	1	1	1
Cu	15	25	25	30
Pb	50	50	50	50
Zn	100	100	150	200

S, sable; LS, limono-sableux; SL, sablo-limoneux; L, limoneux; Lc, limon caillouteux; A, argileux.

Ce tableau montre que la teneur limite maximum des métaux lourds (Cu, Zn) varie très largement selon la texture du sol, par contre elle est stable pour le Cd et le Pb.

***Matière organique:**

La matière organique affecte la mobilité de la plupart des métaux, en constituant avec eux des complexes organo-minéraux. Son rôle régulateur sur la mobilité des éléments toxiques est double par son taux et sa qualité. Les métaux lourds peuvent être adsorbés et immobilisés par l'argile ou également être complexé par la matière organique du sol. Par ailleurs, la composition de la matière organique, plus ou moins soluble dans le sol est corrélée avec l'absorption des éléments traces par les plantes. (RAMET et VERLOO, 1985 cités par BOUBEKEUR, 1997)

II.8. Métaux lourds considérés dans l'étude :

II.8.1. Le plomb :

Le plomb (Pb) est un métal dense se trouvant dans la nature, surtout à l'état de sulfure (LAROUSSE, 2007). Il est très toxique même à de faible concentration et peut avoir plusieurs effets indésirables sur la santé des êtres vivant (RAMADE, 2002). Le plomb a beaucoup d'usage industriel (batteries, pigment ...etc.) et est utilisé comme agent antidétonant pour

l'essence. Il est utilisé en feuilles ou en plaque pour revêtir les toits, les gouttières, les parois des chambres de plomb dans la fabrication de l'acide sulfurique. (LAROUSSE ,2007).

II.8.1.1. Propriétés physiques du plomb :

Les propriétés physiques du plomb sont représentées dans le tableau suivant.

Tableau9: Propriétés physiques du plomb (Flacy et al., 1998 ; Miquel, 2001)

Nom chimique	Plomb
Symbole chimique	Pb
Masse atomique	270
Masse volumique	11.35 g/cm ³
Température de fusion	327.40C°
Température d'ébullition	1740°
Tension de vapeur	0.133 kPa à 973C° 53.3 kPa à 1630C°
Solubilités	Insoluble dans l'eau, soluble dans l'acide nitrique et l'acide sulfurique chaud.
Aspect	Solide gris- bleuâtre très mou, malleble.

II.8.1.2. Transfert du Pb du sol vers les plantes :

Le facteur pH a un rôle important dans le transfert du Pb du sol vers les végétaux (SIBERLIN, 1996 in ANNE et ISABELLE, 2005).

Le Pb est très peu prélevé par les racines des plantes où il s'accumule. Le transfert sol-plante du Pb est négligeable par rapport au dépôt direct des poussières contenant du Pb sur les parties aériennes, surtout dans les zones urbaines ou industrielles ou le long des grands axes routiers (ANNE et ISABELLE, 2005).

II.8.2. Cadmium:

Dans le sol, Cd²⁺ est l'espèce ionique dominante, notamment dans la solution du sol où elle peut accompagner, à pH inférieur à 6.5, des complexes tels que CdSO₄ ou CdCl₂. Dans la solution du sol, seul 10 à 20 % du cadmium sont associés aux composés organiques sous une forme stable. Le cadmium est plus facilement retenu par les hydroxydes de fer et par la matière organique que par les argiles. Dans les sols calcaires, la calcite représente la phase de

rétenion majoritaire. La mobilité du cadmium est essentiellement fonction du pH: entre pH 4 et 8 (PERRONO, 1999).

II.8.2.1. Transfert du Cd du sol vers les plantes :

Le pH est le facteur sol le plus important gouvernant la phytodisponibilité du Cd. Le Cd est très phytodisponible, il peut s'accumuler dans les racines ou les parties aériennes. Le chaulage, un apport de Cu ou de Zn peuvent diminuer le transfert du Cd vers les plantes (ANNE et ISABELLE, 2005).

II.8.3. Cuivre:

Dans le sol, le cuivre est bien réparti le long du profil et se fixe préférentiellement sur la matière organique (25 à 50 %), les oxydes de fer, de manganèse et les argiles. La répartition du cuivre entre ces différentes fractions est fonction du pH, de la quantité et de la composition de la matière organique d'une part, et des colloïdes minéraux d'autre part. Le cuivre migre peu, sauf dans des conditions de mauvais drainage ou en milieu très acide (PERRONO, 1999).

L'absorption du cuivre par les plantes est plus basse comparativement au zinc, chrome, nickel. Puisque le Cu est un élément essentiel aux plantes, un tel comportement peut être lié à la fonction métabolique de cet élément (ERNEST, 1972).

II.8.3.1. Transfert du Cu du sol vers les plantes:

Le Cu s'accumule dans les racines, l'apport de matière organique diminuent le transfert vers les plantes ainsi que le Zn ralentit l'absorption du Cu (LOUÉ, 1986 in ANNE et ISABELLE, 2005).

II.8.4. Le Zinc:

Le zinc est un des éléments les plus abondants de la croûte terrestre On le trouve dans l'air, les sols, l'eau ainsi que dans tous les aliments. Il est indispensable au métabolisme des être vivants (oligo-éléments) ; en particulier comme coenzyme. A l'état pur métallique, il prend l'aspect d'un métal brillant, de couleur blanc bleuâtre (WILEY et OTHEMER, 1998 ; CASAS, 2005). Habituellement le zinc est rencontré en association avec le plomb, le cuivre, l'or et l'argent. Le zinc se présente sous forme de sphalérite (sulfur), smithsonite (carbonate), calamine (silicate), et franklinite (zinc, manganèse, oxyde de fer) (PICHARD, 2005).

II.8.4.1. Les propriétés physicochimiques :

Les caractéristiques physicochimiques du zinc sont indiquées dans le tableau 10.

Tableau 10: les caractéristique physicochimiques du Zinc (NORBERG et al., 2005)

Nom chimique	Le zinc
Numéro atomique	30
Masse atomique	65 g/mole
Densité	7.13 g/cm ³
Température de fusion	419.5 C°
Température d'ébullition	908C°
Etat d'oxydation	+II

II.8.4.2. Transfert du Zn du sol vers les plantes:

Le zinc s'accumule dans la partie racinaire plus que dans la partie aérienne surtout dans les sols riches en cet élément. Dans les racines, 90% du zinc total se présentent adsorbés sur la surface des parois cellulaires du cortex et il est important pour la photosynthèse (LAHOUT, 2003).

Un apport de terre fortement argileuse et de fer ou phosphore diminuent le transfert du Zn vers les plantes (ANNE et ISABELLE, 2005).

Chapitre III

Par métabolisme, on entend toutes les transformations des composés chimiques grâce auxquelles un organisme gagne de l'énergie et construit sa propre substance.

Le métabolisme des plantes vertes est associé à l'apparition de l'autotrophie. Au contraire de la plupart des autres êtres vivants, les plantes vertes, en présence de lumière, peuvent synthétiser elles mêmes les substances organiques nécessaires à leur métabolisme : elles utilisent du gaz carbonique, de l'eau, des sels minéraux et parallèlement, elles libèrent de l'oxygène. On nomme photosynthèse ce processus au cours duquel l'énergie lumineuse est transformée en énergie chimique. Les enzymes spécifiques participent à la formation des petites molécules qui constitueront les éléments de base des macromolécules : protéines, acides nucléiques, polysaccharides et lipides. Leur synthèse, liée à une augmentation nette de la substance cellulaire, caractérise la cellule ou l'organisme en croissance et constitue le métabolisme primaire. Les végétaux ont la particularité de présenter en outre un important métabolisme secondaire ils synthétisent des métabolites secondaires qui ne paraissent jouer aucun rôle dans le métabolisme primaire (RICHTER, 1993).

III.1. Pigments chlorophylliens :

Les plantes vertes ne peuvent vivre sans lumière qui apporte l'énergie nécessaire aux réactions biochimiques assurant l'autotrophie végétale.

La photosynthèse, encore appelée assimilation chlorophyllienne, n'est possible que par l'intervention de pigments assimilateurs, les chlorophylles.chez les plantes supérieur il ya deux types de chlorophylles cha et chb.

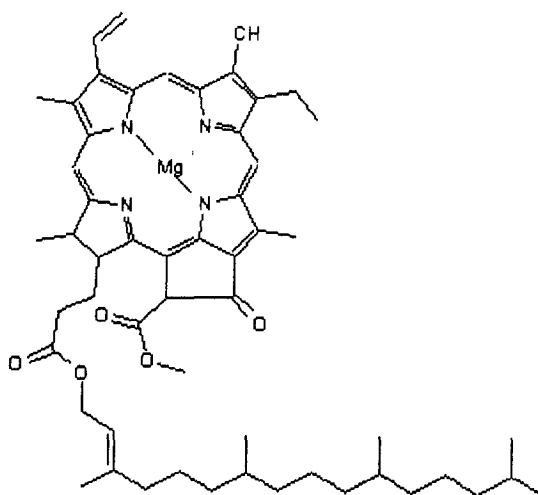


Figure 2 : Chlorophylle a. (Anonyme1,1999)

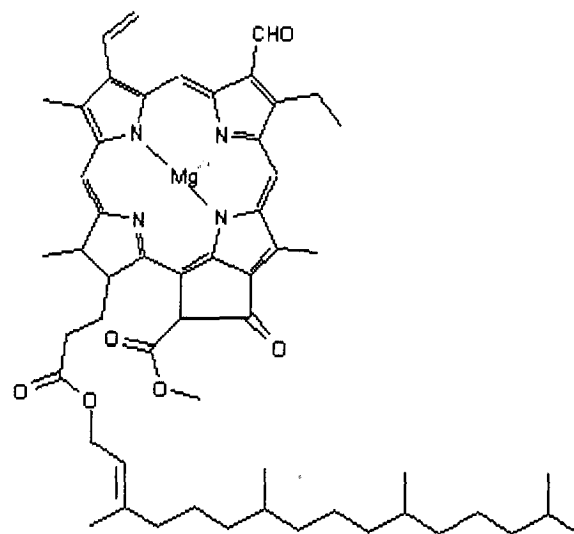


Figure3 :Chlorophylle b. (Anonyme1,1999)

La chlorophylle a est présente chez l'ensemble des plantes supérieures et des algues. La chlorophylle b qui diffère de la précédente par un groupement aldéhyde en place d'un méthyle, est également très largement répandue (plantes supérieures et algues vertes). Des chlorophylles de formules légèrement différentes se rencontrent chez les algues brunes, chez les algues rouges et chez les bactéries. Dans les chloroplastes, les chlorophylles sont associées à des polypeptides sous forme de complexes protéiques plus ou moins volumineux. Ces complexes, que l'on ne sait pas toujours isoler, sont caractérisés par leur spectre d'absorption dans le rouge et des potentiels redox particuliers. On distingue ainsi deux complexes majeurs de la chlorophylle a, p700 et p680, dont les pics d'absorption sont à 700 et 680 nm.

Des pigments dits accessoires sont associés aux chlorophylles : les phycobillines chez les cyanobactéries à phycocyanine et les algues rouges à phycoérythrine ; les caroténoïdes chez les plantes supérieures et les algues brunes (JEAN LOUIS, 2000).

Chez les végétaux supérieurs, la chlorophylle "b" peut atteindre 50% de la chlorophylle "a" ($a/b = 2$) (CERVEVE, 1999), alors que MILCENT (2003) donne une proportion naturelle a/b d'environ 3.

III.1.1. Localisation des pigments chlorophylliens :

Les complexes qui peuvent être isolés des cellules photosynthétiquement actives sont, des composants des thylacoïdes. Les thylacoïdes sont des systèmes de membrane, qui, soit se trouvent libres dans le cytosol (dans les bactéries phototrophes, les cyanobactéries), soit sont arrangés à l'intérieur des chromatophores ou des chloroplastes (algues, plantes supérieures). Les pigments sont en générales synthétisés pendant la néogénèse des thylacoïdes (RICHTER, 1993).

III.1.2. Rôle des chlorophylles:

Les chlorophylles assurent :

- la captation et la migration de l'énergie lumineuse.
- sa transformation en énergie chimique.

De plus, chez l'ensemble des végétaux, les chlorophylles s'organisent en deux systèmes, les photosystèmes I (ps I) et II (ps II), chacun d'eux assurant une partie de la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique.

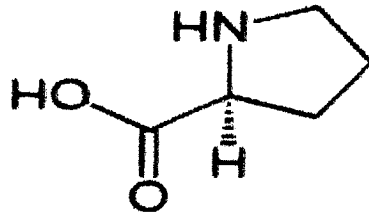


Figure 4 : La proline (Anonyme 1,1999)

La proline est le seul des vingt acides aminés fondamentaux ou le groupement NH_2 n'est pas libre, il est engagé par une deuxième valence de son atome d'azote avec le groupement R. La liaison C---N fait de la proline une acide imine rigide, son poids moléculaire et de 115 (ROLAND et al., 2008).

III.2. La proline :

Selon la littérature, la photosynthèse et les échanges gazeux des feuilles sont affectés par plusieurs stress dont, la salinité (ALMEIDA VIEGAS et al., 1999 ; IKLIL, 2002), le stress hydrique (TABAEIZADEH, 1998) et le stress métallique (TRIPATHI et TRIPATHI, 1999 ; CHUGH et Sawhney, 1999)... etc.

III.1.3. Chlorophylle et stress

(JEAN et LOUIS, 2000).

Au niveau du centre réactionnel les molécules de pigments sont associées à divers transporteurs d'électrons au sein de protéines qui leur assurent leur réactivité et leur stabilité photosystème I et celui du photosystème II.

chlorophylle a : ils constituent respectivement le << cœur >> ou centre réactionnel de l'énergie chimique par l'intermédiaire de l'état triplet. Ce sont les complexes p700 et p680 de la Un petit nombre de molécules réalise la transformation de l'énergie lumineuse en

zones d'accouplement, c'est-à-dire au niveau de la grana (thylacoïde).
stroma, c'est-à-dire dans les zones intergranaires ; le photosystème II est présent dans le Le photosystème I est localisé au niveau des parties du thylacoïde en contact avec le

III.2.1. Effet des facteurs interne sur l'accumulation de la proline :

L'influence des facteurs à été découvert pour, parmi ces facteurs :

- 1- l'âge de la plante : la quantité de la proline diminue si la plante est âgée ;
- 2- l'âge de la feuille : la teneur en proline augmente proportionnellement avec l'âge de la feuille ;
- 3- les différentes parties de la feuille : les études signifient que la teneur en proline augmente au niveau des deux extrémités de la feuille et diminue au niveau de la partie médiane (BOUNOUR, 2001).

III.2.2. Effet des facteurs externes sur l'accumulation de la proline

Plusieurs facteurs externes peuvent stimuler la synthèse de la proline:

- La salinité (ALMEIDA VIEGAS et GOMES DA SILVEIRA, 1999; ÇIÇEK et ÇAKIRLER, 2002 ; EL-IKLIL et al., 2002);
- La déficit hydrique (TAHRI at al., 2002; ZID et GRIGNON, 1991)
- Hautes et basses températures (KNU et CHEN, 1986)

III.2.3. Rôle de la proline

Réserve d'azote : La proline pourrait intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique ou constituer une réserve d'azote utilisée par la plante postérieurement à la période du stress (EL JAAFARI, 1993).

la proline s'accumulant à l'état libre dans le cytosol est reconnue comme étant un osmolyte impliqué dans ces réajustements osmotiques (THERY et al., 2004).

Proline et stress : La proline joue un rôle important lorsque l'équilibre métabolique de la

plante est perturbé par les conditions défavorables du milieu(OZENDA,2000).L'accumulation de la proline induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires :

stimulation de sa synthèse (MORRIS et al., 1969, BOGGESS et al., 1976 cités par TAHRI,

1998) ; inhibition de son oxydation (STEWART et al., 1977 ; RAYAPATI et STEWART,

1991 cités par TAHRI, 1998) et/ou altération de la biosynthèse des protéines (STEWART et

al., 1977 cités par TAHRI, 1998).

Selon un autre point de vue, l'accumulation de proline n'est pas une réaction

d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (HANSON et al.,

1977 cités ZID et GRIGNON, 1991).

-Propriétés: astringent, expectorant, cicatrisant.

-Application: efficace contre les affections bronchique et la toux et pour soigner la diarrhée, appliqué sur les ulcères et les furoncles (ANONYME, 2001).

100Kg de lentisque ne fournissent que 15 à 25 ml d'huile essentielle. C'est un décongestionnant veineux, lymphatique et prostatique inégalable. Désinfiltrante, elle est indiquée dans tous les troubles où l'on « gonfle ». Phlébotonique, elle favorise la circulation dite « de retour » (du bas en haut, vers le coeur). C'est un antispasmodique. Lorsqu'on la respire, elle facilite la réalisation de nos ambitions et permet d'acquérir une certaine puissance, un peu comme le laurier (DANIELE, 2007)

V.1.1.2. *Inula viscosa*

L'inule visqueuse est parmi les plantes médicinales locales réputées pour ses vertus thérapeutiques, pour sa richesse en huile essentielle et en flavonoïdes (BABA AISSA, 1991).



Figure11 : *Inula viscosa* (station 1 :khracha).

a. Position taxonomique :

Embranchement : Phanérogrames

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Famille: Asteraceae

Genre : *Inula*

Espèce : *Inula viscosa* (L.)

Nom local: Amagramane.

b. Caractéristiques botaniques et écologiques

Plante herbacée vivace, bien connue pour ces effets thérapeutiques, poussant sauvagement dans les rocailles méditerranéennes, en Bulgarie, en Turquie et en moyen Orient.

C'est une plante évasée de 0,5 à 1 mètre de hauteur à feuillage caduque, dégageant une odeur à gout fétide et donnant en fin d'été et début d'automne des fleurs jaunes. (DJERIRANNI et NACEF, 2004).

c. Usage et propriétés :

Propriétés thérapeutiques: L'inule visqueuse est utilisée en région méditerranéenne comme un anti-inflammatoire, un antiseptique, dans le traitement des diabètes, des ulcères gastriques, des bronchites, des tuberculoses et des anémies. Elle est aussi utilisée comme cataplasmes pour les douleurs rhumatismales, contre les maux de têtes les affections pulmonaires et contre les odeurs des pieds (DJERIRANNI et NACEF, 2004).

V.1.2. Méthode de prélèvement

V.1.2.1. Méthode de prélèvement du sol :

L'échantillonnage de sol est effectué à l'aide d'une tarière on fait des trous à une profondeur d'environ 40 cm. On prend 1kg de sol de chaque station, les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre pendant quelques jours, tamisés à 2mm, puis conservés dans des sachets pour analyse

V.1.2.2. Méthode de prélèvement de la végétation

La cueillette s'est faite au mois de mars de l'année en cours (2011), par un temps sec, après la disparition de la rosée du matin. On a prélevé des feuilles de façon à couvrir l'ensemble de la couronne des espèces étudiées et avoir un échantillon moyen représentatif de la plante. Dans le laboratoire, nous avons partagé chaque échantillon de feuilles en deux lots. Le premier lot dit lavé, a subi un rinçage plusieurs fois, d'abord à l'eau de robinet, puis à l'eau pure. Le deuxième lot dit non lavé n'a subi aucun lavage. Ensuite, les deux lots de chaque échantillon sont mis à sécher à l'air libre à l'abri de la lumière pendant une quinzaine de jours, en prenant soin de les aérer régulièrement afin d'homogénéiser l'opération de séchage.

Une fois séchées, les plantes sont broyées à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine car la matière végétale pulvérisée offre une surface d'échange plus grande, ce qui augmente le rendement de l'extraction.

V.2. Techniques d'analyse

V.2.1. Analyses physicochimiques du sol

V.2.1.1. Analyse granulométrique:

Cette étude a été réalisée selon la méthode de la pipette de Robinson (AFNOR, 1994) dont le principe se base sur la loi de Stokes.

Cette méthode consiste à une :

- Mise en suspension des particules minérales d'un échantillon de terre et stabilisation de cette suspension dans des conditions bien définies en particulier destruction des agrégats.
- Séparation des différentes classes de particules par sédimentation par gravité pour les fractions fines ($< 50\mu\text{m}$) et par tamisage pour les fractions supérieures.
- Prélèvement des fractions fines par la méthode de la pipette de Robinson (dans des conditions bien déterminées : temps, température).

Les trois fractions ainsi déterminées permettent, avec l'utilisation du triangle texturale, de connaître la texture du sol. (CLEMENT M ,2003)

V.2.1.2. Mesure de pH:

La mesure de pH consiste à prendre 5g de sol tamisée a 2mm dans un bécher, ajouter 12.5ml d'eau distillé, faire agiter avec un agitateur magnétique pendant 20 minutes et laisser pendant 30 minutes. Avant de procéder à la mesure du pH il faut étalonner le pH mètre, agiter le contenu du bécher et nettoyer l'électrode, ensuite plonger l'électrode dans la solution du sol et la lecture sera affichée sur l'écran du pH-mètre. (CLEMENT M ,2003)

V.2.1.3. Mesure de la conductivité:

Elle a été déterminée par un conductimètre sur un extrait aqueux. Sa mesure consiste à prendre 5g de sol tamisée a 2mm dans un bécher, ajouter 25ml d'eau distillée, agiter 15 minutes, laisser reposer pendant 30 minutes, effectuer les mesures de la conductivité à l'aide d'un conductimètre électrique sur la solution du sol.

V.2.1.4. Capacité d'échange cationique:

Le Principe de cette méthode est basé sur un échange de cations retenus par un échantillon de terre et les ions ammonium d'une solution aqueuse d'oxalate d'ammonium en

présence de carbonate de calcium. La détermination de la CEC se fait par mesure de la concentration dans les filtrats des ammoniums libres (Mathieu, 2003).

V.2.1.5. Dosage du calcaire total:

Le calcaire est dosé par la méthode utilisant le calcimètre de Bernard. On détermine la quantité du calcaire total en dosant la quantité totale des carbonates. (CLEMENT M, 2003)

On se base sur la réaction suivante :



V.2.1.6. Dosage de la matière organique:

La méthode de détermination (en dosant le carbone) utilisée est celle de Walkley et Black modifiée. Le dosage de la matière organique est réalisé à partir de l'un de ces constituants, le carbone. Il représente 58% de la matière organique.

$$\text{MO}\% = \text{C}\% \times 1.724$$

La détermination de C est basée sur l'oxydation de ce dernier par le bichromate de potassium en milieu d'acide sulfurique source de chaleur.

V.2.1.7. Dosage des métaux lourds

Cette méthode à l'eau régale est utilisée pour le dosage des éléments totaux et principalement pour le cuivre, le manganèse, le zinc, le fer, le chrome, le nickel, le plomb et le cadmium. L'échantillon est soumis à l'action d'un mélange d'acide chlorhydrique (3/4) et d'acide nitrique (1/4). L'extrait est ensuite filtré et ajusté au volume avec de l'eau déminéralisée c'est à partir de cette solution d'essai que l'on procède aux dosages par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Le procédé d'extraction consiste à ajouter à 2g de sol pris à partir d'un échantillon broyé dans un mortier puis passé au tamis de 250 microns, 15 ml d'acide chlorhydrique et 5ml d'acide nitrique dans un ballon à rodage conique de 250 ml muni d'un réfrigérant.

Laisser en contact pendant une nuit afin de permettre une oxydation lente de la matière organique, puis chauffer dans un chauffe ballon pendant 2h à une température de 180°C, après refroidissement et rinçage du réfrigérant par quelques ml d'eau déminéralisée, le contenu du ballon est filtré sur papier filtre sans cendre, lavé aux acides à vitesse moyenne de filtration dans des fioles de 100 ml puis compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. : Hoening *et al.* (1979).

V.2.2. Méthodes d'analyse des végétaux

V.2.2.1. Dosage des métaux lourds

L'extraction de plantes est faite selon la même méthode que celle décrite pour le sol. Elle consiste à ajouter à 0.2 g d'échantillons de plantes séchées et réduite en poudre, 5 ml d'eau regale. Après la mineralization, on filtre et on ajuste avec de l'eau pure. : Hoeining *et al.* (1979).

V.2.2.2. Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau est exprimée par le poids d'eau en rapport avec le poids de matière sèche ou de matière fraîche. Elle a été calculée par la formule suivante (Heller, 1998)

$$TE (Pf) = (Pf - Ps) * 100 / Pf$$

TE (Pf) : teneur en eau par rapport à la masse fraîche
 Pf : poids de matière fraîche
 Ps : poids de matière sèche

V.2.2.3. Dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle est faite suivant la méthode de FRANCIS *et al.* (1970) qui consiste à une macération des feuilles dans un mélange de l'acétone et l'éthanol (75% et 25%); les feuilles sont coupées en petits morceaux et misent dans des boites noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière) puis on procède à la lecture des densités optiques des solutions à l'aide d'un spectrophotomètre à deux longueur d'onde (645et663nm) après l'étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80%et l'éthanol à 40% .La détermination des teneurs est réalisée selon les formules :

$$CHa(\text{ùg/gMF}) = 12.7DO(663) - 2.59DO(645) \times V(1000 \times W).$$

$$CHb(\text{ùg/gMF}) = 22.9DO(654) - 4.68DO(663) \times V(1000 \times W).$$

$$CHt = CHa + CHb.$$

V: volume de la solution extraite.

W: poids de la matière fraiche de l'échantillon.(Addad D *et al* ,2005)

V.2.2.4. Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll *et Lindesly* (1955) simplifiée et mise au point par Dreier *et Goring* (1974) et modifiée par Monneveux *et Nemmar* (1986).

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon. (Addad D et al, 2005)

Le calcul des concentrations se fait par l'équation déduite de la courbe d'étalonnage (figure 5 en Annexe I).

V.2.2.5. Extraction des sucres solubles

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plantes selon la méthode de Dubois (1956).

Pour l'extraction des sucres solubles :

Mettre 100 mg de matière sèche dans des tubes à essai puis ajouter 2 ml d'éthanol à 80%. Le tout est laissé au repos pendant 48 H.

Ensuite évaporer le totale de l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain marie à 70°.

Après refroidissement, Mettre dans chaque tube à essai 20 ml d'eau distillée, prendre ensuite 1 ml de la solution et ajouter 1 ml de phénol à 5 % en prenant soin de bien agiter.

Enfin ajouté 2 ml d'acide sulfurique concentré, et déposé les tubes à essai dans un bain de glace, et laissez les reposer 25 min, puis procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm. (Addad D et al, 2005)

Le calcul se fait à partir de l'équation déduite de la gamme d'étalonnage figure 6 en Annexe I).

V.2.2.6. Dosage de l'HPCD (produits de peroxydation lipidique)

L'extraction est faite selon une méthode qui consiste en une macération de 150 mg des feuilles dans de l'éthanol (96 %) suivi d'une centrifugation, deux phases se séparent, on prélève la phase supérieure puis on procède à la lecture des densités optiques des solutions à l'aide, d'un spectrophotomètre, à une longueur d'ondes 234 nm après l'étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'éthanol à 40%.

La détermination des teneurs est réalisée selon la formule suivante :

$$\text{HPCD} = \text{DO} \times 2,65 \cdot 10^4 (\mu\text{m} / \text{g})$$

V.2.2.7. Composés phénoliques

V.2.2.7.1. Préparation des extraits(annexeV)

La première étape de l'extraction est la macération de la poudre fine dans de l'éthanol 95% avec un rapport masse /volume de 1: 4 (P : V) pendant 24 h. Par la suite, une décantation de 24 h, suivie d'une centrifugation de 1500rpm ont été effectuée, donnant naissance à deux phases bien distinctes dont le surnageant représente l'extrait éthanolique. Ce dernier est versé dans des cristallisoirs et soumis à un séchage à l'air libre et à l'abri de la lumière, jusqu'à stabilisation complète de son poids sec.

La deuxième étape de l'extraction est la macération de l'extrait éthanolique, mis à part une faible quantité retenue pour l'étude, dans un mélange d'acétate d'éthyle / eau avec un rapport volumique de 3: 1 (V: V). Après 24 h de macération, la décantation suivant a donné naissance à deux phases non miscibles (une phase aqueuse et une phase organique d'acétate d'éthyle). Ces dernières ont été séparées et laissées sécher dans les mêmes conditions précédemment citées.

La troisième et dernière étape de l'extraction est la macération d'une partie de l'extrait organique d'acétate d'éthyle, qui est divisé en deux parties: l'une est transférée dans un mélange hexane/eau et l'autre dans un mélange chloroforme/eau, avec un rapport volumique de 3:1 (V:V). Après 24h de macération, suivie d'une décantation, les quatre phases résultantes ont été séparées et laissées sécher jusqu'à stabilisation complète de leurs poids sec. Le pourcentage d'extraction de chaque étape est calculé par la formule suivante :

$$\text{Taux d'extraction (\%)} = ((P_1 - P_0)/E) * 100.$$

P_1 : poids de l'extrait après évaporation.

P_0 : poids initial du cristallisoir ou de la boit de pétri.

E : poids de l'échantillon initial (poudre ou extrait sec de la phase précédente « g »).(Addad D et al ,2005)

V.2.2.7.2. Quantification des composés phénoliques

a.Quantification des phénols totaux

Le protocole que nous avons suivi dans cette étude pour le dosage des phénols totaux est celui de KÄHKONEN et al (1999). Nous avons introduit dans chaque tube un volume de 200µl de la solution d'extrait à une concentration de 100 µg/ml, par la suite, nous avons rajouté 1ml du réactif de Folin-Ciocalteu et 800 µl de carbonate de sodium (7.5 %). Le mélange est laissé réagir à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. Enfin, la

lecture des absorbances est faite à une longueur d'onde de 760 nm contre un blanc contenant tous les réactifs sauf l'extrait (VERMERRIS et NICHOLSON, 2006).

Une courbe d'étalonnage a été préalablement préparée dans les mêmes conditions. Les résultats seront exprimés en mg Equivalent pyrocatecholé /g d'extrait (figure7 en Annexe I).

b. Quantification des flavonoïdes

La méthode du chlorure d'aluminium rapportée par MAKSIMOVIE et ses collaborateurs (2004) est utilisée pour quantifier les flavonoïdes dans les différents extraits.

2 ml de l'extrait dissout dans de l'éthanol (100µg/ml) ont été rajoutés à 1 ml de réactif de chlorure d'aluminium (133mg du chlorure d'aluminium et 400 mg d'acétate de sodium cristalline dans 100 ml d'eau distillée). Après 10 minutes d'incubation, l'absorbance est lue à 430nm. La concentration des flavonoïdes est déduite à partir des gammes d'étalonnage établies avec la rutine et sont exprimées en milligramme d'équivalent rutine par gramme d'extrait (figure 8 en Annexe I).

partie 2

pratique

Chapitre VI

VI.1. Résultats des paramètres physico-chimiques du sol des différentes stations

Les résultats des analyses physico-chimiques du sol et des paramètres physiologiques concernant la végétation sont consignés dans les tableaux 1 et 2 en annexe II.

VI.1.1. Granulométrie

L'étude granulométrique réalisée sur les sols des quatre stations montre que les taux d'argile qui constituent la fraction la plus fine s'échelonnent de 14,62% à 20,79% pour respectivement la station St4 et St3, donc la fraction grossière (S, LG et LF) représente 85,38% et 79,21%.

D'après les pourcentages de sables, limons et argiles (tableau 1 en annexe II) reporté dans le triangle textural (figure 1, Annexe III) proposé par GAGNARD et al. (1988), nous avons un sol sable-limoneux (SL) pour la St4, et limoneux pour les stations St1, St2, St3.

Selon la répartition des différents types de texture en fonction des classes de texture (tableau 16) proposés par HÉNIN (1969), la St 4 à une texture grossière, et les St1, St2, St3 ont une texture moyenne.

Tableau16: Répartition des différents types de texture en fonction des classes de textures HENIN, 1969 in ENITA, 2000

Type de texture	Classe de texture
Argilo-sableuse, argileuse	Textures fines
Limoneuse fine, limoneuse	Textures moyennes
Limono-sableuse, sablo-limoneuse, sableuse	Textures grossières

D'après Gagnard et al. (1988) (tableau 17), les stations St1, St2 et St3 présentent un sol moyen (15%-25% d'argile) et la station St4 un sol léger (10-15%). Les concentrations maximales des métaux soient plus élevées dans le cas des sols à texture fine (comme l'argile et le limon argileux) que dans des sols à texture grossière comme le sable).

Tableau17: Appellation simplifiée des classes de sols proposée par la station des recherches agronomiques (Gagnard et al., 1988)

Nature	Appréciation	% Argile
Sol Léger	Léger	0-10
	Léger à moyen	10-15
Sol moyen	Moyen	15-25
Sol lourd	Moyen à lourd	25-30
	Lourd	Supérieur à 30

D'après WEBBER et SING (1999), les concentrations des éléments traces métalliques dans le sol varient selon la texture de ce dernier; elles sont plus élevées dans les argiles, puis dans les limons argileux, les limons et les sables. Donc, les stations St1, St2 et St3 sont susceptible de retenir les métaux plus que la station St4

IV.1.2. Le pH du sol :

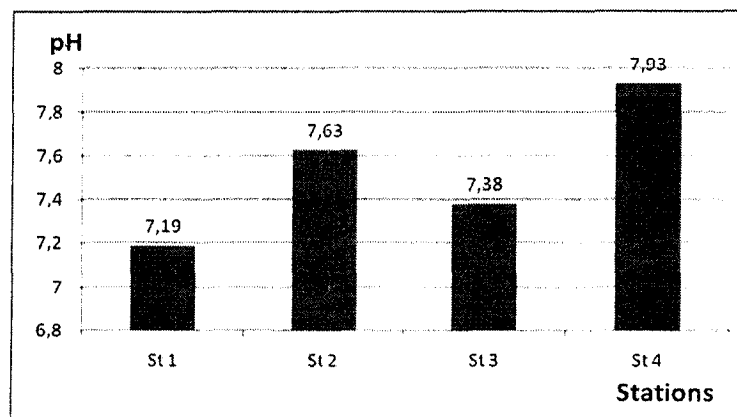


Figure12 : Variations des valeurs du pH en fonction des stations étudiées.

Les résultats de l'analyse du pH pour les échantillons du sol sont représentés dans la figure12 (le tableau1 en, annexe II). Il varie d'une station à une autre. La valeur maximale est trouvée dans la quatrième station St4 (7.93) et la valeur minimale est trouvée dans la première station St1 (7.19).

Selon la classification donnée par GAGNARD et al. (1988), le pH de la St3 avec une valeur de 7,38 est légèrement alcalin (7,2-7,5). Pour la St 2 et la St 4, avec des valeurs de 7,63 et 7,93 respectivement nous avons un sol alcalin (7,5-8,7). En ce qui concerne la station

St1 avec une valeur de 7,19 nous avons un sol voisin de la neutralité compris entre (6,8-7,2).

En générale, un sol acide facilite la mobilité du métal alors qu'un sol alcalin contribue à l'immobilisation de certains (ADLERE ,2001).Donc la station St4 a tendance à immobilisée les métaux dans le sol suivie de la St2 et St3 et enfin la St1

Le pH est un des paramètres majeurs influant la biodisponibilité des éléments en traces métalliques et donc sur leur transfère vers les plantes (ECHEVARRIA et al., 2000). Un pH bas augmente généralement la phytodisponibilité des éléments traces (ANNE et ISABELLE, 2005).

VI.1.3. La Conductivité électrique (CE)

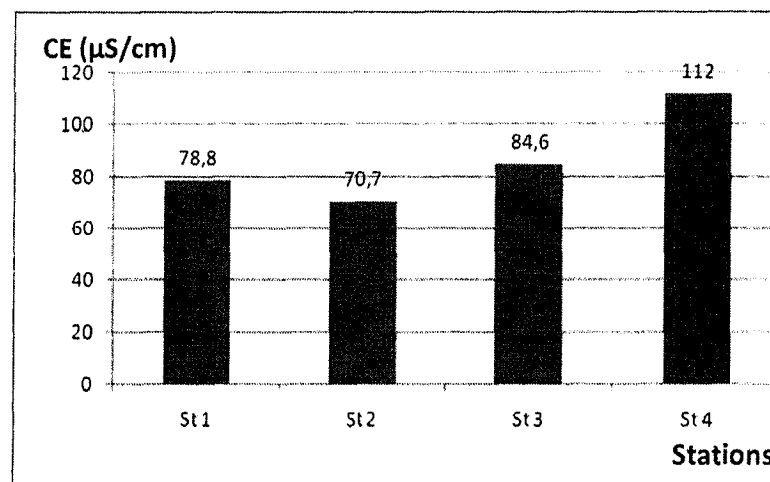


Figure13 : Variation de la conductivité électrique selon les stations.

D'après le tableau 1 en annexe II et la figure 13, les valeurs mesurées de la CE aux différentes stations étudiées sont variables. Nous avons une valeur maximale de 112μS/cm à la St4 et une valeur minimale de 70,7 μS/cm à la St2.

La station St4 qui présente la plus importante salinité (112μS/cm) serait probablement dû à l'exploitation de la carrier qui se trouve à proximité de cette dernière.

Par ailleurs, la St3, la St1 et la St2 présentent une homogénéité avec des valeurs de 84,6 μS/cm, 78,86 μS/cm et 70,7 μS/cm respectivement. La conductivité électrique des sols étudiés correspond d'une manière générale selon le mémento de l'agronome (MFC, 1974) à des sols non salin (CE<500μS/cm).

La conductivité électrique du sol nous renseigne sur l'activité des espèces présentes dans la solution du sol, c'est -a- dire sur la capacité de la matrice à fournir des espèces chargées, mobiles en solution (DURIN, 2006).

VI.1.4. La capacité d'échange cationique (CEC)

La CEC des sols étudiés varie entre une valeur maximale de 10,5 meq/100g enregistrée dans la St 2 et une valeur minimale de 3meq/100g enregistrée dans laSt3 (figure14et le tableau 1 en annexe II).

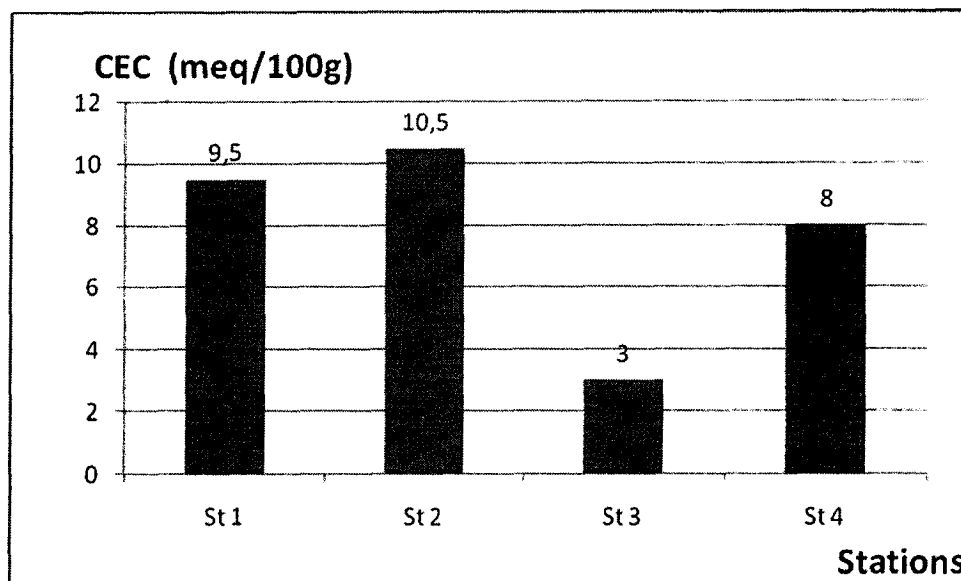


Figure 14 : Valeurs en capacité d'échange cationique (meq/100g) en fonction des stations.

Comparées aux normes données par M.F.C. (1974), la St2 avec une valeur de 10,5 méq/100g est considérée comme moyenne (10-25 méq/100g). La St1 et St4 avec des valeurs respectivement de 9,5 méq/100g et 8 méq/100g sont considérées comme faible (5-10 méq/100g). La St3 avec une valeur de 3 méq/100g comme très faible (<5méq/100g), donc la capacité des sols à stocker les éléments nutritifs est faible et d'autre part une faible teneur des sols en métaux lourds.

La capacité d'échange cationique est un paramètre global, qui représente la quantité maximale de cation de toute sorte qu'un poids déterminé de sol est capable de retenir ou, autrement dit, le totale des charges négatives du sol disponibles pour la fixation de cations métalliques ou d'ion H^+ . Plus la CEC est élevée, plus les cations métalliques (Cd, Pb, Zn, Cu) sont adsorbés ou complexés par les matières organique, les argiles et les oxydes, donc moins assimilables par les plantes. Donc la St2 à un sol qui est plus favorable à retenir les métaux lourds.

VI.1.5. Calcaire totale

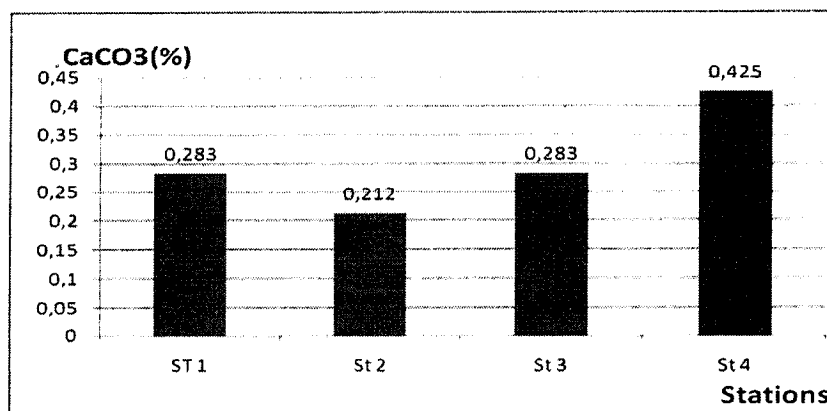


Figure15: les valeurs de calcaire total des sols des stations étudiées.

Le tableau 1(en annexe II) et la figure 15 présentent les résultats relatifs au calcaire total. Nous avons une valeur maximale dans la St4 affichant la valeur de 0,425%.et une valeur minimale dans la St2 affichant la valeur de 0,212%. Ces teneurs ne varient pas beaucoup d'une station à une autre. En effet, selon les données avancées par GAGNARD et al. (1988) (tableau 18), nos sols sont considérés comme non calcaire (< 2%: trace), dans ce cas la il n'y a ni production ni dégagement de CO₂. La teneur élevée en St4 peut être expliquée par l'exploitation de la carrière qui se trouve à proximité de cette dernière.

Tableau 18: Classe du CaCO₃ total. Gagnard et al., 1988

CaCO ₃ total	Sol
0- traces	Sol non calcaire
2- 10 (%)	Sol peu calcaire
10-25 (%)	Sol calcaire
Supérieur à 25 (%)	Sol très calcaire

Selon PERRONO (1999), en sol calcaire, les carbonates de calcium sont les constituants majeurs qui interviennent dans la fixation des éléments traces, soit par absorption soit par précipitation d'hydroxydes ou de carbonates, ou encore par insertion dans le réseau de CaCO₃. Donc pour nos sols, la fixation des éléments traces est limitée.

VI.1.6. La matière organique

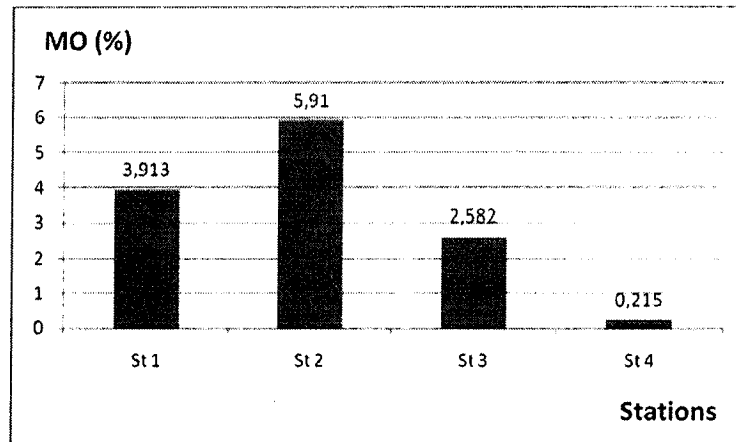


Figure16: distribution de la matière organique dans les quatre stations.

L'analyse du tableau 1 en Annexe II et de la figure 16 montre que la matière organique des sols varie de 5,91% à 0,215%. La plus forte teneur a été observée au niveau de la St2 et la plus faible au niveau de la St4. Comparées aux normes données par DUTHYL (1970), la teneur normale de la matière organique est située entre 1.5% et 2.5%, cela dit que le sol de la St4 est pauvre en matière organique, la St3 présente un taux en matière organique normale. D'après le même auteur, les sols dépassant 4% sont considérés comme humifères, ceci est le cas deux stations : St1 et St4 qui ont enregistré des taux d'environ 4% et 6%.

D'après le tableau 18 donné par GAGNARD et al. (1988) et les taux d'argiles retrouvés dans les quatre stations, on peut considérer que le sol des quatre stations sont des sols très faible en matière organique.

La matière organique participe efficacement à la rétention des ML qui peuvent être retenus sous forme échangeable (donc assez facilement mobilisable) ou à l'état de complexes dans lesquels ils sont plus énergiquement fixés (PERRONO, 1999). Ceci à cause des sites négatifs de la matière organique qui piègent les cations du sol (DUCHAUFOR, 1965; TYLER, 1972 in ABDUL RIDA, 1992) et défavorisent donc la mobilité des éléments traces dans le sol, ceci est le cas de la St2 et de la St1.

Selon CLEMENT et al. (2003), la matière organique est une source importante d'éléments nutritifs pour les végétaux, l'absence de matière organique rend la structure du sol instable. Ceci est justement le cas du sol de la station St4 qui a enregistré un taux de 0,215%.

Tableau19: Classes d'appréciation de la matière organique du sol en % de terre sèche. GAGNARD et al. (1988)

Argile (%)	Très faible	Faible	Moyen	Bien pourvu	élevé
0 à 12	< 8	8 à 13	14 à 20	21 à 30	>30
13 à 22	< 9	9 à 16	17 à 24	25 à 35	>35
23 à 45	< 1	11 à 22	23 à 28	29 à 42	>42
> 45	< 12	12 à 25	26 à 31	32 à 44	>44

VI.1.7. Teneur des métaux lourds (Zn, Pb, Cu, Cd)

VI.1.7.1. Teneur en Zn

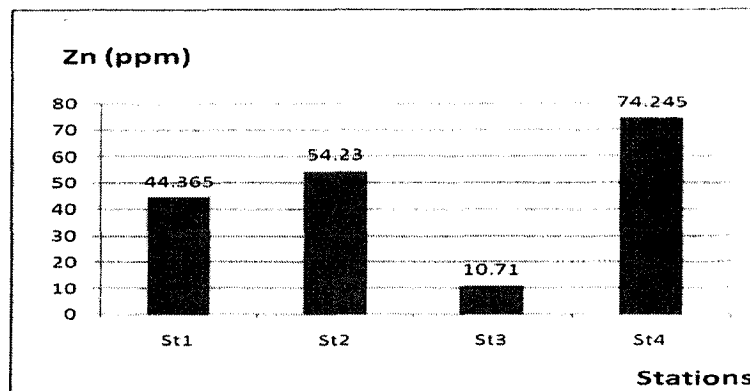


Figure 17 : Teneur en Zn du sol en fonction des stations étudiées.

Le résultat de l'analyse du Zn pour les échantillons du sol montre que la teneur maximale est de l'ordre de 74.245 ppm observée en St4 a coté de la carrière et la teneur minimale est de l'ordre 10.71 ppm observée dans la station St3 (zone industrielle et décharge sauvage) (Figure 17).

Néanmoins, dans l'ensemble des stations, les teneurs en Zn obtenues ne dépassent pas les normes internationales avancées par BLIFERT et PERRAD (2003) et COTTENIE (1983) (300ppm), ce qui traduit l'absence totale de pollution du sol par ce métal dans les quatre stations.

L'examen de la matrice de corrélation (tableau1, Annexe 4) montre des corrélations positives entre les teneurs en Zn et le pH ($r=0,74$) et entre les teneurs en Zn et la CEC (0,711). Cela suppose que plus le pH et la CEC augmentent et plus la concentration du Zn est élevée.

Un tel résultat est conforme aux observations d' ADLERE (2001) et d' ANNE et ISABELLE (2005).

VI.1.7.2. Teneur en Pb

Pour le Pb, la plus faible valeur est de 24,38 ppm enregistrée en St3, quant à la valeur la plus élevée qui est de 41,29 ppm est trouvée en St4 (tableau et figure18). Comme pour le Zn la St2 et St4 qui affiche les valeurs les plus élevées en Pb sont caractérisées par des sols alcalins.

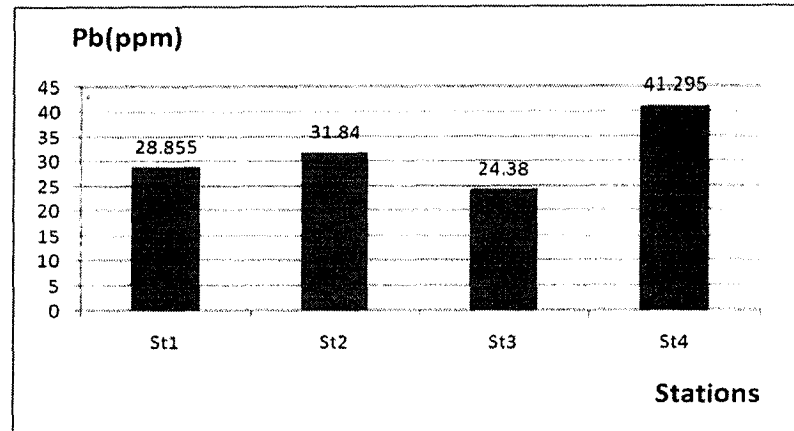


Figure18: Teneur en Pb du sol en fonction des stations étudiées.

Ainsi, le tableau3 de corrélation en annexe IV, montre une liaison positive entre le Pb et le pH ($r=0,86$), et montre également une liaison positive entre le Pb et la CE ($r=0,722$) et entre le Pb et le CaCO_3 ($r= 0,709$). Un tel résultat est conforme avec celui de PERRONO (1999), qui constate qu'en sol calcaire, les carbonates de calcium sont les constituants majeurs qui interviennent dans la fixation des éléments traces, soit par absorption soit par précipitation d'hydroxydes ou de carbonates, ou encore par insertion dans le réseau de CaCO_3 .

Néanmoins, l'ensemble des sols analysés possèdent des teneurs inférieures à la norme citée par ROBERT (1995), COTTENIE (1983) et LINDSAY (1979) qui est de 100 ppm.

VI.1.7.3. Teneur en Cd :

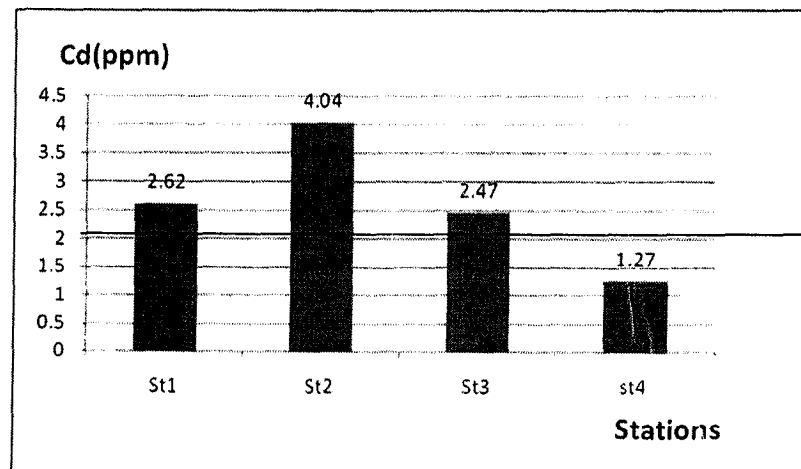


Figure 19 : Teneur en Cd du sol en fonction des stations étudiées.

On constate d'après la figure 19 que la teneur maximale en Cd est enregistrée dans la St2 avec une valeur de 4.04 ppm et la teneur minimale à la St4 avec une valeur qui égale 1.27 ppm.

Selon la norme AFNOR établis par Baize (1994) (2 ppm), le sol des stations St1, St2, St3 présentent un excès en cet élément avec des valeurs de 2,62ppm, 4,04ppm et 2,47ppm respectivement, la station St4 avec une valeur de 1,27 ppm ne dépasse pas la norme.

Ceci peut s'expliqué par le fait que la St2 est sous l'effet d'une pollution atmosphérique par la circulation automobile, donc le dépôt de ce métal lié à l'usure des pneus.

En effet, selon une étude réalisée par Angelone *et al*, (1997) sur la ville de Rome, les sols en bordure des axes routiers sont chargés en Pb et également en cadmium et en zinc, liés à l'usure des pneus, (le zinc entre dans la composition des pneus où le cadmium l'accompagne comme impureté).

Aussi, les teneurs élevées peuvent être expliqués par le taux élevé de matière organique retrouvé dans la St2, St3 et St1. Ce résultat est confirmé par la matrice de corrélation (tableau 1 en Annex IV) qui montre une corrélation positive entre ces deux paramètres ($r=0,988$). En effet, le Cd a été complexé par la matière organique du sol.

VI.1.7.4. Teneur en Cu :

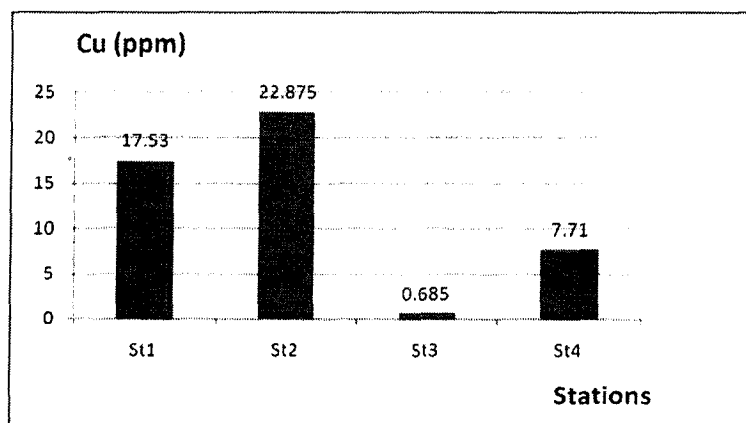


Figure 20: Teneur en Cu du sol en fonction des stations étudiées.

On observant la figure 20, on remarque que les teneurs maximales du cuivre sont enregistrées dans la St 2 (axe routier) avec une valeur de (22.875 ppm), tandis que les valeurs minimales sont enregistrées dans la St 3 avec une valeur très faible qui est égale à 0.68 ppm.

D'après la norme établis par Robert (1995) (100ppm), les sols des quatre stations ne dépassent pas la norme. La valeur maximale en St2 suivi par la St1 peut être expliquée par la nature des sols (matière organique et CEC) ceci est confirmé par le test de corrélation. Ainsi, le tableau1 (annexe IV) montre une liaison positive entre le Cu et la Mo ($r=0,748$) et le Cu et la CEC ($r=0,932$).

VI.2. Résultats relatifs à la matière végétale.

VI.2.1. Accumulation des métaux lourds :

VI.2.1.1. Accumulation de Zn chez les deux espèces en fonction des stations.

Les résultats des teneurs en zinc détectées dans les feuilles lavées et non lavées des deux espèces (lentisque et l'inule) sont consignés dans le tableau 2 en annex II et illustré par l'histogramme de la figure 21

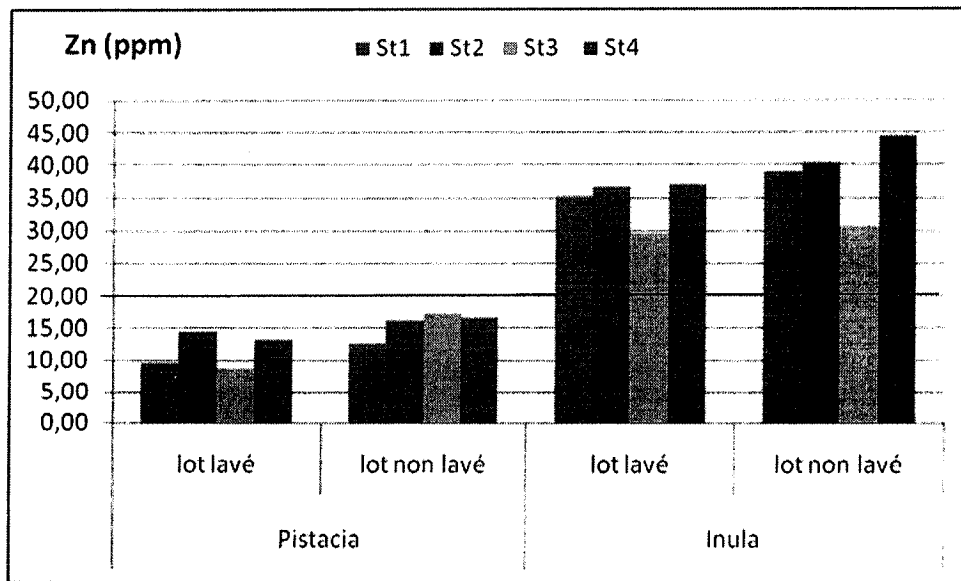


Figure 21 : Variation de la concentration du Zn chez les deux espèces en fonction des stations.

Pistacia lentiscus :

La teneur en Zn des feuilles lavées du lentisque varie d'une station à une autre. Elle est maximale en St2 et St4 avec des valeurs de 14,5 ppm et 13 ppm respectivement, et minimale en St3 avec une valeur de 8,5 ppm. Néanmoins, elle est largement inférieure à la gamme normale proposée par Reeves et Baker (2000) (20-400 ppm).

L'étude de la figure 21 montre que les teneurs en Zn du lentisque varient en fonction de celle du sol. En effet, les stations qui présentent les valeurs les élevées dans le sol sont celles qui donnent les valeurs les plus élevées dans la plante. Par exemple, les feuilles concentrent 14 ppm de Zn sur un sol qui contient 54,23 ppm et concentrent 8,5 ppm dans un sol qui contient 10,71 ppm. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélée une corrélation entre la concentration en Zn du lentisque et celle du sol ($r = 0,784$). Donc cette espèce peut être considérée comme espèce bio indicatrice du Zn dans le sol.

***Inula viscosa* :**

La teneur maximale en Zn des feuilles lavées de l'inule est enregistrée dans les St4 et St2 avec des valeurs sensiblement rapprochées de 36.81 ppm et 36,44ppm. La teneur minimale est enregistrée dans la St 3 est égale à 29.63ppm. Mais les teneurs restent toutes comprises dans la gamme des teneurs normales données par Reeves et Baker (2000) qui est de 20 à 400 ppm.

Aussi, l'étude de la figure 21 montre que les teneurs en Zn de l'inule varient en fonction de celle du sol. Par exemple, les feuilles concentrent 36,81 ppm de Zn sur un sol qui contient 74,24 ppm et concentrent 29,63 ppm dans un sol qui contient 10,71 ppm. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélée une corrélation entre la concentration en Zn de l'inule et celle du sol ($r= 0,953$). Donc cette espèce peut être considérée comme espèce bioindicatrice du Zn dans le sol.

Pour l'interprétation de ces résultats relatifs au facteur de transfert, on s'intéresse seulement aux feuilles lavées pour connaître le degré de transfère des métaux lourds du sol vers les feuilles.

D'après le tableau 20, la valeur la plus élevée du facteur de transfert (F) se trouve dans la St3 pour les deux espèces avec des valeurs de 0,79 et 2,77 pour respectivement le lentisque et l'inule. Ceci peut être du aux caractéristiques physicochimiques de cette station (CEC). Il semble donc que l'Inule absorbe le Zn mieux que le lentisque.

Selon le tableau 6 réalisé par Bliefert et Perraud (2009), *Pistacia* absorbe des quantités modérées du Zn , donc sa mobilité est modérée dans les quatre stations (>1). La même chose pour *Inula viscosa* sauf dans la St3 (2.77) où le transfère est bon.

Tableau20 : Facteur de transfère du Zn du sol vers les plantes dans les différentes stations.

Stations	Lot de feuilles lavé de <i>Pistacia</i>	Lot de feuilles lavé d'Inula
St1	0.22	0.79
St2	0.77	0.67
St3	0.79	2.77
St4	0.18	0.50
Moyenne	0,49	1,18

Pour l'interprétation de ces résultats relatifs aux métaux issus de dépôts atmosphériques, on s'intéresse aux feuilles lavées et non lavées pour connaître le taux de dépôt atmosphérique sur les feuilles des végétaux. .

L'étude de la figure 21 et du tableau 21, montre qu'après lavage, les teneurs foliaires moyennes du lentisque et de l'inule sont diminuées respectivement d'environ 26% et 10%. Il semble donc de les feuilles du lentisque retiennent plus de Zn à partir des dépôts atmosphériques que l'inule. Les dépôts les plus importants sont enregistrés en St3 pour le lentisque et St4 pour l'Inule

Tableau 21 : dépôts atmosphériques du zn sur les feuilles des plantes dans les différentes stations.

	Dépôts sur les feuilles			
	<i>Pistacia</i> (ppm)	Inula (ppm)	<i>Pistacia</i> (%)	Inula (%)
St1	2,92	3,78	23,32	9,73
St2	1,50	3,9	9,38	9,67
St3	8,50	0,87	50	2,85
St4	3,50	7,59	21,21	17,09
Moyenne	4,10	4,03	25,98	9,83

VI.2.1. 2. Accumulation de Pb chez les deux espèces en fonction des stations.

Il ressort d'après la figure 23, qu'il y a une supériorité des teneurs en plomb des feuilles non lavées que celles des feuilles lavées du *Pistacia* et d'Inula

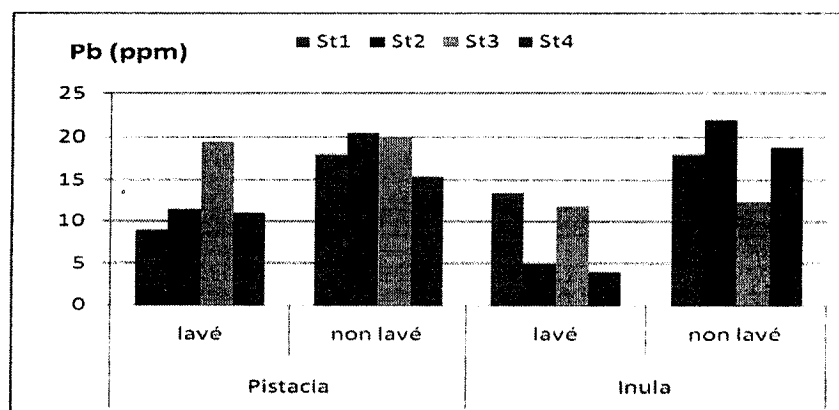


Figure 22: Variation de la concentration du Pb chez les deux espèces en fonction de stations

Pistacia lentiscus :

La teneur en Pb des feuilles lavées oscille entre un minimum de 9 ppm retrouvé en St1 et un maximum de 19,50 ppm retrouvé en St3. Néanmoins, elle est supérieure à la gamme normale proposée par Reeves et Baker (2000) (0,1-5 ppm).

L'étude de la figure 22 montre que les teneurs en Pb du lentisque varient en fonction de celle du sol. Par exemple, les feuilles concentrent 9 ppm de Pb sur un sol qui contient 28,85 ppm et concentrent 11,59 ppm dans un sol qui contient 31,81 ppm. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélé une corrélation entre la concentration en Pb du lentisque et celle du sol ($r= 0,629$). Donc cette espèce peut être considérée comme espèce bioindicatrice du Pb dans le sol.

***Inula viscosa* :**

La teneur en Pb des feuilles lavées de l'inule varie d'une station à une autre. Elle est maximale en St1 avec une valeur de 13.5 ppm suivie par la station St3 avec une teneur de 11,94ppm. Pour ces deux stations, on remarque que la teneur est supérieure à la gamme normale proposée par Reeves et Baker (2000) (0,1-5 ppm). Par contre la station St2 et St3 avec des valeurs de 4,98 ppm et 3,98 ppm sont comprises dans la gamme normale.

De même, l'étude de la figure 23 montre que les teneurs en Pb de l'inule varient en fonction de celle du sol. Par exemple, les feuilles concentrent 13,5 ppm de pb sur un sol qui contient 28,85 ppm et concentrent 3,98 ppm dans un sol qui contient 41,28 ppm. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélé aucune corrélation négative entre la concentration en Pb d'*Inula* et celle du sol ($r= -0,804$). Donc cette espèce ne peut être considérée comme espèce bioindicatrice du Pb dans le sol.

D'après le tableau22, la valeur la plus élevée du facteur de transfert (F) se trouve dans la St3 pour les deux espèces avec des valeurs de 0,44 et 0,31 pour respectivement le lentisque et l'inule. Il semble donc que le lentisque absorbe le Pb mieux que l'inule. Le facteur de transfère du Pb pour les deux espèces dans les quatre stations est modéré (>1).

Tableau22: facteur du transfère du Pb du sol vers les plantes dans les diffères stations.

Stations	Lot de feuilles lavé de Pistacia	Lot de feuilles lavé d'Inula
St1	0.31	0.47
St2	0.36	0.16
St3	0.80	0.49
St4	0.27	0.10
Moyenne	0,44	0,31

L'étude de la figure 23 et du tableau 23, montre qu'après lavage, les teneurs foliaires moyennes du lentisque et de l'inule sont diminuées respectivement d'environ 31,36% et 46,31%. Il semble donc de les écailles de l'inule retiennent plus de Pb à partir des dépôts

atmosphériques que le lentisque. Les dépôts les plus importants sont enregistrés en St3 pour le lentisque et St4 pour l'Inule, donc environ la moitié du Pb provient du dépôt atmosphérique.

Tableau23 : dépôts atmosphériques du Pb sur les feuilles des plantes dans les différentes stations.

	Dépôts sur les feuilles (ppm)		Dépôts sur les feuilles (%)	
	Pistacia	Inula	Pistacia	Inula
St1	9	4,5	50	25
St2	9	16,92	43,90	77,27
St3	0,5	0,5	2,5	4,02
St4	4,48	14,93	29,04	78,95
Moyenne	5,75	9,21	31,36	46,31

VI.2.1. 3. Accumulation de Cu chez les deux espèces en fonction des stations.

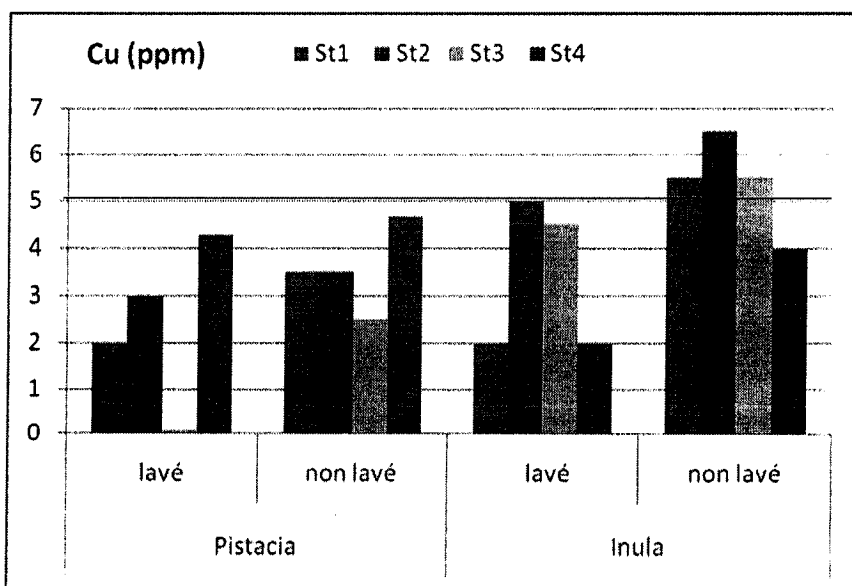


Figure23: Variation de la concentration du Cu dans les deux espèces en fonction des stations.

Pistacia lentiscus:

La teneur en Cu des feuilles lavés oscille entre un minimum de 0,05ppm retrouvé en St3 et un maximum de 4,29ppm retrouvé en St4. Néanmoins, elle est inférieure à la gamme normale proposée par Reeves et Baker (2000) (5-25 ppm).

L'étude de la figure 23 montre que les teneurs en Cu du lentisque varient en fonction de celle du sol. Par exemple, les feuilles concentrent 4,29 ppm de pb sur un sol qui contient

7,71 ppm et concentrent 0,05 ppm dans un sol qui contient 0,68 ppm. D'ailleurs, la matrice de corrélation n'a révélé aucune corrélation entre la concentration en Cu du lentisque et celle du sol ($r=0,429$). Donc cette espèce ne peut être considérée comme espèce bioindicatrice du Cu dans le sol.

Inula viscosa:

La teneur maximale en Cu des feuilles lavées de l'inule est enregistrée dans les St2 avec une valeur de 5 ppm. La teneur minimale est enregistrée dans la St1 et la St4 avec une valeur de 2ppm. Mais, elles restent toutes comprises dans la gamme des teneurs normales données par Reeves et Baker (2000) qui est de 5 à 25 ppm.

Aussi, l'étude de la figure 24 montre que les teneurs en Cu de l'inule ne varient pas en fonction de celle du sol. Par exemple, les feuilles concentrent 2 ppm de Cu sur un sol qui contient 17,53 ppm alors que lorsque le sol a une teneur de 0,68ppm, elles prélèvent jusqu'à 4 ppm. D'ailleurs, la matrice de corrélation n'a révélée aucune corrélation entre la concentration en Cu de inule et celle du sol ($r=0,067$). Donc cette espèce peut être considérée comme espèce bioindicatrice du Cu dans le sol.

Tableau24 : facteur du transfère du Cu du sol vers les plantes dans les diffères stations.

	Lot de feuilles lavé de Pistacia	Lot de feuilles lavé d'Inula
St1	0.11	0.11
St2	0.13	0.22
St3	0.07	6.57
St4	0.56	0.26
Moyenne	0,22	1,79

D'après le tableau24, la valeur la plus élevée du facteur de transfert (F) se trouve en St4 (0,56) pour le lentisque et en St3 (6,62) pour l'inule. Il semble donc que l'Inule absorbe le Cu mieux que le lentisque. En effet, selon le tableau 6 réalisé par Bliefert et Perraud (2009). *Pistacia lentiscus* absorbe des quantités modérées du Cu, donc sa mobilité est modérée dans les quatre stations(>1) . La même chose pour *Inula viscosa* sauf dans la St3 ou le transfère est bon (6,62).

Le facteur de transfert moyen du Cu est modéré pour le lentisque (0,22) et bon pour l'Inule (1,79).

L'accumulation de la proline apparaît comme un assez bon marqueur de stress. IL peut s'agir d'un osmoticum cytoplasmique qui permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans les vacuoles (ZID et GRIGNON, 1991).

antioxydants: D'après MATYSIK et al. (2002), l'accumulation de la proline sous stress serait une stratégie importante pour s'attaquer au haut niveau d'espèce de l'oxygène réactive produit pendant conditions stressantes.

III.3. Sucres solubles :

Les sucres jouent un rôle dominant dans la vie de la plante, ils sont produits par composés de réserves (lipides, saccharose, amidon) qui sont éventuellement dégradés en leurs constituants carbohydatés. La régulation du processus métabolique implique dépend de la concentration en sucres (DELLAA, 2003).

Les sucres jouent un rôle prédominant dans la vie d'une plante, ils sont produits par la photosynthèse, transportés vers les tissus profonds, canalisés vers la respiration ou convertis en composés de réserve qui sont éventuellement dégradés en leurs constituants carbohydrates. L'accumulation des sucres solubles est un moyen adopté par les plantes en cas de stress, à fin de résister aux contraintes du milieu (BAJJI et al., 1998).

Les sucres peuvent protéger les membranes et les protéines contre la déshydratation en incitant la formation d'une sorte de verre aux températures physiologiques (DAVID et al, 1998).

Les sucres accumulés pendant le stress vont probablement être utilisés dans la croissance après la levée de cette contrainte (KAMELI et LOSEL, 1995).

Selon CLIFFORD et al. (1998), l'accumulation des sucres solubles peut résulter d'une augmentation de l'hydrolyse de l'amidon puisqu'ils ont enregistré, simultanément, une diminution de l'amidon et une accumulation de sucres solubles dans les tissus stressés.

III.4. Les composés phénoliques :

Le terme « polyphénol » est fréquemment utilisé dans le langage courant et même dans des articles scientifiques ou de vulgarisation pour désigner l'ensemble des composés phénoliques des végétaux (MACHEIX et al., 2005). Ces substances englobent une vaste gamme de composés possédant tous un groupement hydroxyle (-OH) attaché à un cycle aromatique (un anneau de six carbone avec trois doubles liaisons) (RAVEN et al., 2007). Les types principaux de composés phénoliques sont les lignines, les flavonoïdes et les composés allélopathiques (NABORS, 2008).

Les composés phénoliques ont une répartition très inégale chez les différentes espèces végétale et, pour une même espèce, selon la variété et le stade de l'évolution physiologique. Les variations sont également considérables selon la nature des tissus et des cellules composant le végétale (MACHEIX *et al.*, 2005).

III.4. 1. Rôle des composés phénoliques

Ces métabolites exercent cependant une action déterminante sur l'adaptation des plantes à leur environnement. Ils participent ainsi, de manière très efficace, à la tolérance des végétaux à des stress variés (COLMAR, 2007).

On peut également noter que les flavonoïdes, en repoussant les prédateurs par leur goût désagréable, peuvent protéger les plantes. Certains d'entre eux jouent un rôle de phétoalexines. Ils assurent ainsi la protection des tissus contre les effets nocifs des rayonnements ultraviolets (HADI, 2004).

Les flavonoïdes sont considérés comme antioxydants puissants capables d'inhiber la formation des radicaux libres oxygénés et de s'opposer à l'oxydation des macromolécules.

Les ROS générés par les phagocytes jouent un rôle physiologique important mais ils peuvent également initier l'inflammation et provoquer des dommages tissulaires importantes. Les flavonoïdes peuvent inhiber la peroxydation lipidique dans les différents systèmes biologique : mitochondries, microsomes, chloroplastes et érythrocytes. Plusieurs études ont montrés le rôle des flavonoïdes dans inhibition de l'oxydation des macromolécules comme l'ADN et les protéine.

Chapitre IV

IV.1. Situation géographique

Les différentes stations de prélèvement choisies dans notre travail ont fait l'objet d'une minutieuse reconnaissance des caractéristiques de la région suite à un parcours sur les lieux. Ces stations se situent dans des différentes communes (El-Aouana, Jijel chef lieu, Taher et Chekfa). Certains sites sont plus favorables à la pollution atmosphérique dans la wilaya de Jijel (trafique routier, pollution particulaire par l'exploitation des carrières, industrie et incinération des déchets).

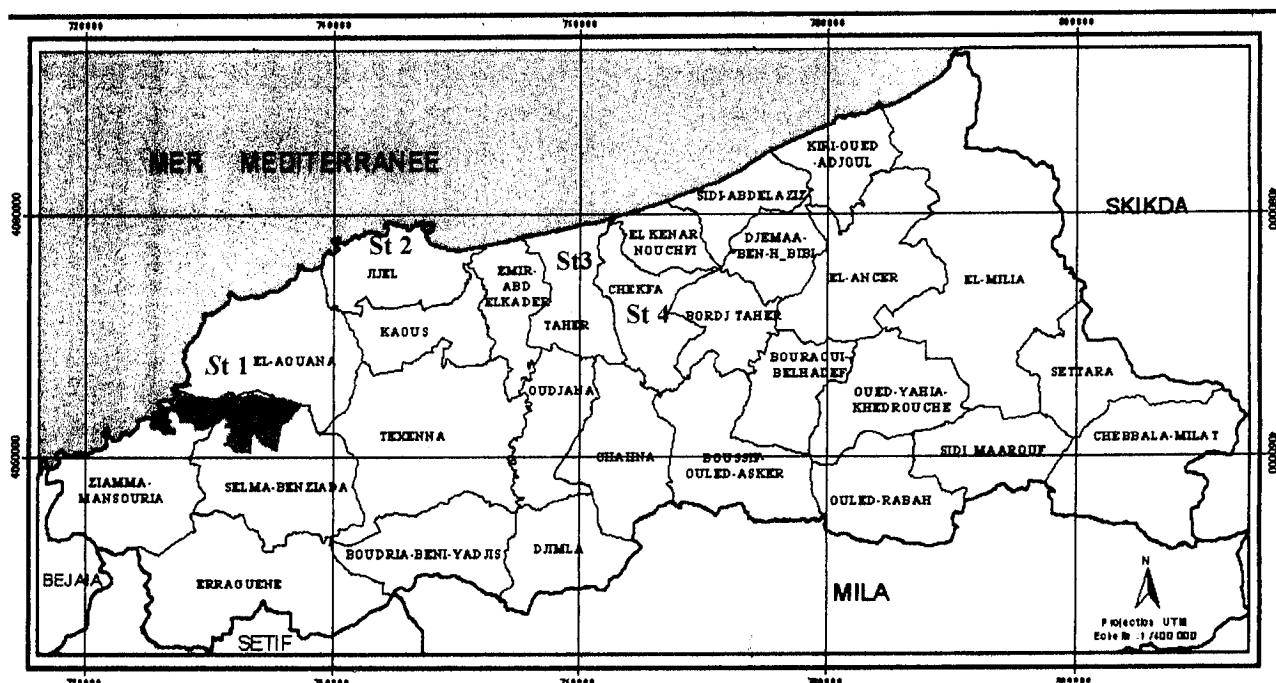


Figure 5 : Carte de situation géographique de Jijel (Plan de gestion, 2010)

Les différentes stations sont portées sur la figure 5:

Station1 : Se localise dans la commune d'El Aouana, cette zone est appelée khrachaa. C'est la station témoin, exempte de toute source de pollution apparente, se caractérise par une végétation dense et claire le feuillage des échantillons est propre et porte de couleur verte foncé.

Station2 : Située à proximité de l'axe routier nationale n° 43 qui relie JIJEL et BEJAYA qui s'appelle Grand Phard, caractérisée par un mouvement routier très important ; le feuillage des échantillons est plein de petite tache noir.

Station3: Zone urbaine, située dans la ville de Taher a proximité d'une décharge sauvage et une zone industrielle, elle s'appelle Ain krinech.

Station4 : Se localise dans la ville de Chekfa devant une carrière ; elle s'appelle El adjarda, elle est soumise aux émissions d'une carrière avoisinante. Le feuillage de la végétation est couvert par les dépôts de poussière et on remarque un rabougrissant des plantes.

IV. 2. Géologie et lithologie

Dans la région de Jijel, nous avons un ensemble de terrains sédimentaire d'âge Mésozoïque et Cénozoïque couvrant les terrains métamorphique, donc la couverture tertiaire repose soit sur le socle Kabyle, soit sur les terrains créacé appartenant à des séries de types flyschs. La couverture tertiaire est constituée de sédiments littoraux, qui se sont déposés dans le bassin de Jijel nettement individualisés durant le Néogène; c'est le bassin Sahélien de Jijel .

IV.3. Climat

La région de Jijel est soumise à un climat du type méditerranéen tempéré, caractérisé par un hiver humide et un été chaud et humide, l'analyse climatique est réalisée à partir des données établies par l'Office National de Météorologie (O.N.M.) pour la station de Jijel du fait que les séries pluviométriques et de température sont complètes. Pour l'analyse des conditions climatiques on dispose d'une série d'observations allant de 1999 à 2008.

Les facteurs météorologiques qui ont un rôle particulièrement important dans la dilution et la dispersion des polluants sont : la température, les précipitations, l'humidité et les vents.

IV.3.1. La pluviométrie :

Les précipitations ont une influence très importante sur le phénomène de pollution, en agissant sur l'élimination des particules polluantes qui se déposent sur les feuilles des plantes.

Les formes de précipitations atmosphériques accentuent le lessivage des aérosols en les entraînant vers le sol. Les plantes et les impuretés de l'air provoquent ainsi la contamination de la lithosphère et l'hydrosphère.

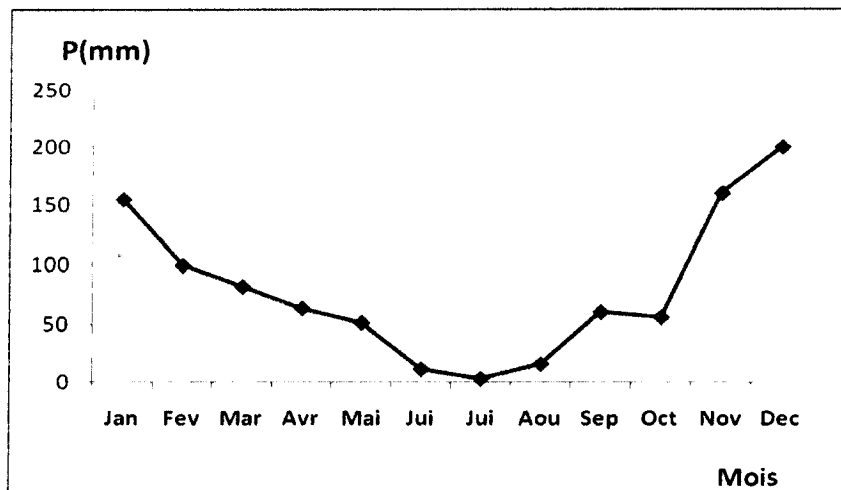
***Moyennes mensuelles des précipitations**

Le tableau ci-dessous montre que la moyenne pluviométrique annuelle enregistrée sur une période de dix ans (1999-2008), est de 948 mm. La période pluvieuse se situe entre le mois de septembre à mai, totalisant 923.26 mm, soit 97.39% des précipitations.

Tableau11 : Moyenne mensuelles des précipitations.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P (mm)	154.85	99.49	81.78	63.82	51.55	5.47	3.21	16.06	58.64	56.16	160.02	196.95	948

Source : O.N.M. (1999-2008)

**Figure 6** : Variation des précipitations moyennes mensuelle de la période de 1998 à 2008.**IV.3.2. Les variations saisonnières :**

Le tableau 12 montre que la distribution des précipitations est inégalement répartie durant les saisons. Le maximum des précipitations est observé en automne et en hiver ou il atteint 196.95 (mm) au mois de décembre.

Tableau 12 : Distribution des précipitations selon les saisons (O.N.M. 1999-2008)

Saisons	Jan à Mars	Avr à juin	Juil à Sept	Oct à Déc	Total
Pluviométrie (mm)	336.12	120.84	77.91	413.13	948

IV.3.3. La température :

Comme pour les précipitations, les données concernant la température ont été obtenues à partir de la station météorologique de Jijel. Le tableau 13 résume la moyenne maximale et minimale de la température pour la période de (1999/2008).

IV.3.4. Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :

Nous essayons, par la méthode classique de Bagnouls et Gausсен de combiner les données climatiques de la région par une synthèse climatique pour mieux évaluer la nature du climat.

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен nous permet d'évaluer l'intensité et la durée de la période de sécheresse. Pour ce diagramme, les mois de l'année sont représentés sur l'axe des abscisses, il regroupe en même temps la courbe des précipitations représentée en ordonnée à droite en mm selon une échelle double de celle des températures représentées à gauche en °C.

L'analyse de deux paramètres climatiques (précipitations et température) permet de tracer la courbe ombro-thermique de Gausсен qui met en évidence deux périodes (figure 9) :

- L'une de sécheresse (zone hachurée): du mois de Juin au mois d'Aout.
- Et l'autre humide: s'étend sur le reste de l'année.

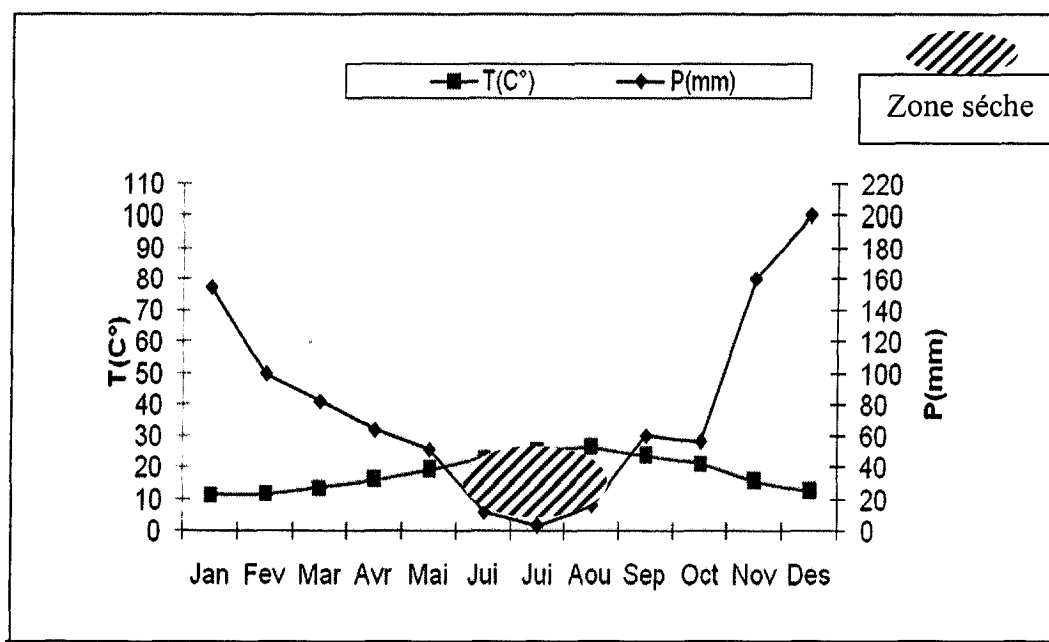


Figure 8 : Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la région de Jijel.

IV.3.5. Le vent :

IV.3.5. Le vent :

Le vent est l'un des éléments les plus caractéristiques du climat, il s'exprime par sa fréquence, sa direction et son intensité. C'est un facteur très important pour la dispersion des polluants.

La figure 9 montre que les vents dominants sont de direction Nord-Ouest. Les vents nord amènent les pluies pendant la saison humide et adoucissent le climat en réduisant les fortes chaleurs en été.

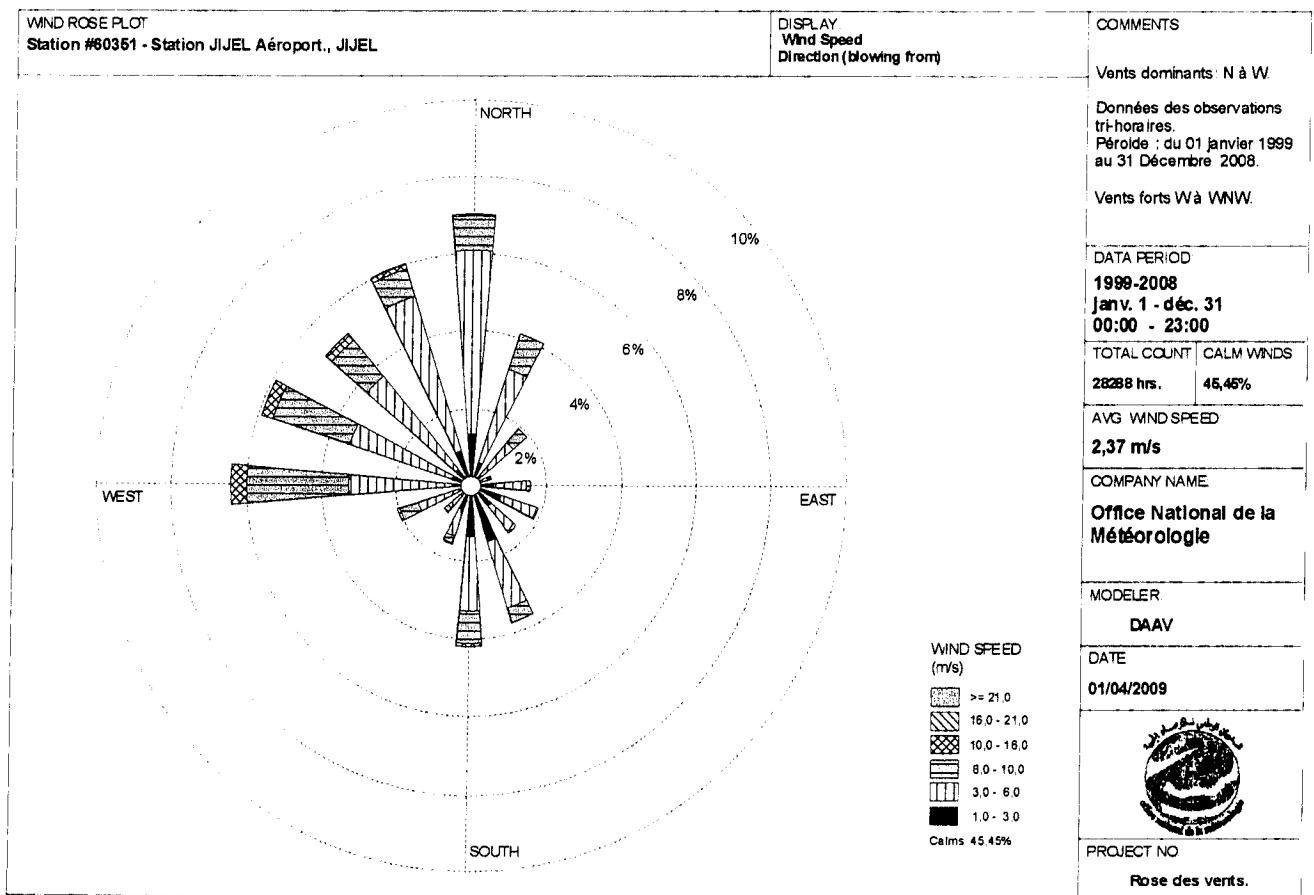


Figure9: Direction des vents. (O.N.M., 1999 -2008)

IV.4. Aperçu sur l'état de l'environnement de la zone d'étude

Notre zone d'étude est soumise à différents types de pollution d'origine différente:

- Incinération périodique d'une décharge publique sauvage
- Exploitation de carrières
- Le trafic routier
- Présence d'une zone industrielle

IV.4.2. Evolution du parc automobile dans la wilaya de Jijel

Au cours des dernières années, la circulation véhiculaire a connu un taux d'accroissement remarquable dans la wilaya de Jijel , ceci est due principalement au développement du parc automobile de la wilaya comme le montre le tableau15, ce dernier résume le nombre de véhicules enregistré au cours des années passées (1990-2010) dont 13858 véhicules ont été marqué entre les années 2001-2005 par rapport à 48545 véhicules au cours de 2006-2010.

Tableau 15 : le nombre des véhicules enregistré au niveau de la wilaya de Jijel au cours des années (1990-2010) (Selon le bureau des cartes grises, 2011).

Genre de véhicule Année	Véhicule tourisme	Camion	camionnettes	Bus	Tracteur Routier	Tracteur Agricole	Semi-remorque	Moto	Matérielles des travaux publics	Totale
1990-1995	3428	205	601	449	45	77	122	01	06	4934
1996-2000	2188	35	1007	161	31	45	58	04	301	3830
2001-2005	6546	2056	3050	185	413	409	531	20	648	13858
2006-2010	27785	4800	10123	1545	794	1201	1459	87	880	48674
Totale	39947	7096	14781	2340	1283	1732	2170	112	1835	71296

V.1. Méthodologie

V.1.1. Choix du matériel végétal :

Le choix de ces espèces se justifie par leur abondance dans les régions d'étude. Les deux espèces choisies sont : *Pistacia lentiscus* et *Inula viscosa*.

V.1.1.1. *Pistacia lentiscus*



Figure10 : *Pistacia lentiscus*(station 3 :décharge)

a. Position taxonomique

Embranchement : Phanérogames

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Famille : Anacardiacees

Genre : *Pistacia*

Espèce : *Pistacia lentiscus*

Nom vulgaire: Etrou.

b. Caractéristiques botanique et écologiques :

Arbrisseau de 1 à 3 m de haut. Il a des tiges ramifiées et des feuilles persistantes, composées de 4 ou 5 paires de folioles entières, des fleurs rougeâtres en grappes denses, et des fruits très petits, de couleur rouge, non comestible.

Une odeur forte de térébenthine, une saveur amère et camphrée.

Connue au Maroc Et très commun dans le tell Algérien, les lieux boisés et les maquis, il préfère les terrains siliceux. (BABA AISSA, 1991).

c. Usage et propriétés :

-Parties utilisées: feuilles, mastic (exsudation résineuse très rare dans l'Algérie).

-Constituants: essence, tannin, masticine.

Tableau 25: dépôts atmosphériques du Cu sur les feuilles des plantes dans les différentes stations.

	Dépôts sur les feuilles (ppm)		Dépôts sur les feuilles (%)	
	Pistacia	Inula	Pistacia	Inula
St1	1,5	3,5	42,86	63,64
St2	0,5	1,5	14,29	23,08
St3	2,45	1	98,00	18,18
St4	0,37	2	7,94	50,00
Moyenne	1,21	2,00	40,77	38,72

L'étude de la figure 23 et du tableau 25, montre qu'après lavage, les teneurs foliaires moyennes du lentisque et de l'inule sont diminuées respectivement d'environ 40,77% et 38,72%. Il semble donc que les feuilles de l'inule et du lentisque retiennent presque la même quantité de Cu à partir des dépôts atmosphériques et varient d'une station à une autre.

Les dépôts les plus importants sont enregistrés en St3 à proximité de la zone industrielle et la décharge sauvage avec une valeur de 2,45 ppm et un taux de 98,00 ppm, pour le lentisque contrairement pour l'Inule où on a enregistré un dépôt de 63,64% de Cu pour la station St1 (témoin).

VI.2.1.4. Accumulation de Cd chez les deux espèces en fonction des stations

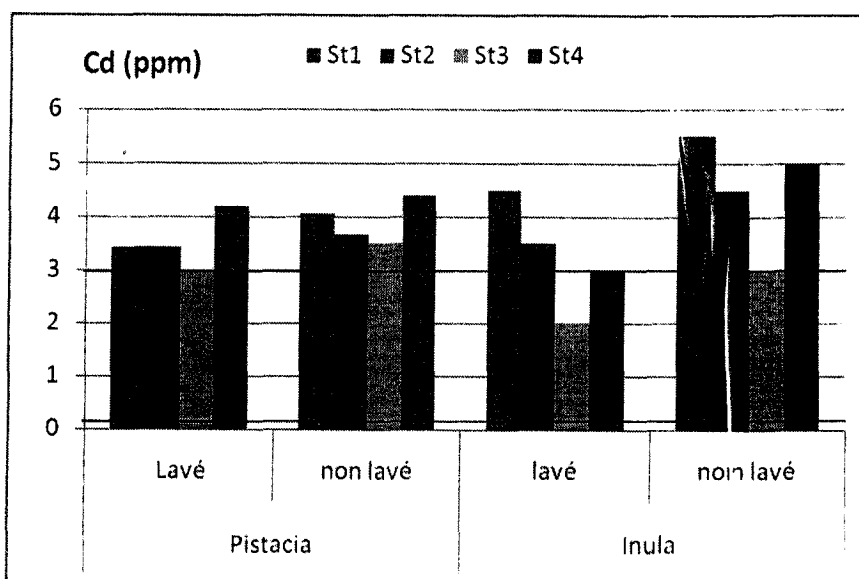


Figure24 : Variation de la concentration du Cd dans les deux espèces en fonction des stations.

***Pistacia lentiscus* :**

La teneur en Cd des feuilles lavées oscille entre un minimum de 3 ppm retrouvé en St3 et un maximum de 4,19 ppm retrouvé en en St4. Elle est supérieure à la gamme normale proposée par Reeves et Baker (2000) (0,1-3 ppm) en St1, 2 et 4, mais reste dans cet interval pour la St3 (3ppm).L'étude de la figure 24 montre que les teneurs en Cd du lentisque varient en fonction de celle du sol. Par exemple, les feuilles concentrent 4,19 ppm de Cd sur un sol qui contient 1,27 ppm, alors que lorsque le sol a une teneur de 4ppm, elles ne prélèvent que 3,44 ppm. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélée une corrélation négative entre la concentration en Cd du lentisque et celle du sol ($r = -0,559$). Donc cette espèce ne peut être considérée comme espèce bioindicatrice du Cd dans le sol.

***Inula viscosa* :**

Pour l'*Inula viscosa*, la valeur maximale des feuilles lavées est enregistrée en St1 avec une valeur de 4.5ppm, la valeur minimale est enregistrée en St 3(2ppm).

L'étude de la figure 24 montre que les teneurs en Cd de l'inule ne varient pas en fonction de celle du sol. Par exemple, les feuilles concentrent 4,5 ppm de Cd sur un sol qui contient 2,71 ppm, alors que lorsque le sol a une teneur de 4ppm, elles ne prélèvent que 3,5 ppm. D'ailleurs, la matrice de corrélation n'a révélée aucune corrélation entre la concentration en Cd de l'Inule et celle du sol ($r = -0.248$). Donc cette espèce ne peut être considérée comme espèce bioindicatrice du Cd dans le sol.

D'après le tableau 26, la valeur la plus élevée du facteur de transfert (F) se trouve dans la St4 pour les deux espèces avec des valeurs de 3,304 et 2,36 pour respectivement le lentisque et l'inule. D'après la valeur moyenne du F, Il semble donc que le lentisque absorbe le Cd mieux que l'inule (1,67 contre 1,44).

En effet, en St1, St3 et St4 la mobilité du Cd est bonne. Alors que pour l'Inule, la mobilité du Cd est bonne en St1 et St4 (comprise dans l'intervalle 1-10).

Tableau 26 : Facteur du transfère du Cd du sol vers les plantes dans les diffères stations.

	Lot de feuilles lavé de Pistacia	Lot de feuilles lavé d'Inula
St1	1.31	1.72
St2	0.85	0.87
St3	1.21	0.81
St4	3.30	2.36
Moyenne	1,67	1,44

L'étude du tableau 27, montre qu'après lavage, les teneurs foliaires moyennes du lentisque et de l'inule sont diminuées respectivement d'environ 10,13% et 28,43%. Il semble donc que les écailles de l'inule retiennent plus de Cd à partir des dépôts atmosphériques que le lentisque. Les dépôts les plus importants sont enregistrés en St1 et St3 pour le lentisque et avec respectivement 14,85% et 14,29% St4, tandis que pour l'inule les dépôts les plus importants sont enregistrés en St4 avec 40% suivi de St3 avec 33,33%.

Tableau 27 : Dépôts atmosphériques du Cd sur les feuilles des plantes dans les différentes stations.

	Dépôts sur les feuilles (ppm)		Dépôts sur les feuilles (%)	
	<i>Pistacia</i>	<i>Inula</i>	<i>Pistacia</i>	<i>Inula</i>
St1	0,60	1,00	14,85	18,18
St2	0,23	1,00	6,27	22,22
St3	0,50	1,00	14,29	33,33
St4	0,23	2,00	5,10	40,00
Moyenne	0,39	1,25	10,13	28,43

VI.2.2. Teneur en eau.

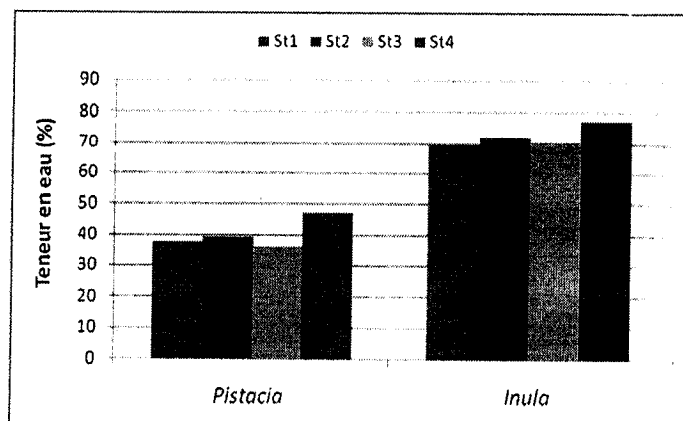


Figure 25 : Teneurs en eau pour les deux espèces selon les stations.

D'après la figure 25 et le tableau 6 cité en annexe II, il semble que la teneur en eau foliaire est inaltérée.

D'après l'historgramme, on remarque que l'inule enregistre une teneur plus élevée que le lentisque (moyenne de 73% contre 40%).

Selon plusieurs auteurs une baisse de la teneur en eau des organes de la plante est le plus souvent notée en cas d'un stress métallique (Lamoreaux et Chaney, 1977 cités par Russo et Brennan, 1979 ; Barcelo et Poschenrieder, 1990 ; Pandolfini et al., 1992). Celle-ci est à la base d'une diminution de la pression de turgescence et de plasticité pariétale des cellules, responsable d'une activité mitotique faible donc d'une réduction de la croissance (Maroti et Bogner, 1991 ; Pandolfini et al., 1992). Ceci n'est pas le cas pour les deux espèces.

VI.2.3. Accumulation de la chlorophylle.

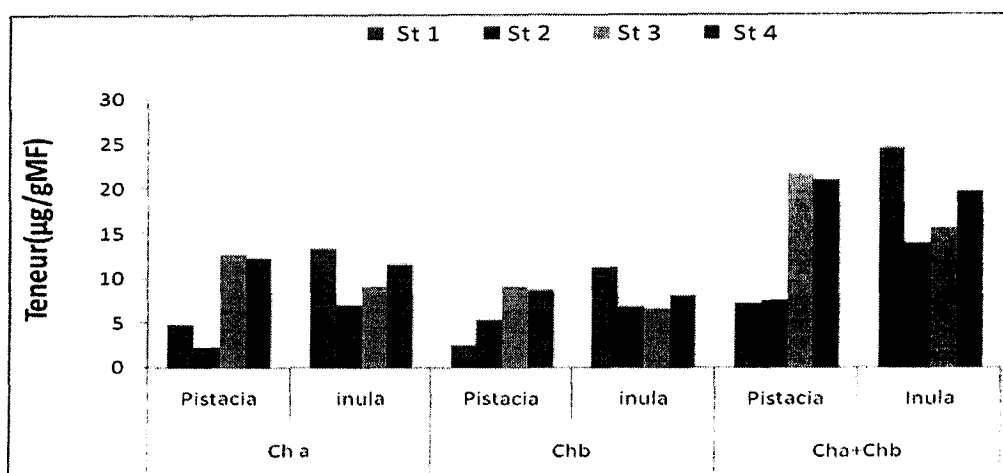


Figure 26 : Variation des teneurs en chlorophylles en fonction des stations étudiées.

-Cha, Chb, Cha+b

Les résultats de l'évolution dans l'espace de la chlorophylle a, b, a+b chez les deux espèces sont représentés dans la figure 27 et le tableau 7 (annexe II).

Pistacia lentiscus :

La figure 26 montre que la valeur maximale de la teneur en chlorophylle totale est enregistrée dans la station St3 (21,610 mg/gMF), tandis que la valeur minimale de la chlorophylle totale est enregistrée dans la station St2 (7,149 mg/gMF). Les faibles teneurs en station 1 (station témoin) est peut être due à une carence en éléments minéraux, ces derniers peuvent avoir des répercussions négatives sur le processus photosynthétique.

En effet, la diminution de la synthèse des pigments chlorophylliens peut être due à une déficience en certains éléments comme le N (Zhao et al., 2005), le Mn (Samuelsson et Oquist, 1980), le Fe ou en le Mg (Ouzounidou et al., 1992).

***Inula viscosa* :**

Comme l'illustre la figure 26, nous remarquons que la teneur maximale en chl totale est affichée en S1 (station témoin) avec une valeur de 24,45 μ g/g MF, les plus faibles valeurs sont affichées en station S2 (Axe routier) avec ne valeur de 13,74 μ g/g MF.

Comme le cas du lentisque, la matrice de corrélation a révélée une corrélation négative entre la concentration en Cu de l'inule et celle de la chlorophylle ($r=-0,906$). On constate aussi qu'il existe un lien positif entre la chlorophylle et le Cd ($r=0.657$).

Donc le la teneur foliaire du Cu chez les deux espèces végétales à affecter la photosynthèse.

- **Rapport Chl a/chl b**

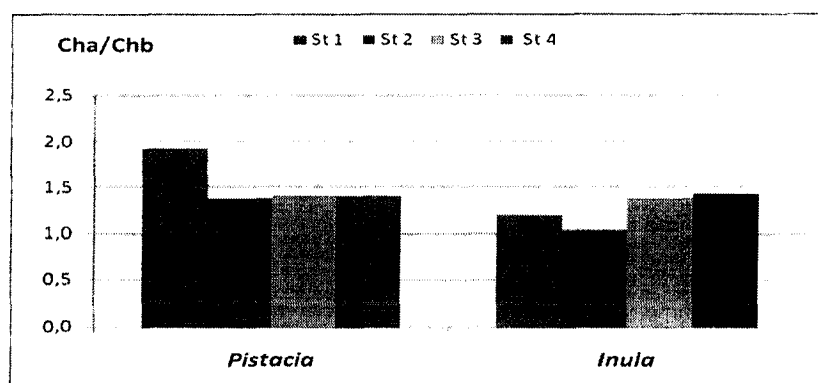


Figure 27 : Variation du rapport Cha/Chb en fonction des stations étudiées.

Comme le montre la figure 28, le rapport Chl a/Chl b chez *Pistacia* est variable selon les stations, en effet, le rapport le élevé est enregistré dans la station St1 avec une valeur de 1,92 et le plus faible est enregistré dans les autres stations avec respectivement des valeurs de 1.38, 1.401 et 1.408 dans les stations St2, St3 et St4

Chez *Inula*, les rapports Cha/Chb sont sensiblement égaux. La valeur varie entre un maxima de 1,43 μ g/gMF dans la station St4 et un minima de 1,034 μ g/gMF dans la station St2. Ce rapport reste très loin du normale qui est de 2 chez les végétaux, chiffre avancé par CEREVE (1999), alors que MILCENT (2003) donne une proportion naturelle d'environ 3/1.

Donc, on a une dégradation de la chl a dans les stations St2, St3 et St4 parce que le rapport chl a/b a diminué, ceci peut être expliquer par la conversion de la chl a en chl b.

Djanaguiraman et al. (2006), attribuent la réduction de la chl à une augmentation de l'activité de l'enzyme chlorophyllase ou l'intéruption de la structure fine de la chloroplaste et l'instabilité du pigment.

Donc, les résultats de notre expérimentation indique que le rapport chl_a/chl_b est un paramètre très fiable, qui nous renseigne sur les conditions défavorables du milieu.

En effet, la chute du rapport qui correspond aux substrats dans la St 2, St3 et St4 peut être expliquée par une exposition de ces plantes à un stress ; tandis que le rapport qui correspond aux St1 (station témoin) peut être expliquée par un bon fonctionnement des plantes dans cette station et par l'absence du stress.

La teneur en chlorophylle est le critère le plus utilisé pour quantifier l'état général de la plante, c'est un excellent bioindicateur de pollution et de stress (Tripathi et Tripathi, 1999).

En effet, l'action des polluants même à faible dose, se manifeste avant l'apparition de symptômes visibles, par des modifications dans la proportion des pigments chlorophylliens, donc, on peut donc suivre les effets d'une pollution par dosage de ces pigments.

La diminution dans le taux de la biosynthèse de la chlorophylle s'accompagne par une diminution de l'assimilation chlorophyllienne, donc une diminution de l'élaboration de la matière organique ce qui entraîne une perte dans la croissance des espèces et par la suite des pertes de rendement.

VI.4. Accumulation de la proline.

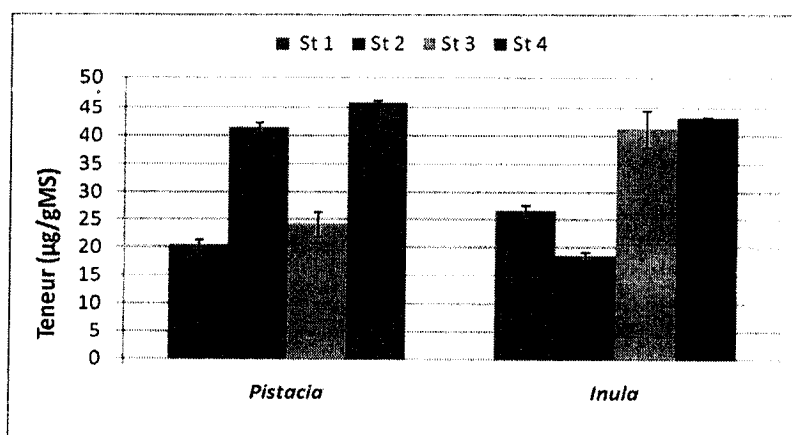


Figure 28: Variation des teneurs en proline foliaire chez les deux espèces en fonction des stations.

Les résultats illustrés dans la figure 28 et le tableau9 cité en annexeII, montrent une différence d'accumulation de la proline entre les différentes stations.

D'après l'histogramme on remarque que pour le *Pistacia*, la valeur maximale de l'accumulation de la proline est enregistrée dans la St4 avec une teneur de 45,977 µg/gMS et la valeur minimale dans la station St1 avec une teneur de 20.388 µg/gMS.

Les plus fortes teneurs en prolines se traduisent par soit une meilleur adaptation et résistance de *Pistacia* aux métaux lourds, soit à l'effet des radicaux libres sur la dégradation des protéines membranaires. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélé une corrélation

entre la concentration de la proline et celle des métaux lourds : Zn ($r=0.892$), Pb ($r=0.982$), Cu ($r=0.818$) et Cd ($r=0.730$).

Pour *Inula* la valeur maximale est enregistrée dans la St4 avec une teneur de 43,114 $\mu\text{g/gMS}$ et la valeur minimale est enregistrée dans la station St2 avec une teneur de 18.676 $\mu\text{g/gMS}$. La matrice de corrélation n'a révélé aucune corrélation entre la concentration de la proline et celle des métaux lourds.

Selon un point de vue, l'accumulation de proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (Dix et Pearce, 1981; Hanson et al., 1977 cités Zid et Grignon, 1991; Larher et al., 1993), celle-ci peut être le résultat de processus complémentaires : stimulation de sa synthèse (Morris et al., 1969; Boggess et al., 1976), inhibition de son oxydation (Stewart et al., 1977; Rayapati et Stewart, 1991) et/ou altération de la biosynthèse des protéines (Stewart et al., 1977).

L'accumulation de la proline est l'une des manifestations les plus remarquables du stress salin et hydrique. Elle peut s'agir d'un osmoticum cytoplasmique qui permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques (Zid et Grignon, 1991).

VI.2.5. Accumulation des sucres solubles

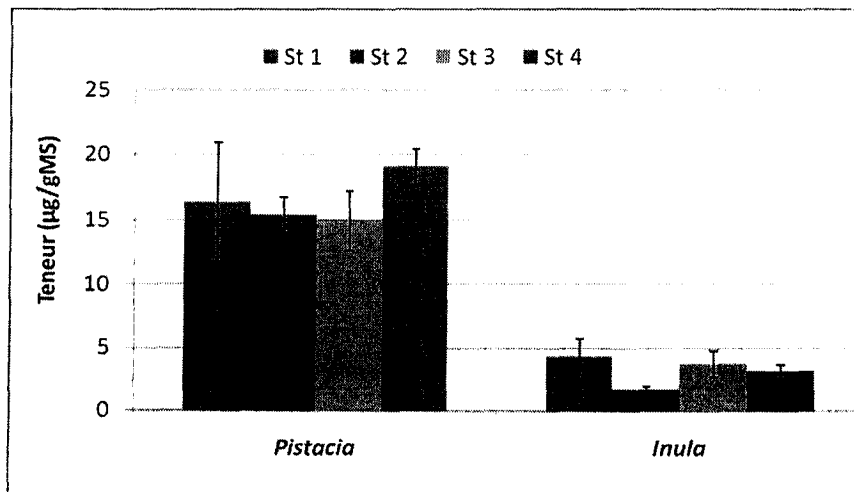


Figure 29 : Variation des teneurs en sucres solubles foliaire chez les deux espèces en fonction des stations.

Les résultats de l'accumulation des sucres solubles sont consignés dans le tableau 10 (annexe II) est illustré par la figure 29. D'après l'historgramme on constate une différence d'accumulation entre espèces et entre Stations.

En effet, *Pistacia lentiscus* accumule une teneur en sucres solubles beaucoup plus élevée qu'*Inula viscosa* au moyenne 16,42µg/gMS contre 3,21µg/gMS.

***Pistacia lentiscus* :**

Chez *Pistacia*, la valeur la plus élevée est affichée en St4 avec une valeur de l'ordre de 19,05µg/gMS par contre la valeur la plus faible est enregistrée St3 avec une valeur de 14,93µg/gMS.

Les plus fortes teneurs se traduisent par une meilleur adaptation et résistance de *Pistacia* aux Cu et Cd. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélé une corrélation positive entre la concentration en sucres solubles et celle du Cu ($r=0,792$) et le Cd ($r=0,958$).

Aussi, la matrice de corrélation, a révélé une corrélation entre les sucres solubles et la proline ($r=0,565$)

***Inula viscosa*:**

Chez *Inula*, la valeur maximale est enregistrée au niveau de la station St1 avec une valeur de 4,29µg/gMS et la valeur minimale est enregistrée dans la St2 avec une valeur de 1,66µg/gMS. Les plus fortes teneurs se traduisent par une meilleur adaptation et résistance d'*Inula* aux Pb. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélé aucune corrélation entre la concentration en sucres solubles et celle du Pb ($r=0,792$).

Massantini et al (1990) in Dellaa précisent que sous stress métallique, les plantes accumulent des teneurs en sucres solubles

Les sucres jouent un rôle dominant dans la vie de la plante, ils sont produits par photosynthèse, transportés vers les tissus profonds, catalisés vers la respiration ou convertis en composés de réserves (lipides, saccharose, amidon). La régulation du processus métabolique impliqué dépend de la concentration en sucres (DELLA, 2003)

L'accumulation des sucres n'est autre qu'un phénomène d'adaptation au stress, permettant à la plante de maintenir sa turgescence par la diminution du potentiel hydrique, c'est une forme d'ajustement de son potentiel osmotique (Monneveux, 1989).

Ce type de tolérance permet à la plante d'assurer normalement ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique interne (De Raissac, 1992

Les sucres peuvent protéger les membranes et les protéines contre la déshydratation en incitant la formation d'une sorte de verre aux températures physiologiques (David et al., 1998).

VI.2.6. Accumulation de l'HPCD (produits de peroxydation lipidique)

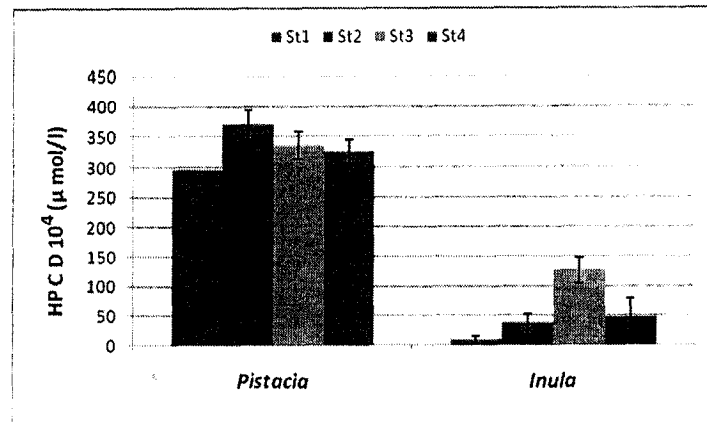


Figure 30 : Variation de l'HPCD foliaire chez les deux espèces en fonction des stations.

Les résultats illustrés dans la figure 30 montrent une grande différence entre les espèces, on remarque que le lentisque accumule HPCD avec des teneurs plus grandes que les teneurs enregistrée par l' Inula au moyenne $331,736 \times 10^4 \mu \text{ mol / l}$ contre $55,588 \times 10^4 \mu \text{ mol/l}$.

Pistacia lentiscus :

Chez *Pistacia*, la teneur maximale est enregistrée en St2 avec une valeur de $369,275 \times 10^4 \mu \text{ mol / l}$ et la teneur minimale est enregistrée dans la St1 avec une valeur de $295,873 \times 10^4 \mu \text{ mol / l}$.

Pistacia indique l'état stressant ce qui veut dire l'influence des activités industrielles, celles de la carrière et du trafic routier.

Les plus fortes teneurs se traduisent par une altération des lipides membranaires. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélé une corrélation positive entre la concentration en HPCD et celle du Zn ($r=0,622$) et la concentration en HPCD et celle du Pb ($r=0,711$).

D'après la matrice de corrélation, on a révélé aussi une corrélation entre les HPCD et la proline ($r=0,569$).

Inula viscosa:

Chez *Inula*, une valeur maximale est enregistrée dans la St3 ($126,626 \times 10^4 \mu\text{mol/l}$) et une valeur minimale enregistrée dans la St1 ($8,613 \times 10^4 \mu\text{mol/l}$). *Inula* est surtout affectée en St3.

Les plus fortes teneurs se traduisent par peroxydation lipidique d'*Inula* sous des teneurs élevée en Pb.

D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélée une corrélation positive entre la concentration en HPCD et celle du Cu ($r=0,514$).

D'après la matrice de corrélation, on a révélé aussi une corrélation positive entre les HPCD et la proline ($r=0,602$) et négative avec la chlorophylle ($r=-0,580$).

L'augmentation du niveau de produit de peroxydation lipidique est l'une des conséquences d'un stress oxydant (la peroxydation des lipides membranaires), l'accumulation du malondialdéhyde et HPCD, produits qui résulte serait un indicateur métabolites d'un stress oxydant.

Aussi, l'augmentation des taux de la proline peut être dû soit à la synthèse de cet acide aminée et joue un rôle défense contre les radicaux libres produits lors d'un stress métallique (Zn et Pb), soit l'effet des radicaux libres sur la dégradation des protéines et des polypeptides suite à une peroxydation des lipides membranaires.

Selon Favier et al. (1995), l'augmentation de la concentration des radicaux libres dans les cellules vivantes conduit à la fuite membranaire, la sénescence, la destruction de la chlorophylle et à la diminution de la photosynthèse. Cet état de fait est constaté chez *Inula* ou on a constaté une diminution des taux de chlorophylles chez *Inula*. D'ailleurs la matrice de corrélation a révélé une corrélation négative entre les HPCD et la chlorophylle ($r=-0,580$).

VI.2.7. Quantification des composés phénoliques.

Les composés phénoliques sont des métabolites exercent cependant une action déterminante sur l'adaptation des plantes à leur environnement. Ils participent ainsi, de manière très efficace, à la tolérance des végétaux à des stress variés (COLMAR, 2007).

VI.2.7.1. Accumulation des phénols totaux.

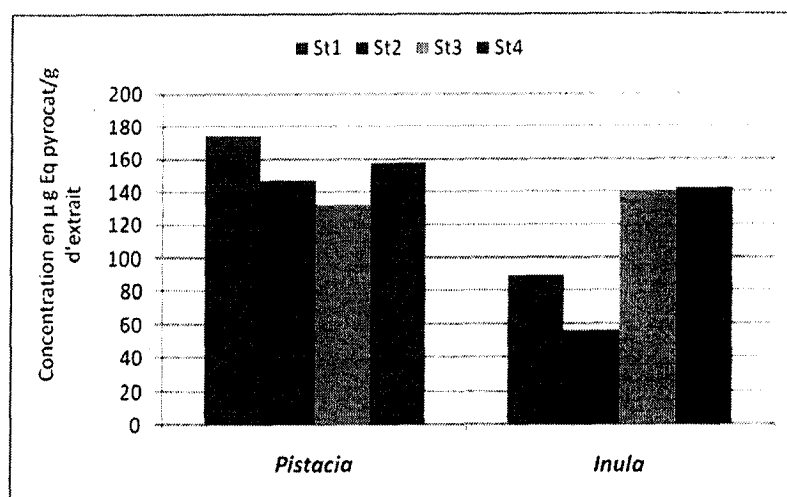


Figure31 : Variation des teneurs en phénols totaux foliaire chez les deux espèces en fonction des stations.

La figure 31 représente les variations de la teneur en phénols totaux exprimés en μg équivalent pyrocatécol/g d'extrait des deux espèces en fonction des stations. Les résultats illustrés dans cette figure montrent une grande différence entre espèces et entre stations.

Pistacia lentiscus

En effet, nous constatons que *Pistacia* accumule des teneurs en phénols totaux plus élevées que celle d'*Inula* avec une moyenne station de $152,13 \mu\text{g}$ équivalent pyrocatécol/g d'extrait pour *Pistacia* et $106,82 \mu\text{g}$ équivalent pyrocatécol/g d'extrait pour *Inula*

la teneur la plus faible des extraits éthanoliques de *Pistacia lentiscus* est de $131,56 \mu\text{g}$ Eq pyrocatecol/g d'extrait pour la station St3 et la teneur la plus élevée est de $173,48 \mu\text{g}$ Eq pyrocatecol/g d'extrait éthanolique pour la station St1.

D'ailleurs, la matrice de corrélation n'a révélé aucune corrélation entre la concentration en phénols totaux et les métaux lourds.

D'après la matrice de corrélation, on a révélé aussi une corrélation négative entre les phénols totaux et la chlorophylle ($r=-0,516$)

Aussi, la matrice de corrélation, a révélé une corrélation négative entre phénols totaux et les produits de peroxydations lipidique (HPCD) ($r=-0,688$). Les phénols sont considérés comme des antioxydants de premier choix

Inula viscosa

La teneur des extraits éthanoliques d'*Inula viscosa* varie d'une station à une autre la teneur la faible est de $55,64 \text{ mg}$ Eq pyrocatecol/g d'extrait éthanolique enregistrée dans la station

St2 et la teneur la plus élevée est de 142,53 mg Eq pyrochat/g d'extrait éthanolique enregistrée dans la station St4.

D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélé une corrélation entre la concentration en phénols totaux et celle du Cd ($r=-0,65$).

D'après la matrice de corrélation, on a révélé aussi une corrélation entre les phénols totaux et : la proline ($r=0,997$), sucres solubles ($r=0,523$), HPCD ($r=0,610$)

VI.2.7.2. Accumulation des flavonoïdes.

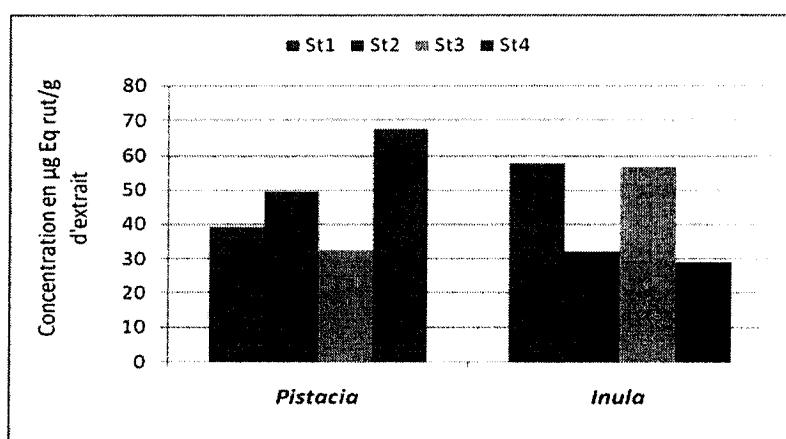


Figure32 : Variation des teneurs en flavonoïdes foliaire chez les deux espèces en fonction des stations.

La lecture des résultats montre que l'accumulation des flavonoïdes varie d'une station à une autre, mais pas entre les deux espèces. En effet, le Pistacia accumule une moyenne de 47,067 µgEq rut/g d'extrait pour les quatre stations et Inula accumule une moyenne de 43,85 µgEq rut/g d'extrait.

Pistacia lentiscus

Pour le lentisque la valeur maximale est enregistrée en St4 (67,200 µg Eq rut/g d'extrait) et la valeur minimale est de 32,400 mg Eq rut/g d'extrait enregistrée dans la St3.

Les plus fortes teneurs chez cette espèce se traduisent par une meilleure adaptation et résistance aux quatre éléments traces étudiés. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélé une corrélation entre la concentration en flavonoïdes et le Zn ($r=0,753$), Pb ($r=0,794$), Cu ($r=0,948$) et Cd ($r=0,96$). D'après aussi la matrice de corrélation, on a révélé aussi une corrélation entre les flavonoïdes et la proline ($r=0,892$) et sucres solubles ($r=0,867$)

Inula viscosa

Pour *Inula* la valeur maximale est de 57, 533 $\mu\text{g Eq rut/g}$ d'extrait enregistrée dans la St1, et la valeur minimale est enregistrée dans la St4 et qui est égale à 29,067 $\mu\text{g Eq rut/g}$ d'extrait.

Les plus fortes teneurs se traduisent par une meilleure adaptation et résistance d'*Inula* aux Pb. D'ailleurs, la matrice de corrélation a révélé aucune corrélation entre la concentration en flavonoïdes et celle du Pb ($r=0,994$).

D'après la matrice de corrélation, on a révélé aussi une corrélation négative entre les flavonoïdes et le Zn ($r=-0,729$)

Aussi, la matrice de corrélation, a révélé une corrélation entre les flavonoïdes et les sucres solubles ($r=0,779$)

Les flavonoïdes peuvent inhiber la peroxydation lipidique dans les différents systèmes biologique : mitochondries, microsomes, chloroplastes et érythrocytes. Plusieurs études ont montrés le rôle des flavonoïdes dans l'inhibition de l'oxydation des macromolécules comme l'ADN et les protéines. Les flavonoïdes sont considérés comme antioxydants puissants capables d'inhiber la formation des radicaux libres oxygénés et de s'opposer à l'oxydation des macromolécules. Ce n'est pas le cas pour les deux espèces étudiées, en effet, on n'a enregistré aucune corrélation entre les flavonoïdes et les HPCD.

A la lumière de tous ces résultats, l'augmentation des teneurs de Cu foliaire a affecté la photosynthèse chez les deux espèces. Les résultats de notre expérimentation indiquent que le rapport chl_a/chl_b est un paramètre très fiable, qui nous renseigne sur les conditions défavorables du milieu.

En ce qui concerne la proline, on a constaté que *Pistacia* accumulent la proline comme métabolite de résistance ou de perturbation à tous les éléments traces étudiés contrairement à *Inula*. qui accumule de la proline comme métabolite de résistance (mais accumulé suite à une peroxydation membranaire).

Quant aux sucres solubles, on constate que le *Pistacia lentiscus* est plus résistante que l'*Inula viscosa*.

Le mécanisme de la tolérance au zinc est essentiellement lié à l'action qui est un agent complexant du zinc dans le plasma (Mathys, 1977; cité par Simon, 1978).

Certains éléments traces tel que le cuivre (Cu) sont à l'origine de dégâts causés à la membrane plasmique. Par conséquent, les plantes hyperaccumulatrices de ces métaux doivent avoir comme propriété parallèle, soit un système de réparation de la membrane, soit un système de résistance de la membrane à l'attaque des métaux (Salt *et al.*, 1998).

Conclusion :

A la lumière des résultats obtenues nous pouvons qualifier les sols comme non pollués par les ML (Zn, Pb, Cu, Cd) à l'exception du Cd ou on a trouvé des valeurs dépassant la norme au niveau de la station témoin et la station qui est située à proximité de l'axe routier, ceci peut s'expliquer par le fait que la station qui se situe à proximité de l'axe routier est sous l'effet d'une pollution atmosphérique par la circulation automobile, donc le dépôt de ce métal lié à l'usure des pneus ou de la roche mère et la contamination de la station témoin par la dispersion par les vents.

Aussi, les paramètres physicochimiques semblent avoir une action sur les teneurs des métaux lourds puisqu'on a trouvé des corrélations entre ces derniers et la matière organique, le pH, la CEC et le calcaire total. En effet, le Cu et le Cd sont des métaux qui ont une tendance à être complexé par la matière organique. Tandis que le Pb et le Zn sont affectés plutôt par le pH.

Nous avons constaté une contamination des deux espèces par le Cd dans les stations qui se trouvent à proximité de l'axe routier, de la carrière, et la station témoin, les teneurs trouvées sont supérieures à la gamme normale proposée par REEVES et BAKER(2000).

Nous avons constaté une contamination des deux espèces par le Pb aussi dans les stations qui se trouvent à proximité de la décharge sauvage et la zone industrielle et de la station témoin, les teneurs trouvées sont supérieures à la gamme normale proposée par REEVES et BAKER(2000).

L'étude des rapports d'accumulation fait ressortir une plus grande aptitude de *Pistacia* à retirer le Cd du sol. Alors qu'*Inula* absorbe le Zn, le Cu.

Aussi, d'après nos résultats, on peut considérer *Pistacia* comme espèces bio indicatrices du Pb et du Zn dans le sol, tandis qu'*Inula* comme espèces bio indicatrices du Cu et du Zn dans le sol.

Toutefois, on a trouvé également des dépôts d'environ 40% du Cu et du Cd sous forme particulaire lors du lavage des feuilles. Donc les polluants peuvent être dispersés loin de la source d'émission suivant ce qui explique la contamination de la station témoins dans certains cas par le dépôt du Cd.

De même les espèces semblent agir différemment selon la teneur en ML et les paramètres physicochimiques :

- Les chlorophylles sont affectées par les teneurs élevées du Cu Cd chez
- Les deux espèces accumulent la proline, les phénols totaux et les flavonoïdes pour résister à l'effet des métaux lourds Pb, Cu, Zn et Cd.

- *Inula* ne semble pas accumuler les sucres solubles comme mécanisme de résistance aux métaux lourds, contrairement à *Pistacia lentiscus*

Les espèces étudiées dans notre travail ont montré des comportements différents vis-à-vis de la pollution atmosphérique particulaire (*Pistacia lentiscus* plus résistante qu'*Inula viscosa*)

Une surveillance continue du niveau de contamination de différentes stations est recommandée surtout si l'on sait que ceux-ci sont utilisés comme plantes médicinales

- 1-**ABDUL W., 2004.** Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. Bot. Bull. Acad. Sin. 45: 133-141.
- 2- **ABDUL RIDA A. M.M., 1992.** Biosurveillance de la contamination du sol : Apport de l'étude des lombriciens a l'évaluation des risques lies aux éléments traces, Thèse d'état, Univ de Montpellier II, France ,234p.
- 3-**ADDAD D., HAMLIS ET BOUAERZOUR H. 2005.** Etude de la réponse des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf.) aux stress abiotiques et des liaisons avec le comportement de la plante en plein champ. 1^{er} Colloque Euroméditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30 novembre 2005.
- 4- **ADLER E., 2001.** Source des métaux lourds.

[http : // www. google.com./sur/sa = u & stant = 3 & q = http = // perso.Wandoo. Fr. / about. bous/apport métaux lourds.htm & 42. htm.](http://www.google.com./sur/sa=u&stant=3&q=http://perso.Wandoo.Fr./about.bous/apport_métaux_lourds.htm&42.htm)
- 5-**AFNOR., 1994.** Qualité des sols. Environnement. Recueil des normes françaises. A.F.N.R., Paris 154p.
- 6-**ALLAWAY W. H., 1968.** Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. Adv. agron. 20, p235-274.
- 7-**ALMEIDA VIEGAS R. et GOMES DA SILVEIRA J. A., 1999.** Ammonia assimilation and proline accumulation in young cashew plants during long term exposure to NaCl-salinity. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal. 11(3):153-159.
- 8-**ANNE T S, ISABELLE F.;2005.** Contamination des sols et transferts des sols vers les plantes, éd: EDP Sciences et ADEME edition, p 29- 64.
- 9- **ANGELONE M, TEOFILI C, DOWGIALLO G ., 1997.** Lead and cadmium distribution in urban soil and plants in the city of Rome : a preliminary study. in: Contaminated Soils: Third International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Paris, May 15-19 1995, (ed Prost R.), D:\data\communic\064.PDF, colloque 85, INRA Editions, Paris, France.
- 10-**ANONYME 1., 1999.** Les végétaux et leurs milieux.Fichier <http://WWW.olfant->

- 11- ANONNYME2., 2001.** Larousse encyclopédie des plantes médicinales, Larousse, 2^{ème} édition.
- 12- BABA AESSA F., 1991.** Les plantes médicinales en Algérie, coédition bouchent et ADDEWAN – Alger.
- 13-BAIZE DENIS., 1994.** Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français premiers résultats du programme ASPITET. Le Courrier de l'environnement n°22, juin 1994. <http://www.inra.fr/Internet/Produits/dpenv/baizec22.htm>
- 14-BAJJI M., KINET J.M., LUTTS STANLEY., 1998.** Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures. *Plant Science*. 137: 131-142.
- 15-BARGAGLI R., 1998.** Trac elements in terrestrial plants. An ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. Springer.324p.
- 16- BERBER S A., 1995.** Soil Nutrient Bioavailability : a mechanistic approach. John Wiley and sons, New-York, Etats- Unis.
- 17- BIELDERS C. ET VANCLOOSTER M., 2001.** Pollution du Sol (POLU 2150) 2000 – 2001. Chap. 2: Les Polluants. www.ger.ucl.ac.be/enseignement/documents/polu2150/transparents/chap_02_2001.pdf
- 18- BLIEFERT C.ET PERRAUD R., 2009.** Chimie de l'environnement ; air, eau, sols, déchets .édition de boeck, paris, p111 – 112.
- 19- BOUNOUR B . 2001.** Effet d'une contamination abiotique sur la plante et les composants de la graine de vicia faba, université de constantine, thèse de magister p3 - 30.
- 20- CEREVE .,1999.** Mesure de la chlorophylle par fluorimétrie.
- 21- CHUGH L.K. AND SAWHNEY S.K., 1999.** Photosynthetic activities of *Pisum sativum* seedlings grown in presence of cadmium. *Plant. Physiol. Biochem.*, 37 (4): 297-303.
- 22—CLAUD F. FERRA C, MEDORI, P. DEVEAUX J., 1998.** Ecologie Approche Scientifique et pratique, édition : Tec et Doc, paris, p 307.
- 23- CLEMENT M. FRANÇOISE, P., 2003.** Analyse chimique des sols Méthodes choisies, édition : TEC&DOC, Londres- Paris – New-York.

- 36- EL-IKLIL Y., KARROU M., MRABET R., ET BENICHOU M., 2002.** Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicon sheesmanii*. Can. J. Plant Sci. 82 : 177-183. Agricultural Institut of Canada
- 37-EL JAAFARI S., 1993.** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et Biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum Aestivum* L.). Doctorat de la faculté des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.214p.
- 38- ERNST WILFRIED. 1972.** Ecophysiological studies on heavy metal plants in south central Africa. Krikia, 8, 2. p125-145.
- 39- FALCY M., HESBERT A., JARGOT D., PROTOIS J.C., REYNIER M., SCHNEIDER O .ET SERRE P., 1998.** Plomp et composés méniraux. INRS. p1-8.
- 40- FORBES V. E., FORBES T. L., AVRIL., 1997.** Ecotoxicologie théorie et application, Paris, France, 256p.
- 41- GAGNARD J., HUGUET C., RYSER J.P., 1988.** L'Analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilization le contrôle de la quantité des fruits. Edition OILB-SROP. p87.
- 42- GILBERT B., ERIC, D., JEAN, P., 2004.** L'entreprise horticole, Approche globale et environnemental, edition: educagri, p 381- 154.
- 43- HOEINING M, DUPIRE S ET WALLAST R, 1979.** L'atomisation électrothermique en spectrométrie d'absorption atomique et son application dans les études de l'environnement. Ed Technique et Documentation/ Paris.
- 44- JAVIER G. ET JOELLE C., 2001.** Les indices de quantité de l'air elaboration de usage et comparaisons internationaux, les pressesl'écol des Mines avec le soution de l'Ademe, Paris, 2001, p12- 14.
- 45- JEAN L. G., 2000.** Biochimie végétal, Dunod, Paris, p 89- 13.
- 46-KAMELI A. ET LOSEL D.M. 1995.** Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. J. Plant Physiol. 145: 363-366.
- 47- LAHAUT A. 2003.** Covtribution ou à l'evaluation de la charge en métaux lourds dans un sol agricole en zon industrielle (El-Hajar-Anaba), Mém d'ingen ecologie, Uni de Constantine, p 30.

- 48- LAROUSSE., 2007.** Le petit Larousse illustré.edition .p1811.
- 49-LOUE A., 1986.** Les oligoéléments en agriculture PCPA, Agri-Nathan international, Paris.
- 50- MATER B., 1974.** Pollution de l'atmosphère, Ed: Eyrolles, Paris, p 24.
- 51- MARTIN I D, FERGUSON C C, 1997.** An approach for predicting trace metal uptake by vegetables grown in contaminated soils. in: Contaminated Soils: Third International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Paris, May 15-19 1995, (ed Prost R.), D:\data\communic\ 105.PDF, colloque 85, INRA Editions, Paris, France.
- 52-MATYSIK J., BHALU ALIA, B. AND MOHANTY P., 2002.** Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. Current Science, Vol.82, n°5,10 : 525-532
- 53- MAKENZIE A., BULLANDY, S., ET VERDEE, S., 2000.** L'essentiel en écologie, ed berti, 2000, Paris, p 328.
- 54- M.F.C., 1974 .** Ministère français de la coopération. Mémento de l'agronome. INRA, Paris, 1591p.
- 55- MILCENT R., 2003.** Chimie organique hétérocyclique - Structures fondamentales Chimie et biochimie des principaux composés naturels.
- 56- MIQUEL G. 2001.** Les effets des métaux sur l'environnement et la santé .[http : // www. Senat. En / rap /100 - 26112 – ht m # toc 92/](http://www.Senat.En/rap/100-26112-htm#toc92/).
- 57-MIQUEL G., 2001.** Les métaux lourds. Rapport 261, Office parlementaire. Edition Masson.pp 160 - 163.
- 58-MOREL J. L, BITTON G, SCHWARTZ C, SCHIAVON M, 1997.** Rapport pour l'OCDE., 1997 . Ecotoxicology: responses, biomarkers and risk assesment.
<http://quasimodo.versailles.inra.fr/inapg/phytoremed/phytoextraction/phytocont.html>
- 59- NORBERG G., FLAWER B.A., NORDBERG M., FRIBERGE L., 2005.** Hande Book one the toxicology of metal, 3rd edition. Ap.
- 60- OUCHIHA S. YAHIAOUI K., 2008.** Etude et mesure de la pollution atmosphérique d'origine automobile en milieu urbain, Mém ingenieur, Uni de Bejaia, p 10.

- 61-OZENDA P., 2000.** Les végétales organizations et diversité biologique. 2^{ème} édition. Dunod, Paris, 516P.
- 62- Pandolfini T., Gabrielli R and Comparini E. (1992).** Nickel toxicity and peroxydase activity in seedlings of *triticum aestivum* L. Plant. Cell and Environ., 15: 719-725
- 63- PERRONO P., 1999.** Les micropolluants métalliques des boues de stations d'épuration urbaine et l'épandage agricole, Mém. D.U.E.S.S., D.E.P., Univ. Picardie, Amiens.
- <http://www.u-picardie.fr/~beaucham/duue/perrono/perrono.htm>
- 64- PICHARD A., 2005.** Le Zinc et ces dérivés, Fiche de données toxicologique et environnementales des substances chimique, INERS.
- 65-REEVES ROGER D et BAKER ALAN J. M, 2000.** Metal-accumulating plants. Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment, edited by Ilya Raskin and Burt d. Ensley:193-229.
- 66- RAMADE F., 2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, 2^{ème} Edition Dunod. Paris. p 1075.
- 67-REEVES ROGER D ET BAKER ALAN J. M , 2000.** Metal-accumulating plants. Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment, edited by Ilya Raskin and Burt d. Ensley:193-229.
- 68-REICHMAN S. M. (2002).** The Responses of Plants to Metal Toxicity: A review focusing on Copper, Manganese and Zinc. © The Australian Minerals & Energy Environment Foundation.
- 69- RICHTER G., 1993.** Métabolisme des végétaux presses polytechniques et universitaires, romande, frances, p VII- 80- 85.
- 70-ROBERT M, 1996.** Le sol: Interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson, Paris.
- 71- ROLAND J.G., HAYAT ET MAAROUF-BOUTEAU., BOUTEAU F., 2008.** Biologie végétale; organization des plantes sans fleur, algue et champignons. 7^{ème} édition Masson. P 124.
- 72- SHALLARI SEIT., 1997.** Disponibilité du nickel du sol pour l'hyperaccumulateur Alyssum murale, Thèse, 1997 Nancy, p6 - 10.

- 73- SIBERLIN N., 1996.** Biodisponibilité des élément traces dans une culture de maïs en champ et conséquences sur le rendement, Mém de fin d'études, IUT Louis pasteur, schiltgheim.
- 74- SOLD A.C., 1988.** Les métaux lourds dans l'atmosphère Agence suédoise pour la protection de l'environnement, programme ADEME., 6p.
- 75-STEWART G. R. et Lee J. A. (1974).** The rôle of proline accumulation in halophytes. *Planta* . 120 : 279-289.z
- 76- TAHRI E. H., BELABED A., SABKI K., 1998 .** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de la proline et chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Tricum durum*). *Bull. Inst. Sci., Rabat*, n° 21, pp : 81-87.
- 77- TABAEIZADEH Z., 1998.** Drought-induced responses in plant cells. *Int Rev Cytol*, 182: 193-247 .
- 78- THIERY L., LEPRINCE A. S., LEFEBVRE D., GHARS M. A., DEBARBIEUX E., et SAVOURÉ A., 2004.** Phospholipase D Is a Negative Regulator of Proline Biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. *J. Biol. Chem.*, Vol. 279, Issue 15, 14812-14818.
- 79- THRIPATHI A.K. AND TRIPATH, S., 1999.** Change in some physiological and biochemical characters in *Albizia lebbek* as bioindicateurs of heavy metal toxicity. *J. Environ. Biol.*, vol.20, n° 2: 93-98.
- 80 – VERGINIE., 2001.** Contamination des milieux par les éléments en traces. les conséquences sur la plante et les écosystèmes. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 2000, 86, n°3, pp. 39-48.
- 81-WU Q, T., 1989.** Biodisponibilité du cadmium dans des systemes sol- plante, thèse de doctorat, INPL, Nancy – Metz.
- 82- KNU ET CHEN.,1986.** Effet of high temperature on proline content in tomato floral buds and leaves.*Sci. Hortic.*111 (5).746-750 IN Chemical abstrat (1986).
- 83- ZID E., GRIGNON C., 1991.** Tests de sélection précoce et résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique, L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux aride.Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris pp. 91-108.

84-Zhao D., Reddya K. Raja,, Kakania Vijaya Gopal, Reddyb Europ V.R. (2005). Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum . J. Agronomy 22: 391–403.

85-WEBBER M. D., SINGH SS., 1999. Contamination des sols agricoles. Centre de recherche de l'EST sur les céréales et l'oligineux (CRECO), Canada.

Annexel :

Courbes d'étalonnage

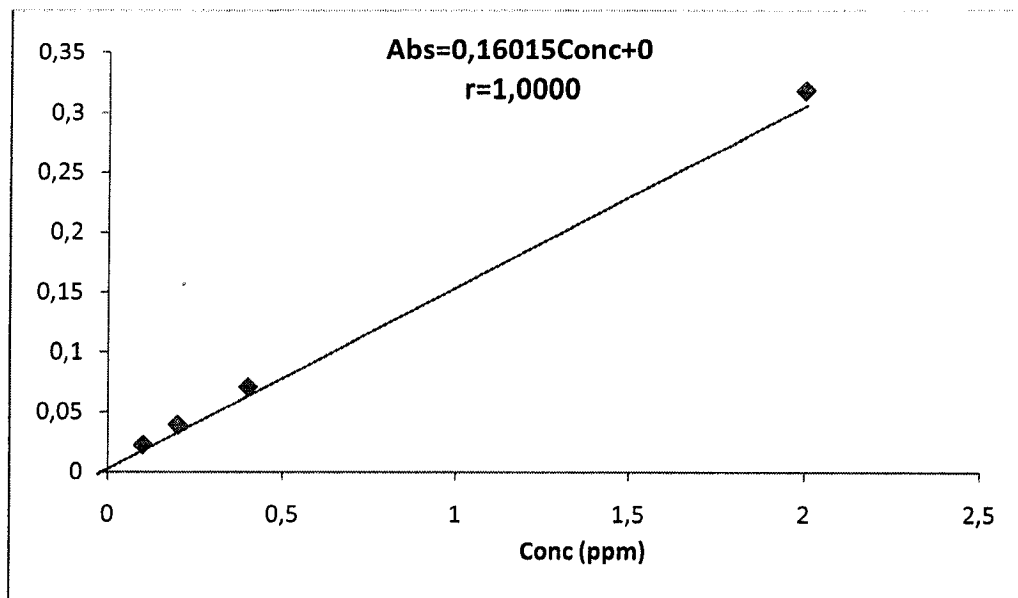


Figure 1: Courbe d'étalonnage de Zinc.

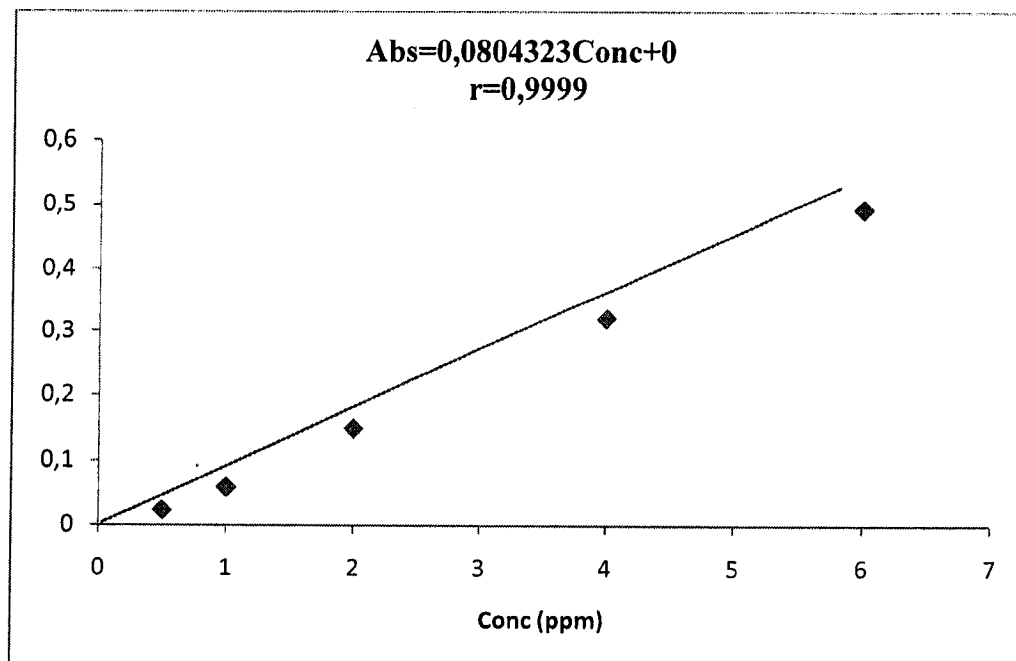


Figure 2: Courbe d'étalonnage du Cuivre.

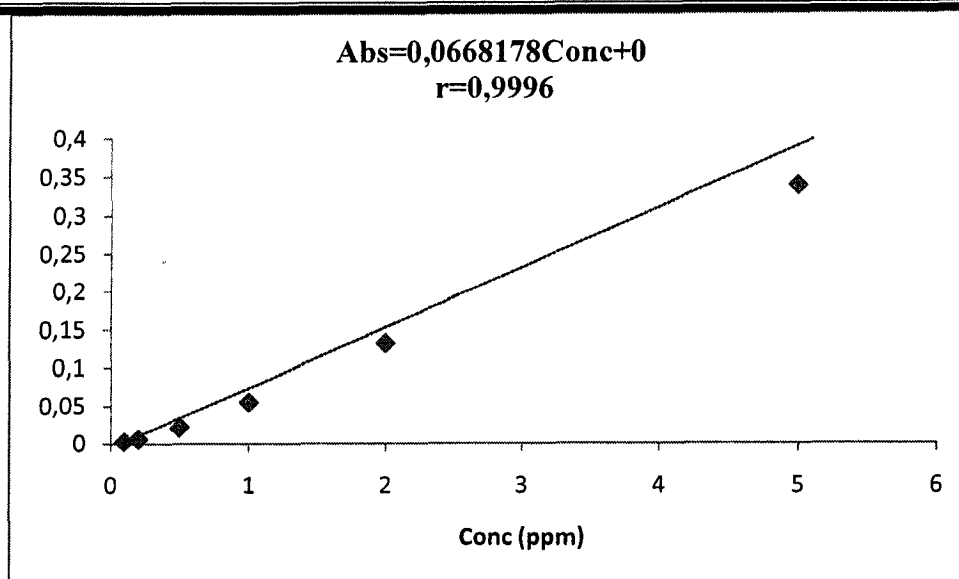


Figure 3: Courbe d'étalonnage du cadmium.

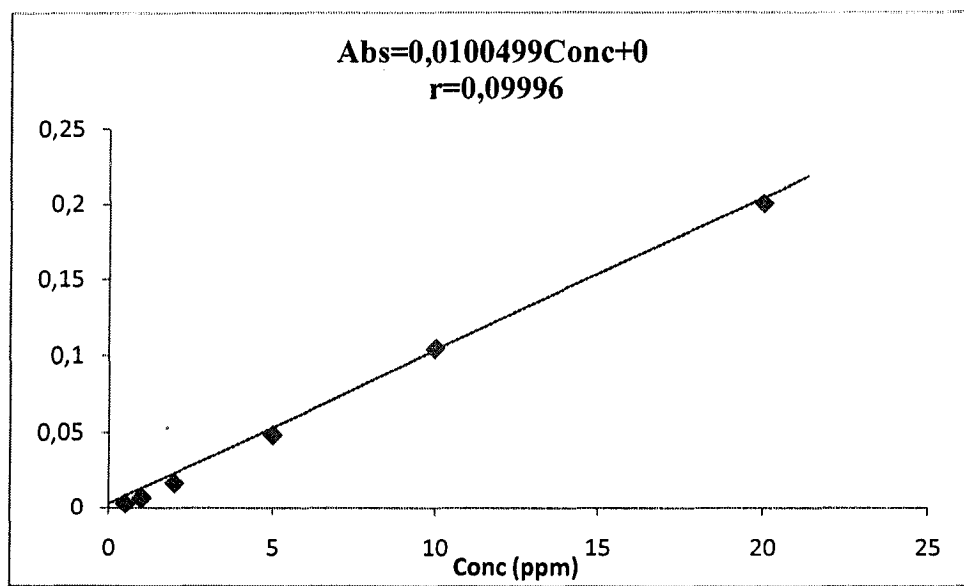


Figure 4: Courbe d'étalonnage du Plomb.

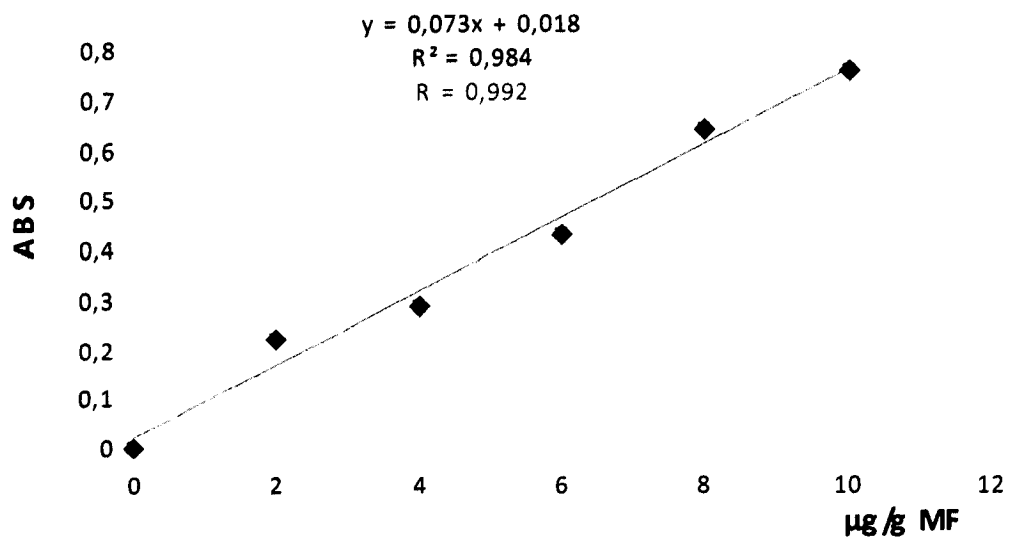


Figure 5: Courbe d'étalonnage de la proline

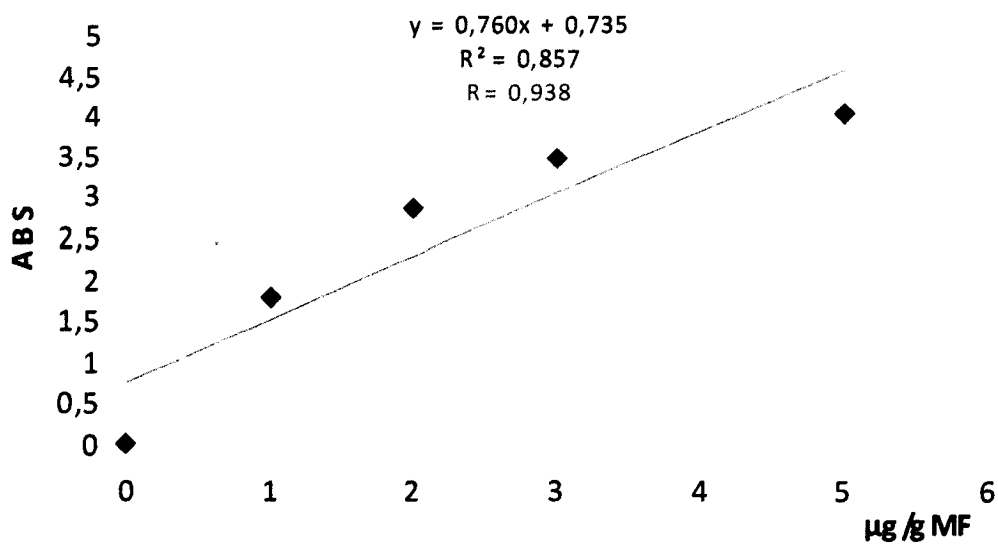


Figure 6 : Courbe d'étalonnage des sucres solubles

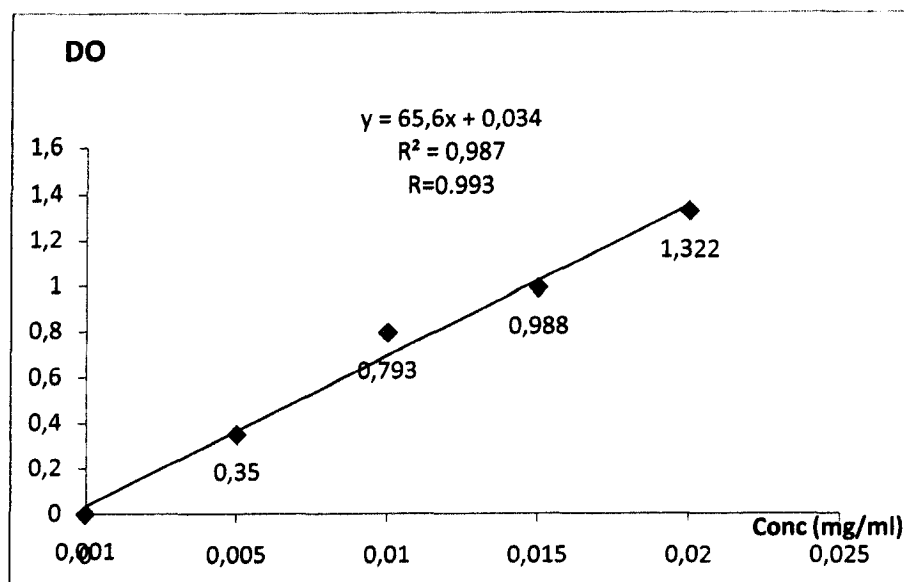


Figure7 : Courbe d'étalonnage avec le pyrocatecholé pour le dosage des phénols totaux

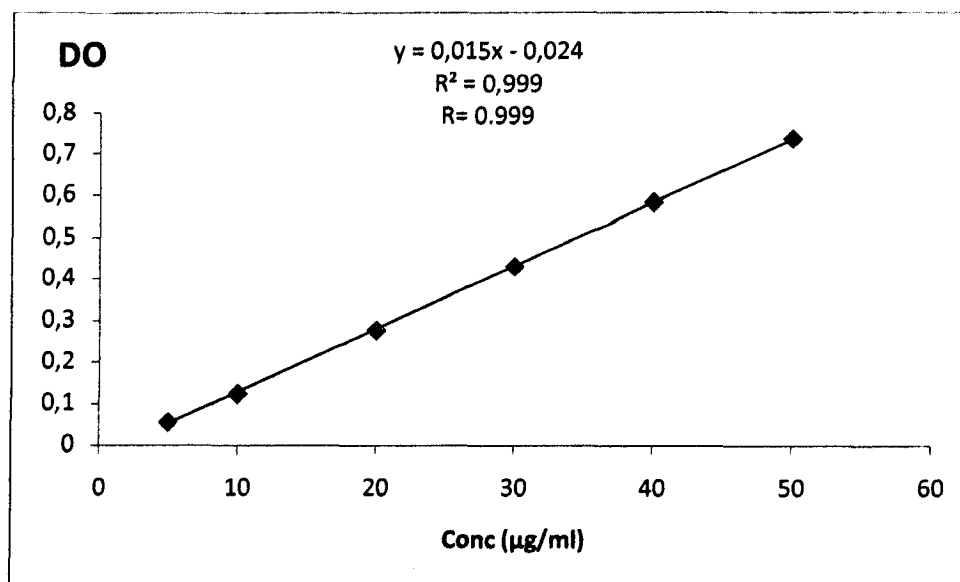


Figure8 : Courbe d'étalonnage avec la rutine pour le dosage des flavonoïdes

AnnexeII: Résultats des paramètres étudiés

Tableau 1: Résultats des paramètres physicochimiques du sol.

Stations Paramètres	St 1	St 2	St 3	St 4
A%	17,08	17,26	20,79	14,62
LF%	52,30	40,66	51,91	30,50
LG%	13,63	17,02	8,91	2,44
S%	16,99	25,06	18,39	52,44
PH	7.38	7.93	7.63	7.19
CE ms	48.6	112	70.7	78.8
CEC(meq/100g)	9.5	10.3	3	8
CaCO₃(%)	0.283	0.212	0.283	0.425
MO	3.913	5.91	2.581	0.215
Zn	44.36	54.23	10.71	74.245
Pb	28.85	31.84	24.38	41.28
Cu	17.53	22.87	0.68	7.71
Cd	2.71	4.00	2.47	1.27

Tableau2 : Zn chez les deux espèces en fonction des stations.

	<i>Pistacia</i>		<i>Inula</i>	
	lot lavé	lot non lavé	lot lavé	lot non lavé
St1	9,59	12,5	35,06	38,84
St2	14,5	16	36,44	40,34
St3	8,5	17	29,63	30,5
St4	13	16,50	36,81	44,40

Tableau3 : Pb chez les deux espèces en fonction des stations.

	<i>Pistacia</i>		<i>Inula</i>	
	lavé	non lavé	lavé	non lavé
St1	9	18	13,5	18
St2	11,5	20,5	4,98	21,89
St3	19,5	20	11,94	12,44
St4	10,95	15,43	3,98	18,91

Tableau4 : Cu chez les deux espèces en fonction des stations.

	<i>Pistacia</i>		<i>Inula</i>	
	lavé	non lavé	lavé	non lavé
St1	2,00	3,50	2,00	5,50
St2	3,00	3,50	5,00	6,50
St3	0,05	2,50	4,50	5,50
St4	4,29	4,66	2,00	4,00

Tableau5 : Cd chez les deux espèces en fonction des stations

	<i>Pistacia</i>		<i>Inula</i>	
	Lavé	non lavé	lavé	non lavé
St1	3,44	4,04	4,5	5,5
St2	3,44	3,67	3,5	4,5
St3	3	3,5	2	3
St4	4,19	4,415	3	5

Tableau6 : teneur en eau chez les deux espèces en fonction des stations

	<i>Pistacia</i>	<i>Inula</i>
St1	37,5	70
St2	39,34	71,95
St3	35,94	70,53
St4	47,06	77,11
Moyenne	39,96	72,40

Tableau7 : Cha, Chb, Cha+Chb chez les deux espèces en fonction des stations

	<i>Pistacia</i>	<i>Inula</i>	<i>Pistacia</i>	<i>Inula</i>	<i>Pistacia</i>	<i>Inula</i>
	Ch a		Chb		Cha+Chb	
St1	4,699	13,297	2,450	11,152	7,149	24,449
St2	2,222	6,985	5,221	6,753	7,444	13,738
St3	12,611	8,941	8,999	6,503	21,610	15,444
St4	12,217	11,493	8,679	8,037	20,896	19,531

Tableau8 : Cha/Chb chez les deux espèces en fonction des stations

	<i>Pistacia</i>	<i>Inula</i>
	Cha/Chb	
St1	1,918	1,192
St2	0,426	1,034
St3	1,401	1,375
St4	1,408	1,430

Tableau9 : La proline chez les deux espèces en fonction des stations

	<i>Pistacia</i>	<i>Inula</i>
St1	Moyenne : 20,388	Moyenne : 26.635
	Ecartype : 3,376	Ecartype : 4.676
St2	M : 41,306	M : 18.676
	E : 0,982	E : 0.543
St3	M : 24,205	M : 41.142
	E : 2,225	E : 3.295
St4	M : 45,977	M : 43.114
	E : 0,253	e : 0.055

Tableau10: Les sucres solubles chez les deux espèces en fonction des stations

	<i>Pistacia</i>	<i>Inula</i>
St1	Moyenne : 16,351	Moyenne : 4,299
	Ecartype : 4,587	Ecartype : 1,434
St2	M : 15,352	M : 1,661
	E : 1,364	E : 0,242
St3	M : 14,926	M : 3,730
	E : 2,296	E : 1,056
St4	M : 19,052	M : 3,147
	E : 1,389	E : 0,578

Annexe IV: Matrices de corrélation

Tableau 1 : Matrice des corrélations entre les facteurs édaphiques et les ETM dans le sol.

	pH	CE	MO	CEC	CaCO ₃	Pb	Zn	Cd	Cu
pH	1								
CE	0.747	1							
MO	-0.467	-0.937	1						
CEC	0.154	-0.276	0.456	1					
CaCO ₃	0.577	0.950	-0.957	-0.179	1				
Pb	0.860	0.722	-0.502	0.456	0.709	1			
Zn	0.742	0.471	-0.229	0.711	0.488	0.950	1		
Cd	-0.381	-0.895	0.988	0.387	-0.964	-0.496	-0.245	1	
Cu	-0.092	-0.594	0.748	0.932	-0.524	0.127	0.430	0.689	1

Tableau 2 Matrice de corrélation entre la teneur du sol en ML et dans les végétaux

	zns	pbs	cus	cds	znp	zni	pbp	pbi	cup	cui	cdp	cdi
Znp	0.783	0.696	0.591	0.278	1.000							
Zni	0.952	0.791	0.702	0.032	0.811	1.000						
Pbp	0.623	0.629	0.346	0.234	0.944	0.594	1.000					
Pbi	-0.746	-0.804	-0.210	0.036	-0.912	-0.650	-0.961	1.000				
cup	0.996	0.951	0.429	-0.222	0.820	0.939	0.684	-0.801	1.000			
Cui	-0.493	-0.502	0.067	0.733	0.152	-0.393	0.343	-0.108	-0.432	1.000		
cdp	0.934	0.985	0.115	-0.559	0.592	0.787	0.491	-0.691	0.932	-0.643	1.000	
Cdi	0.447	0.144	0.802	0.248	0.197	0.645	-0.132	0.146	0.378	-0.475	0.235	1.000

Tableau 3 : matrice de corrélation entre la teneur en ML dans les feuilles lavées et les paramètres nphysiologiques(pistacia)

	zn	pb	cu	cd	ch	prol	sucr	hpcd	phénol	flavo
ch	-0.297	0.096	-0.145	0.144	1.000					
prol	0.892	0.982	0.818	0.730	0.160	1.000				
sucr	0.344	0.401	0.792	0.958	0.324	0.565	1.000			
hpcd	0.622	0.711	0.096	-0.140	-0.038	0.569	-0.349	1.000		
phénol	0.072	-0.223	0.484	0.493	-0.516	-0.105	0.496	-0.688	1.00	
flavo	0.7524	0.794	0.948	0.960	0.170	0.892	0.867	0.138	0.278	1.00

Tableau4 :matrice de corrélation entre la teneur enMLdansles feuilles lavées d'inula et les paramètres physiologique.

	pb	cu	cd	ch	pro	sucr	hpcd	phénol	flavor
ch	0.455	-0.906	0.657	1.00					
prol	0.006	-0.342	-0.661	0.092	1.00				
sucr	0.792	-0.611	0.093	0.749	0.473	1.00			
hpcd	0.138	0.514	-0.956	-0.580	0.602	0.082	1.00		
phénol	0.072	-0.347	-0.650	0.121	0.997	0.523	0.610	1.00	
flav o	0.994	-0.042	0.038	0.376	0.065	0.779	0.245	0.131	1.000

Annexe v : Mode opératoire :

1. Granulométrie :

Mettre dans un bécher de 1000 ml : 10g du sol tamisé a 2mm, 50ml d'eau oxygénée (H_2O_2), ensuite laissé au repos pendant 30mn, puis en placer le bécher sur bain sable et détruire la matière organique.

Transverses le contenu du bécher dans un flacon d'un litre,

Ajouter 20ml d'hexamétaphosphate de sodium,

Compléter jusqu'à 500ml environ avec de l'eau distillée,

Agiter durant une heure au moins sur un agitateur mécanique,

Compléter jusqu'à 1litre avec de l'eau distillée,

La première lecture après 46 secondes, la deuxième après 4 minutes, la troisième après 7 heures.

2. pH :

La mesure du pH consiste à prendre 5g de sol tamisée a 2mm dans un bécher, ajouter 12.5ml d'eau distillé, faire agiter sur un agitateur magnétique pendant 20 minutes et laisser reposer pendant 30 minutes.

Avant de procéder à la mesure du pH il faut étalonner le pH mètre, agiter le contenu du bécher et nettoyer l'électrode, ensuite plonger l'électrode dans la solution du sol et la lecture sera affichée sur l'écran du pH-mètre.

3. Conductivité électrique :

Elle a été déterminée d'un conductimètre sur un extrait aqueux.

Sa mesure consiste à prendre 5g de sol tamisée a 2mm dan un bécher, ajouter 25ml d'eau distillée, agiter 15 minutes, laisser reposer 30 minutes, effectuer les mesures de la conductivité à l'aide d'un conductimètre électrique sur la solution du sol.

4. Capacité d'échange cationique :

Dans un ballon d'un litre, muni d'une chauffe ballon.

- Dans le Becher de collection mettre 40 mL d'acide borique + quelques gouttes d'indicateur de Tachiro dans la colonne de titration on met la solution d' H_2SO_4 .

- Au moment ou le virage de la couleur du violet vers le vert est effectué, on commence la titration par H_2SO_4 et on marque le volume de H_2SO_4 puis on applique la formule de calcul suivante :

Préparer la solution du sol comme suit :

- Mettre 5 g du sol, 7.50 mg de $CaCO_3$ et 50 ml de la solution d'oxalates d'ammonium, agiter Pendant 3 heures et laisser reposer 12 à 16 heures dans un réfrigérateur.

- Mettre 10mL de la solution du sol

- Ajouter 10ml de la solution de NaOH puis 190 mL d'eau et quelques gouttes de la phénophtaléine

$$T = (V_2 - V_1) C \times 50 \times 2 \times 100 / M \times V$$

V_1 : volume de l'échantillon.

C : concentration de H_2SO_4 .

V_2 : volume de témoin.

M : prise d'essai : 5 g de sol.

V : prise d'essai volume 10 ml de la solution du sol.

5. Pour le dosage du calcaire total :

Le calcaire total est déterminé par la méthode volumétrique au calcimètre de BERNARD sur terre tamisée à 2mm, introduire la prise d'essai de poids P dans une erlènemyer muni d'une extension latérale en doigt contenant 5 ml d'HCL, fermé la fiole on la raccrochant au calcimètre, faire couler l'HCL sur l'échantillon du sol pour attaquer le carbonate de calcium.

Si le sol contient le calcaire, il se produit un dégagement du CO_2 déplaçant l'eau dans la colonne de calcimètre d'un volume V_1 .

Procéder de la même manière avec un témoin constitué de 0.3 g $CaCO_3$ pur, soit V_2 le volume obtenu.

Pour calculer le pourcentage du $CaCO_3$ on applique la formule suivante :

$$CaCO_3 \% = \frac{30 V_1}{V_2 P}$$

6. Matière organique :

Introduire la prise d'essai dans un tube. Au moyen des distributeurs, verser respectivement 5ml de solution de bichromate, puis 7,5ml d'acide sulfurique. Puis agiter.

Placer, les tubes dans le bloc chauffant et laisser réagir pendant 30 min. Leur ajouter 50ml d'eau déminéralisée, refroidir dans un bain d'eau.

Lorsque les solutions revenues à température ambiante, ajuster à 75ml avec de l'eau déminéralisée. Homogénéiser soigneusement, laisser décanter pendant 1 h.

Transférer chacune des solutions dans les tubes à centrifuger.

Les solutions sont alors prêtes pour le dosage spectrophotométrique.

7. Extraction des métaux lourds totaux (eau régale)

Le procédé d'extraction consiste à ajouter à 2 g de sol pris à partir d'un échantillon broyé dans un mortier puis passé au tamis de 250 microns, 15 mL d'acide chlorhydrique et 5 mL d'acide nitrique dans un ballon à rodage conique de 250 mL muni d'un réfrigérant.

Laisser en contact pendant une nuit afin de permettre une oxydation lente de la matière organique, puis chauffer dans un chauffe- ballon pendant 2h à une température de 180°C, après refroidissement et rinçage du réfrigérant par quelques mL d'eau déminéralisée, le contenu de ballon est filtré sur papier filtre sans cendre, lavé aux acides à vitesse moyenne de filtration dans des fioles de 100 mL puis compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée

8. Extraction des métaux lourds de plante :

Les métaux est extrait avec une solution sulfonitrique-eau oxygénée. Pour cela, un volume d'acide sulfurique, 3 volumes d'acide nitrique concentré et 3 volumes d'eau oxygénée à 30%, sont ajoutés à 1g d'échantillon de plantes séchées et réduite en poudre, dans un erlenmeyer rodé de 250ml, fixé à un réfrigérant. L'ensemble est chauffé jusqu'à l'ébullition qui est maintenue durant 15 mn.

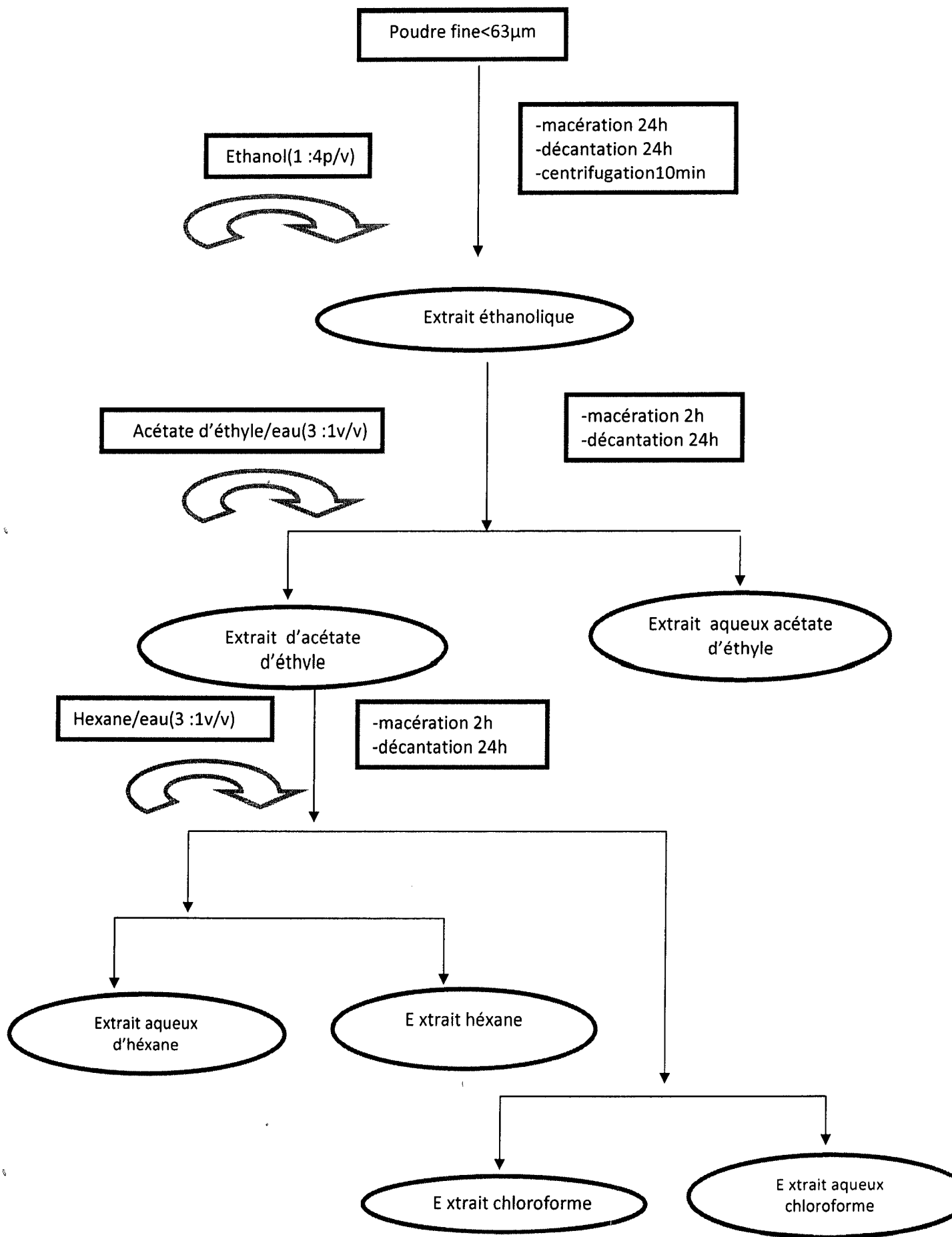


Figure : Schéma récapitulatif des étapes suivies pour la préparation des extrait.

Présenté par : Lalili Hanya
Lounis Nadjeh

Encadreur : M^{lle}. Benterrouche Ilhem

Date de soutenance : 02/07/2010

Thème : utilisation des végétaux dans l'approche Écotoxicologique de la pollution atmosphérique dans la wilaya de Jijel

Résumé :

Résumé :

L'objectif de notre travail est d'évaluer le rôle des végétaux dans la bioindication de la pollution, en ayant recours à différentes approches basées sur l'étude de paramètres biochimiques se traduisant par des perturbations entraînant une accumulation de différents métabolites de résistance (proline, sucres solubles et composés phénoliques). En premier lieu, cela va permettre d'évaluer le degré de contamination par les métaux lourds des différentes stations de la région de Jijel et par la suite celle des végétaux.

Les espèces étudiées dans notre travail ont montré des comportements différents vis-à-vis de la pollution atmosphérique particulaire (*Pistacia lentiscus* plus résistante qu' *Inula viscosa*)

L'utilisation de ces espèces comme bioindicateur de la pollution atmosphérique peut être envisagée

Mot clés : pollution atmosphérique, végétaux bio indicateurs, dépôts atmosphériques, métaux lourds, proline, sucres solubles, phénols totaux, flavonoïdes, HPCD.

ملخص

الهدف من دراستنا هو تقييم دور النباتات في تبيان التلوث باستخدام أساليب مختلفة استنادا إلى دراسة مقاييس بيوكيميائية تترجم إلى اضطرابات مؤدية إلى تراكم ايضات مختلفة ناتجة عن المقاومة (البرولين والسكريات قابل للذوبان ومركبات الفينول). ، هذا سيسمح بتقييم درجة التلوث الجوي الناتج عن تواجد المعادن الثقيلة في محطات مختلفة من منطقة جيجل .
النباتات المستعملة في دراستنا اظهرت سلوكيات مختلفة نظرا للتلوث الهوائى (الطرو اكثر مقاومة من بوريامان) هذه النباتات تستعمل كمؤشرات حيوية للتلوث الجوي.
الكلمات المفتاحية : تلوث الهواء، النبات المؤشرات الحيوية، ، والمعادن الثقيلة ، البرولين، والسكريات القابلة للذوبان ، الفينولات الكلية ، الفلافونويد.

Abstract:

The the aim of our study was to evaluate the role of plants in the bioindicators of pollution by using different approaches based on the study of biochemical parameters that result in disturbances leading to an accumulation of different metabolites of resistance (proline , soluble sugars and phenolic compounds). First, this will allow to assess the degree of contamination by heavy metals from different stations in the Jijel region and beyond that of plants.

Species studied in our work showed different behavior vis-à-vis the particulate air pollution (*Pistacia lentiscus* stronger that *Inula viscosa*)

The use of these species as bioindicators of air pollution may be considered

Key words: air pollution, plant bio-indicators, atmospheric deposition, heavy metals, proline, soluble sugars, total phenols, flavonoids, HPCD.