

Université des Frères Mentouri Constantine 1  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

**Département :** Biologie et Ecologie Végétale : بيولوجيا و علم البيئة النباتية

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Ecologie et Environnement

**Spécialité :** Ecologie Fondamentale et Appliquée

Intitulé :

---

**Utilisation de *Ficus retusa* comme indicateur de la contamination métallique de l'air en bordures de route (Constantine).**

---

**Présenté et soutenu par :** TAMMIN Yasmine et BOUZA Lilia

**Le :** 09/07/2020

**Jury d'évaluation :**

<b>Président du jury :</b>	<b>BAZRI Kamel Eddine</b>	<b>MCA</b>	<b>UFM-Constantine 1</b>
<b>Rapporteur :</b>	<b>SAHLI Leila</b>	<b>MCA</b>	<b>UFM-Constantine 1</b>
<b>Examineurs :</b>	<b>AMRI Sihem</b>	<b>MAA</b>	<b>UFM-Constantine 1</b>



## ***Dédicaces***

*Je dédie ce travail :*

***A mon père et à l'âme de ma chère maman qui est partie trop tôt***

*À qui je dois une part essentielle de ma personnalité. Qu'ils sachent que l'amour qu'ils m'ont donné et que mon père me le donne toujours, continue à m'animer et me permet d'envisager l'avenir comme un défi.*

***A mes chères sœurs « Nanou » et « Rania » et mon cher frère « Badrou »***

*En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

*A mes amies d'enfance « Madjda » et « Marwa » et mes collègues qui on devenus l'une de mes plus proches amies « Roufeida » et « Biba » et plus particulièrement pour ma binôme « Yasmine » on espérant que cette amitié dure pour la vie .*

***Lilia***

*Je dédie ce travail :*

***A toi chère maman*** *Ma source de force, l'exemple du dévouement et le symbole de la bonté par excellence, je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.*

***A toi cher papa*** *Tu n'as jamais cessé de déployer tous tes efforts afin de subvenir à mes besoins, m'encourager et m'aider à choisir le chemin de la réussite. En ce jour, j'espère réaliser l'un de tes rêves.*

***A toi mon frère et mon meilleur ami « Imed »*** *Pour tout l'encouragement, le respect et l'amour que tu m'as offert, Je te dédis ce travail, qui n'aurait pas pu être achevé sans toi*

***A toi mon petit Ange « Malake »*** *No one can make me more comfortable than you. You are the reason why life seems so perfect to me even with all its absurdities!*

***A l'âme de mon cher grand-père,*** *J'espère que tu es fière de ta petite fille, là où tu es.*

***A vous mes amies « Fida », « Biba », « Asha », « Rayen », et à toi bien sur ma binôme « Luu »*** *je n'oublierai jamais tous nos moments passés ensemble et les beaux souvenirs partagés toutes ces longues années d'amitié. Je vous souhaite plein de bonheur et que ce lien dure toujours.*

***Aux deux familles BENYAKHLEF et TAMMIN*** *Il me serait difficile de vous citer tous, vous êtes dans mon cœur, affectueusement.*

***Yasmine***

## **Remerciements**

*La réalisation d'un mémoire de fin d'étude est certes un travail personnel mais pas un travail achevé sans aide ni conseils, c'est l'aboutissement d'un parcours accompli en trois mois qu'on n'aurait pas pu le réaliser seules. C'est pourquoi on tient à exprimer toutes nos gratitudes et nos remerciements.*

*Nous souhaitons avant tout remercier notre encadrante **M<sup>me</sup> SAHLI .L** d'avoir dirigé notre travail avec beaucoup d'efforts et de patience. Ses qualités pédagogiques remarquables nous a permis de profiter de ses connaissances et ont contribué à l'avancement de notre travail en ne négligeant ni ses conseils avisés et précieux ni ses critiques constructives.*

*On remercie tout particulièrement le directeur du Laboratoire Régional de la Police Scientifique de Constantine **Mr ZITOUNI.M** et tout le personnel qui nous a aidé et nous a accueilli chaleureusement avec les meilleures conditions de travail et aussi pour le temps qu'ils ont consacré à nous apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de ce mémoire.*

*On tient également à remercier les membres de Jury de l'intérêt qu'ils témoignent à ce travail en acceptant de participer au jury et plus particulièrement pour:*

*Mr BAZRI Kamel Eddine d'avoir accepté de présider le jury de soutenance,*

*Mme AMRI Sihem d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement nos parents pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui nous a permis de réaliser les études qu'on voulait et par conséquent ce mémoire.*

*Finalement nous voudrions exprimer nos sincères reconnaissances envers nos amies pour leur soutien moral et intellectuel tout au long de nos démarches et toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce cheminement.*

يهدف هذا العمل الى تأكيد مدى نجاعة توظيف الاشجار " *Ficus retusa* " في عملية الرصد

الحيوي اثناء مراقبة جودة الهواء في محاور الطرق و لهذا الغرض تم جمع اوراق شجر «*Ficus retusa*» طول الطريق الوطني رقم 05 الرابط بين محطة نقل الركاب الغربية الواقعة بحي بو الصوف و حي التوت ببلدية قسنطينة لاستعمالها كعينات لتحديد كميات معدني الكاديوم والرصاص المحتوات في كل من الاوراق المغسولة و غير بعد تعيينها على طول هذا المسار(ذهابا وايابا) خلال شهر مارس 2020. 13

لقد تبين من خلال هذه الدراسة ان تركيزات الكاديوم المتحصل عليها منخفضة نسبيا مقارنة بتركيزات الرصاص و هذا بالنسبة لكل من الأوراق المغسولة او الغير مغسولة ; و التي هي كالتالي بالترتيب : 0.988 ميكروغرام/ 37.46 ميكروغرام / غرام في حالة الأوراق غير المغسولة 0.655 ميكروغرام / غرام مقابل 20.76 ميكروغرام / غرام و تعكس هذه النتائج نسبا مرتفعة عن تلك العادية.

لقد سجلنا ايضا نسبا مرتفعة لكل من الكاديوم و الرصاص في الاوراق غير الغسولة مقارنة بالأوراق المغسولة التوالي. 1.8 1.5 تؤكد نتائج مؤشر تراكم المعادن فعالية استخدام شجرة « *Ficus retusa* » في دراسات الاستدلال الحيوي اين اثبتت اوراق شجرة « *Ficus retusa* » مدى نجاعتها في عملية رصد التلوث المعدني للهواء.

ية : *Ficus retusa* الاستدلال الحيوي كاديوم طريق.

**Résumé :**

L'objectif du présent travail était de confirmer l'utilité des essences ligneuses plus particulièrement l'espèce *Ficus retusa* dans les processus de surveillance de la qualité de l'air en domaine routier. Pour cela, des feuilles de *F. retusa* récoltées le long de la route nationale N°05 reliant la station de transports des voyageurs ouest (cité Boussouf) à la cité des Mûriers dans la commune de Constantine, ont servi comme matrices pour la quantification des teneurs en cadmium et en plomb. Treize stations comptant un aller/retour le long de cette route ont été investiguées durant le mois de mars 2020. Les teneurs en cadmium et en plomb ont été déterminées dans les feuilles lavées et non lavées. Les concentrations en cadmium sont relativement faibles par rapport à celles du plomb aussi bien pour les feuilles lavées que non lavées. Ces concentrations reflètent un enrichissement et sont de l'ordre de 0.988 µg/g versus 37.46 µg/g dans le cas des feuilles non lavées, et 0.655µg/g versus 20.76µg/g dans le cas des feuilles lavées, pour le cadmium et le plomb respectivement. Les teneurs en cadmium et en plomb quantifiées dans les feuilles non lavées dépassent largement celles des feuilles lavées. Celles enregistrées pour les feuilles non lavées sont respectivement 1.5 fois et 1.8 fois plus importantes que celles des feuilles lavées. Les résultats de l'indice d'accumulation métallique (MAI) confirment l'efficacité de l'utilisation des espèces ligneuses dans les études de bioindication. Les feuilles de *F. retusa* s'avèrent être de bons outils pour la surveillance de la contamination métallique de l'air.

**Mots clés :** *Ficus retusa*, bioindication, cadmium, plomb, axe routier.

## **Abstract**

The objective of this present work is to confirm the usefulness of woody species, more particularly the species *Ficus retusa* in the air quality monitoring processes in the road sector. For this purpose, the leaves of *F. retusa* were collected along the national road N ° 05 connecting the western passenger transport station (Located in Boussouf city) to the “Mûriers city”, both located in the commune of Constantine. These leaves served as matrices for the quantification of cadmium and lead contents. Thirteen stations in a round trip along this road were analysed during March 2020. The cadmium and lead contents were determined in washed and unwashed leaves.

Cadmium concentrations are relatively low compared to those of lead for both washed and unwashed leaves. They are about 0.988 µg / g versus 37.46 µg / g for unwashed leaves, and 0.655 µg / g versus 20.76 µg / g for washed leaves, for cadmium and lead respectively. The levels of cadmium and lead quantified in unwashed leaves are far exceeding those quantified in washed leaves ; the results recorded for the unwashed leaves are 1.5 times and 1.8 times greater than those recorded in the washed leaves respectively. The results of the metal accumulation index (MAI) confirm the effectiveness of woody species in bioindication studies. Thus, the leaves of *F. retusa* proved to be good tools for monitoring of air metallic contamination.

**Key words :** *Ficus retusa*, bioindication, cadmium, lead, road axis.

## Liste des abréviations

**Al** : Aluminium.

**APG** : Angiosperm Phylogeny Group.

**Ba** : Baryum.

**Ca** : Calcium.

**Cd** : Cadmium.

**CO** : Monoxyde de carbone.

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone.

**COV** : Composés organiques volatils.

**Cr** : Chrome.

**Cu** : Cuivre.

**ETM** : Eléments Traces Métalliques.

**Fe** : Fer.

**FL** : Feuilles lavées.

**FNL** : Feuilles non lavées.

***F. retusa***: *Ficus retusa*.

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Peroxyde d'hydrogène.

**HAP** : Hydrocarbures aromatiques polycycliques.

**K** : Potassium.

**MAI** : Indice d'accumulation métallique.

**Mn** : Manganèse.

**Mo** : Molybdène.

**MT** : Métallothionéines.

**NO<sub>x</sub>** : Oxydes d'azote.

**P** : Précipitations.

**Pb** : Plomb.

**PC** : Phytochélatines.

**PL** : Poids Lourds.

**PM** : Polluants Particulaires.

**ROS** : Reactive Oxygen Species.

**Sb** : Antimoine.

**Si** : Silinium.

**Sn** : Étain.

**SO<sub>2</sub>** : Dioxyde de soufre.

**Sr** : Strontium.

**T. max** : Température maximale.

**T. min** : Température minimale.

**T. moy** : Température moyenne.

**T°** : Température.

**VP** : Véhicule particulier.

**VU** : Véhicule utilitaire.

**Zn** : Zinc.

**Zr** : Zirconium.

## Liste des tableaux :

**Tableau 01** : Les principaux polluants automobiles et leurs origines (Synthèse d'après : Andre and Brutti-Mairesse, 2018 ; Chiron et al. 2018 ; Konate and Barry, 2018).

**Tableau 02** : Quelques caractéristiques physico-chimiques du cadmium.

**Tableau 03** : Quelques caractéristiques physico-chimiques du plomb.

**Tableau 04** : Les valeurs moyennes, maximales, minimales, les maximales record et les minimales record de la température exprimées en °C de la Wilaya de Constantine (Mars 2019-Mars 2020) (Historique météo, 2020).

**Tableau 05** : Cumul des précipitations mensuelles exprimés en mm enregistrées dans la Wilaya de Constantine (Mars 2019-Mars 2020) (Historique météo, 2020).

**Tableau 06** : La vitesse du vent exprimée en Km/h et les températures du vent en °C de la Wilaya de Constantine (Mars 2019-Mars 2020) (Historique météo, 2020).

**Tableau 07** : Répartition du parc automobile de l'Algérie par wilaya (ONS, 2018).

**Tableau 08** : Coordonnées GPS des stations de prélèvement.

**Tableau 09** : Teneurs en cadmium et en plomb dans les feuilles lavées (FL) et non lavées (FNL) de *Ficus. retusa*.

## Liste des figures :

- Figure 01** : Émission et transformation des polluants (Ademe, 2011).
- Figure 02** : Influence du phénomène de l'inversion thermique sur la dispersion des polluants (Sermondadaz, 2016).
- Figure 03** : Structures de dispersion des polluants dans les rues « canyons » (Soulhac et al, 2011).
- Figure 04** : Présentation schématique récapitulative de la bio surveillance d'après Casas (2014).
- Figure 05**: Présentation schématique des taxons bio-accumulateurs d'ETM et des paramètres régissant les phénomènes d'accumulation.
- Figure 06**: Localisation géographique de la wilaya de Constantine (Google earth, 2020).
- Figure 07** : Carte climatique de l'Algérie selon la classification de Köppen (Maps Algeria, 2020).
- Figure 08** : Climagramme d'Emberger de la région de Constantine (Derouiche, 2003).
- Figure 09** : Répartition du parc automobile à Constantine par genre de véhicules.
- Figure 10** : Répartition du parc automobile à Constantine par source d'énergie.
- Figure 11** : localisation des stations de prélèvement (Google maps, 2020).
- Figure 12** : Stratégies de prélèvement et conservation des feuilles du *Ficus. retusa*.
- Figure 13** : Traitement et conservation des échantillons.
- Figure 14** : Processus d'extraction des ETM dans les feuilles de *Ficus retusa*.
- Figure 15** : Photomètre Portable PhotoFlex STD WTW.
- Figure 16** : Processus de la détermination des teneurs en cadmium et en plomb par le Photomètre PhotoFlex STD WTW®.
- Figure 17** : Variation spatiale des teneurs en cadmium dans les feuilles lavées et non lavées de *Ficus. retusa*.
- Figure 18** : Répartition des teneurs en cadmium dans les feuilles lavées et non lavées de *Ficus retusa*.
- Figure 19** : Variation spatiale des teneurs en Plomb dans les feuilles lavées et non lavées de *Ficus. Retusa*.
- Figure 20** : Répartition des teneurs en plomb dans les feuilles lavées et non lavées de *Ficus retusa*.
- Figure 21** : Indice d'accumulation métallique dans les feuilles lavées et non lavées de *Ficus retusa*.

# Sommaire

## Remerciement

## Résumé

## Abstarct

## Liste des abréviations

## Liste des tableaux

## Liste des figures

## Introduction..... 01

### Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

<b>1. Pollution de l'air et pollution atmosphérique d'origine routière.....</b>	<b>04</b>
1.1 Pollution de l'air.....	04
1.2 La pollution atmosphérique d'origine routière.....	04
1.2.1 Les polluants d'origine routière émis dans l'atmosphère.....	05
1.2.2 Facteurs qui influent les émissions véhiculaires.....	06
1.2.2.1 Facteurs propres aux véhicules.....	06
1.2.2.2 Facteurs externes aux véhicules.....	07
<b>2. Les éléments traces métalliques dans l'air (ETM) .....</b>	<b>08</b>
2.1 Notion « éléments traces métalliques ».....	08
2.2 Présentation des polluants étudiés.....	09
2.2.1 Cadmium.....	09
2.2.1.1 Propriétés physico-chimiques.....	09
2.2.1.2 Sources.....	10
2.2.2 Plomb.....	10
2.2.2.1 Propriétés physico-chimiques.....	10
2.2.2.2 Sources.....	10
2.3 Contamination de l'air par les éléments traces métalliques.....	11
2.4 Dispersion et transfert des éléments traces métalliques dans l'air.....	11
2.4.1 Facteurs de dispersions indirects liés aux polluants.....	12
2.4.2 Facteurs de dispersion directs liés aux conditions externes.....	13
2.5 Dépôts et devenir des éléments traces métalliques.....	16
<b>3. Bio-surveillance de la qualité de l'air.....</b>	<b>17</b>
3.1 Définition de la Bio-surveillance.....	17

3.2 Principes de Bio-surveillance .....	17
3.2.1 La bio-surveillance dite sensible.....	18
3.2.1.1 Le biomarqueur.....	18
3.2.1.2 Le bioindicateur.....	18
3.2.1.3 Le biointégrateur.....	18
3.2.2 La bio-surveillance par accumulation.....	18
3.3 Stratégies de mise en œuvre de la Bio-surveillance.....	18
3.3.1 Méthode <i>in situ</i> .....	18
3.3.2 Méthode des transplants.....	18
3.4 Phyto-disponibilité des ETM et la bio-surveillance de la qualité de l'air par les plantes supérieures.....	19
3.4.1 L'utilisation des différentes parties des espèces ligneuses dans la bio-surveillance.....	20
3.4.1.1 Feuilles.....	20
3.4.2.2 L'écorce.....	20
3.4.2.3 Les racines.....	20
3.4.2 Devenir des ETM chez les plantes supérieures.....	21
3.4.2.1 Devenir dans la partie foliaire.....	21
3.4.2.2 Devenir dans la partie racinaire.....	21
3.4.3 Mécanismes de tolérance .....	22

## Chapitre 02 : Matériel et Méthodes

<b>1. Présentation de la zone d'étude.....</b>	<b>23</b>
1.1 Caractéristique de la région d'étude.....	23
1.1.1 Situation géographique.....	23
1.1.2 Caractéristiques climatiques.....	23
1.1.3 Statistique sur le trafic routier .....	27
1.2 Choix et localisation des stations de prélèvement.....	28
<b>2. Matériel végétal (<i>Ficus retusa</i>).....</b>	<b>31</b>
2.1 Description .....	31
2.2 Caractéristiques générale .....	31
2.3 Taxonomie .....	32
2.4 Ecologie de l'espèce.....	32
<b>3. Stratégie de prélèvement des échantillons .....</b>	<b>32</b>

<b>4. Préparation et traitement des échantillons.....</b>	<b>33</b>
<b>5. Extraction et dosage des ETM dans les feuilles lavées et non lavées de <i>Ficus retusa</i>.....</b>	<b>34</b>
5.1 Extraction des ETM.....	34
5.2 Dosage des ETM.....	35
5.3 Contrôle de la répétabilité et la reproductibilité de la méthode d'extraction.....	37
<b>6. Traitements des résultats.....</b>	<b>38</b>

### Chapitre 03 : Résultats et Discussion

<b>1. Les teneurs en cadmium dans les feuilles de <i>F. retusa</i>.....</b>	<b>39</b>
<b>2. Les teneurs en plomb dans les feuilles de <i>F. retusa</i>.....</b>	<b>42</b>
<b>3. Indice d'accumulation métallique (MAI).....</b>	<b>46</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>48</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>51</b>

# *Introduction*

*« Ah ! Que c'est bon, l'air pur, l'air qui vous revient des champs, qui s'est imprégné de la saine odeur des bois, qui a couru sur la montagne à travers les bruyères, qui s'est rafraîchi dans les gorges profondes, qui a bu la rosée des prés! Que c'est bon de ne sentir devant son haleine que l'œuvre de Dieu se dessinant sur le libre horizon. La chaste ivresse que celle des campagnes ! C'est la santé pour les âmes malades, c'est la résurrection des cœurs. Caresses d'un beau jour, caresses du ciel et de la terre, pourquoi vous cherche-t-on si rarement ? ».*

*Citation de Pierre-Jules Stahl*

Compte tenu l'ampleur des répercussions portées par la pollution atmosphérique, et en raison des émissions dans l'atmosphère d'éléments toxiques principalement d'origine anthropique, la qualité de l'air est devenue une préoccupation majeure (Cachon, 2013). Chaque année, la pollution atmosphérique tue sept millions de personnes ; parfois elle est trop visible, d'autres fois plus sournoise. Cette pollution entraîne des maladies responsables d'une mort sur neuf de par le monde ; on estime ainsi que neuf personnes sur dix respirent un air à des taux trop élevées de polluants toxiques (OMS, 2018).

La pollution atmosphérique est la résultante de la modernisation des outils et du développement technologique qui est en pleine expansion, épaulés par d'autres activités avec une intensité remarquable, d'une origine industrielle, agricole, commerciales, etc. La pollution atmosphérique d'origine routière tient une place importante concernant l'émission des polluants dangereux comme le CO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub>, les COV, les HAP, de nombreux précurseurs d'ozone troposphérique, et les éléments traces métalliques (ETM : arsenic, cadmium, cuivre, plomb, zinc, etc.). Ces éléments sont considérés comme particulièrement douteux de par leur toxicité vis-à-vis des organismes vivants qui a été démontrée par de nombreux auteurs (El-Hasan et al. 2002 ; Yu et al. 2007 ; Kummer et al. 2009 ; Fujiwara et al. 2011; Jean, 2011 ; Ribeiro de Souza et al. 2012 ; Koopmans. 2016).

La mise en place d'une surveillance de l'environnement et plus précisément de la qualité de l'air ambiant consiste à effectuer des mesures sur l'air à travers des paramètres physico-chimiques qui nous disposent des valeurs numériques pour connaître la quantité de polluants qu'il contient et mettre en place des solutions pour la réduire. Néanmoins, ces mesures ont des limites liées entre autres au fait qu'il n'est pas possible d'associer facilement ces valeurs aux effets sur les êtres vivants (Garrec, 2002). Une alternative consiste alors à avoir recours à des méthodes basées directement sur l'observation et l'étude des réactions d'organismes vivants exposés aux différents polluants dans l'eau, l'air ou encore le sol ; on parle alors de bio-surveillance. Cette dernière peut nous fournir des indications concernant la qualité et les caractéristiques du milieu, en commençant par l'indication des altérations structurales ou fonctionnaires survenues au niveau écosystémique au travers la propagation ou la diminution et/ou l'élimination de certaines espèces. Les altérations irréversibles chez les organismes, le fonctionnement enzymatique ou métabolique peuvent être observables au niveau morphologique ou anatomique ; ou encore à un niveau moins visible: physiologique, cytologique ou cellulaire (Maizi, 2013 ; Allahabadi et al. 2017)

Les végétaux sont considérés comme d'excellents bio-indicateurs, les lichens et les mousses sont eux en première ligne en domaine de recherche (Berdonces et al. 2017). Néanmoins, dans les environnements fortement contaminés notamment en zone urbaine où la pression anthropique est élevée, on assiste souvent à la raréfaction voir la disparition totale de ces organismes. Ainsi, certaines espèces ligneuses en particulier celles qui persistent peuvent être utilisées dans la bio-indication (Tomasevic et al. 2005; Berlizov et al. 2007; Gratani et al. 2008 ; Allahabadi et al. 2017), notamment celle des milieux contaminés par les ETM (Fernandez et al. 2002; Malandrino et al. 2006 ; Mukherjee et al. 2016; Safari et al. 2018).

En Algérie, et plus particulièrement à l'Est du pays, il est aisé de constater qu'on a un véritable problème de pollution par les ETM. Ce dernier concerne l'ensemble des écosystèmes (air, eau et sol) qui ont fait l'objet de plusieurs travaux relatifs à la quantification de ces polluants dans les différentes matrices : eau, sédiments, sols, végétaux aquatiques et terrestres, faune macroinvertébrée benthique, vers de terre, gastéropodes, poissons, etc. (Maatoug et al. 2010 ; Lakhdari et Benabdeli, 2012 ; Sahli et al. 2011, 2012 ; Krika et al. 2013 ; Maizi, 2013 ; El-Hadef El-Okki et al. 2015 ; Djeddi, 2019 ; Alatou et Sahli, 2019, Belhiouani, 2019 ).

De par ses potentialités économiques et sociales, la wilaya de Constantine se place parmi les wilayas les plus importantes du pays. Elle s'étend sur une superficie de l'ordre de 2297,20 Km<sup>2</sup> pour une population totale estimée à 938 475 habitants, soit une densité de 400 habitants par Km<sup>2</sup>. Elle désigne un carrefour entre le Sud-Est du pays et la côte méditerranéenne d'une part et entre l'Est et le centre du pays d'autre part. La wilaya de Constantine est relativement bien équipée en infrastructure de base, elle est traversée par 07 routes nationales, 21 chemins de wilaya et une multitude de chemins communaux. Avec un parc automobile qui représente 3,61% du nombre total des véhicules en Algérie et à l'aide de la topographie de la ville (la zone montagneuse au nord, la zone des bassins intérieurs et la zone des hautes plaines) (Andi, 2013), la pollution atmosphérique d'origine routière augmente de plus en plus. Et comme la plupart des grandes villes en Algérie, selon le ministère de l'Environnement (2010), le secteur des transports occupe le premier rang en termes d'émissions des polluants atmosphériques avec 51 %, suivi de l'industrie avec 47,25 % (Maatoug et al, 2011). L'Algérie fait partie des trente pays à travers le monde qui utilisent toujours l'essence au plomb (Maizi, 2013).

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressées à *Ficus retusa* comme espèce ligneuse indicatrice de la contamination métallique de l'air. Deux éléments traces métalliques particulièrement douteux, de par leurs caractères bioaccumulateur et toxique vis-à-vis des organismes vivants, ont été pris en considération ; il s'agit du cadmium et du plomb.

Le présent manuscrit est organisé en trois principaux chapitres, en plus de l'introduction, la conclusion et les perspectives :

- ) Le premier chapitre concerne une synthèse bibliographique sur la pollution atmosphérique dans laquelle nous avons mis en exergue la pollution atmosphérique d'origine routière et ses conséquences, les sources d'émission, les réglementations, les éléments traces métalliques pris en considération dans le cadre de cette étude, les bio-indicateurs et la surveillance de la qualité de l'air ;
- ) Le chapitre 2 concerne la démarche expérimentale. Dans ce dernier, nous avons présenté plus particulièrement les méthodes de prélèvement, le choix et la localisation des stations, ainsi que les différentes techniques analytiques utilisées ;
- ) Le troisième chapitre a été consacré à la présentation et la discussion des principaux résultats obtenus relatifs aux teneurs en cadmium et en plomb dans les feuilles lavées et non lavées de *F. retusa*.

# *Chapitre I*

## *Synthèse bibliographique*

## **1. Pollution de l'air et pollution atmosphérique d'origine routière**

### **1.1. Pollution de l'air**

La pollution de l'air constitue une conception désuète, un édit royal interdisait l'usage du charbon pour des besoins domestiques depuis le XIII<sup>e</sup> siècle ; fait preuve que la pollution atmosphérique était une préoccupation majeure qui a changé à travers les âges avec le développement technologique et l'essor industriel (Aichi, 2015). Cette notion de pollution de l'air a été étendue et a connu plusieurs définitions au fil des années ; on peut citer celle qui a été établie par la Loi Algérienne n°03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, l'article 04 (Journal Officiel de la République Algérienne N° 43) : "La pollution de l'atmosphère est l'introduction de toute substance dans l'air ou l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeurs, de fumées ou de particules liquides ou solides susceptible de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie".

Par ailleurs, il est à noter que les différents polluants n'ont pas de durées de séjour semblables ; les problèmes de pollution se situent ainsi sur différentes échelles spatio-temporelles. Les principales échelles retenues pour la pollution de l'air sont décrites ci-dessous (Philippe, 2004) :

**Échelle locale** : elle concerne la pollution ponctuelle élevée caractérisée par une présence de polluants à durée de vie assez courte, et des effets à court terme. Elle peut agir aussi sur le patrimoine et les bâtis,

**Échelle régionale** : s'étend à quelques kilomètres des sources d'émission des polluants. Ces derniers réagissent entre eux ou avec des particules présentes dans l'air. Ce type de pollution est souvent associé à des phénomènes particuliers tels que les pluies acides et la pollution photochimique,

**Échelle planétaire** : d'une ampleur plus importante avec des effets à long terme qui concernent toute la planète, tous les composés émis vont s'accumuler et persister plusieurs années dans l'atmosphère, et peuvent par conséquent provoquer l'épaississement de la couche d'ozone stratosphérique, l'effet de serre, la fonte des calottes glaciaires, etc.

### **1.2. La pollution atmosphérique d'origine routière**

La répartition de la responsabilité de la pollution de l'air entre le secteur industriel et le transport terrestre est clairement déséquilibrée vers le transport et plus précisément le

transport routier qui représente 90% des différents moyens de transport. Malgré son importance dans le secteur de l'économie, et son rôle primordiale dans la vie moderne, les effets des polluants qu'émettent les automobiles, motocycles, camions de marchandises et les différents moyens de transport sont estimés de plus en plus importants (Hoët, 2012). De plus et mise à part la contribution du trafic routier dans la pollution atmosphérique, l'installation, la présence et l'entretien des infrastructures affectent sur une grande échelle nos ressources naturelles et rejettent des émissions dans l'air et conduit à la fragmentation des aires écologiques (Berger, 2006).

### 1.2.1. Les polluants d'origine routière émis dans l'atmosphère

Les polluants automobiles peuvent être catégorisés en quatre types : émissions à l'échappement, émissions par évaporation de carburant, émissions par usure et abrasion et émissions par remise en suspension des particules. Les principaux polluants atmosphériques émis par les véhicules et leurs origines sont récapitulés dans le tableau 01.

**Tableau 01** : Les principaux polluants automobiles et leurs origines

(Synthèse d'après : Andre and Brutti-Mairesse, 2018 ; Chiron et al. 2018 ; Konate and Barry, 2018).

<b>Les polluants d'origine automobile</b>	<b>Origines</b>
<b>Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)</b>	Produit par l'oxydation du carbone des carburants : émissions à l'échappement.
<b>Monoxyde de carbone (CO)</b>	Résulte d'une combustion incomplète du carburant : émissions à l'échappement.
<b>Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)</b>	Formés à haute température par oxydation de l'azote de l'air, principalement NO et NO <sub>2</sub> : émissions à l'échappement.
<b>Polluants particuliers (PM)</b>	Provenant d'une part d'une combustion incomplète du carburant-lubrifiant et d'autre part de phénomènes d'usure et de frottement : émissions à l'échappement, par remise en suspension de particule et par usure et abrasion.
<b>Composés organiques volatils (COV) comprenant des hydrocarbures (alcane, alcènes, aromatiques monocycliques : benzène et toluène, certains HAP légers, etc.) et des composés oxygénés (aldéhydes, acides, cétones, éthers, etc.)</b>	L'évaporation du carburant lors du remplissage du réservoir et au niveau de l'alimentation des véhicules est également une source d'émission, notamment pour l'essence, plus volatile que le gazole : les émissions à l'échappement.

<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : benzo pyrène, benzo fluoranthène, benzo pérylène et benzo(a) anthracène</b>	Ces composés lourds se retrouvent, pour certains, à la surface des particules, alors que les plus volatils, émis en moins grande quantité, sont présents dans la phase gazeuse : émissions à l'échappement et par usure et abrasion.
<b>Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Formé à partir du soufre contenu dans le gazole : émissions à l'échappement.
<b>Eléments traces métalliques (ETM) : plomb, zinc, cuivre, cadmium, chrome, etc.</b>	Présents initialement dans les huiles et les carburants. Également liés aux équipements automobiles et à la voirie, par l'usure des pneus, la gomme de pneumatique contient principalement du plomb et du zinc, des plaquettes de freins qui contribuent à une émission significative de cuivre et de zinc : émissions par usure et abrasion.

### 1.2.2. Les facteurs influençant les émissions véhiculaires

L'ampleur des émissions véhiculaires est conditionnée par différents paramètres qui agissent directement ou indirectement à leur échappement. Ce sont des paramètres propres aux véhicules (type de véhicule, carburants, climatisation, entretien de véhicule, etc.) et aussi des paramètres externe tel que : facteurs liés au conducteur, les conditions de circulation, les caractéristiques de la route et les conditions climatiques (Konate et Barry, 2018).

#### 1.2.2.1. Facteurs propres aux véhicules

Les émissions unitaires ou proprement dites les quantités de polluants rejetées par chaque véhicule sont la résultante de la superposition de toute une série de variables décrites ci-dessous :

##### a. Type de véhicule

Il existe des classifications très détaillées des divers véhicules et on peut se contenter de distinguer les catégories suivantes : véhicule particulier (VP), véhicule utilitaire (VU), poids lourds (PL), et deux roues (Deletraz, 2002). Plus les véhicules sont lourds, plus les besoins énergétiques sont élevés, plus la consommation de carburant augmente et plus les émissions sont importantes (Deletraz et Paul, 1998).

##### b. Type des moteurs et des carburants

La nature et l'ampleur des émissions dépendent aussi au départ du type de carburants et du mélange carburé et aussi du processus de combustion. Les polluants émis par les moteurs à combustion interne sont les mêmes quel que soit le type de combustion envisagé. Seules

les quantités relatives émises varient avec le type de moteur, sa conception, sa géométrie interne et les conditions de fonctionnement (Benaïssa, 2010).

#### **c. Climatisation des véhicules**

La climatisation accroît la demande énergétique et par conséquent les émissions (Konate et Barry, 2018). Elle prélève de la puissance directement au moteur thermique du véhicule et lui fait émettre plus de polluants (Deletraz et Paul, 1998).

#### **d. Etat et entretien du véhicule**

L'âge du véhicule est un facteur très important. Tout comme l'entretien qui joue un rôle essentiel sur les émissions ainsi que leur ampleur ; un véhicule âgé et un moteur mal entretenu peut émettre jusqu'à 10 ou 15 fois plus qu'un moteur correctement entretenu et moins âgé (Deletraz, 2002).

#### **e. Aérodynamisme**

Un véhicule chargé dont l'aérodynamisme est réduit (galerie sur le toit, fenêtres ouvertes, etc.) émet plus de polluants, le moteur doit fournir plus d'énergie pour atteindre une certaine vitesse en consommant plus de carburants et par conséquent plus d'émissions sont relâchées (Deletraz, 2002).

### **1.2.2.2. Facteurs externes aux véhicules**

#### **a. Influence des conditions climatiques**

Les conditions climatiques ont un impact sur les émissions polluantes des automobiles. Ces facteurs sont prédictibles mais surtout totalement incontrôlables (Trepanie et Coelho, 2017). La température de l'air joue un rôle très important puisqu'elle conditionne la durée de réchauffement et de refroidissement des moteurs, lors du démarrage à froid, et tant que le moteur n'a pas atteint 80°C, les émissions sont plus importantes donc le temps de chauffe sera d'autant plus long lorsque la température ambiante est basse et elle engendre une consommation de carburant et des émissions à l'échappement plus importantes (Deletraz, 2002). L'ensoleillement n'a aucune influence directe sur les émissions des véhicules ; néanmoins, les rayonnements ultraviolets (UV) (les déclencheurs de la chimie atmosphérique) sont à l'origine de la formation de polluants secondaires notamment l'ozone. Le vent, en ralentissant ou en facilitant le déplacement des véhicules constitue un autre paramètre influençant les émissions, dont une légère augmentation de consommation de carburant est souvent observée dans un voyage lors d'une journée d'hiver où le vent est plus présent ; ce qui augmente la résistance aérodynamique et par conséquent des

émissions des polluants automobiles (Recherche, Développement & Consulting (RDC)-Environnement et Stratec, 2005).

### **b. Facteurs liés aux conducteurs**

Il s'agit essentiellement du style de conduite ; on parle de véhicule conduit d'une manière dite "agressive ou performante" (Deletraz, 2002). Les fortes augmentations des rapports entre les vitesses, accélérations rapides, freinages fréquents, vitesses volontairement élevées et aussi les faibles vitesses de longue durée peuvent augmenter la consommation du carburant d'environ 25% et émettra des quantités de polluants supérieures au même véhicule conduit de manière "normale ou économique". On remarque souvent jusqu'à 40% de différence de consommations de carburants (Trepanie et Coelho, 2017).

### **c. Facteurs liés à la route et aux conditions de circulation**

Les émissions varient énormément selon les conditions de circulation et la route sur laquelle se déplace un véhicule. En effet, les phases d'accélération et de décélération, la durée des arrêts aux feux (moteur au ralenti) ont un grand effet sur les niveaux d'émissions (Deletraz, 2002). Et aussi la route en prenant en considération deux paramètres : l'altitude et la pente, les voitures sont réglées pour que les émissions soient minimales dans une route avec un relief de zéro, soit à plat, et aussi la constance pour consommer le moins de carburant possible, et elles augmentent considérablement avec l'altitude. La pente, qui va souvent de pair avec les hautes altitudes, aggrave le niveau d'émission des véhicules et oblige le moteur à développer plus de puissance, donc sa consommation et finalement à rejeter plus de polluants (Trepanie et Coelho, 2017).

## **2. Les éléments traces métalliques dans l'air**

### **2.1. Notion de métaux lourds et éléments traces métalliques**

Le terme "métaux lourds" désigne une catégorie de micropolluants inorganiques connus par leur forte stabilité ainsi que leur non biodégradabilité. Ces composés métalliques ont le pouvoir d'être accumulés et amplifiés au sein de la chaîne trophique (Omar, 2015). Cette notion dispose de nombreux synonymes, tels que : éléments traces, éléments en traces, éléments rares, oligoéléments, éléments essentiels/non essentiels (Mairef, 2016), et d'un large éventail de définitions basées sur de multiples propriétés physico-chimiques et biologiques. La première définition qui surgit en tête est fondée sur ce qualificatif physique de "lourd", autrement dit de densité supérieure à 5, aussi peuvent être caractérisés par leur nombre atomique Z supérieur à 11 (Ghali, 2008). En biologie, leurs effets physiologiques les classent en deux catégories :

les éléments essentiels qui sont : l'arsenic, le chrome, le cuivre, le nickel, le zinc et le sélénium. Ces composés jouent un rôle vital dans la maintenance de l'équilibre physiologique des êtres vivants à des doses minimales.

les éléments non essentiels ou même indésirables : il s'agit du plomb, cadmium et mercure, etc. Ces métaux n'ont aucun rôle bénéfique nutritionnel pour les êtres vivants, bien au contraire ils présentent une forte toxicité et une écotoxicité même à faibles doses (Debiche, 2014).

## 2.2. Présentation des ETM étudiés

Seront présentés ci-dessous toutes les informations relatives aux polluants métalliques pris en considération dans le cadre de cette étude à savoir le cadmium et le plomb.

### 2.2.1. Cadmium

#### 2.2.1.1. Propriétés physico-chimiques

De symbole Cd, le cadmium est un métal lourd blanc, mou et malléable. Il ternit au contact de l'air (Aranguren, 2008). Les principaux minerais cadmifères sont les sulfures de zinc, la sphalérite et la wurtzite. Les principales caractéristiques du cadmium sont résumées dans le tableau 02.

**Tableau 02** : Quelques caractéristiques physico-chimiques du cadmium

<b>Numéro atomique</b>	48
<b>Masse atomique</b>	112,4 g/mol
<b>Masse volumique</b>	8,7 g/cm <sup>3</sup>
<b>Température de fusion</b>	321°C
<b>Température d'ébullition</b>	765°C
<b>Rayon atomique</b>	154 nm
<b>Rayon ionique</b>	0.097 nm
<b>Isotope</b>	15
<b>Potentiel standard</b>	-0.402V

#### 2.2.1.2. Sources

Le cadmium est naturellement présent dans la croûte terrestre. Son cycle biogéochimique a conduit à une distribution hétérogène de sa concentration à la surface du globe. Malgré qu'il est qualifié par sa rareté certaines roches peuvent accumuler des concentrations très importantes comme les phosphates marins et les phosphorites qui possèdent des teneurs pouvant aller jusqu'à 500 ppm (Damy, 2011). Aussi, on peut le trouver dans presque tous les minerais de zinc, de plomb et de cuivre. Pour ses sources anthropiques on peut distinguer plusieurs origines notamment les activités industrielles, agricoles, l'incinération

des déchets, la combustion du charbon et du fuel, et l'épandage des boues de station d'épuration, etc. (Benadda, 2002).

## 2.2.2. Plomb

### 2.2.2.1. Propriétés physico-chimiques

Le plomb, est un métal mou d'une couleur grise bleuâtre (Garnier, 2005). Qui fait partie de la famille des cristallogènes, de symbole Pb (Tableau 03). Sa source minérale principale est la galène (PbS) (Aranguren, 2008). Ses deux états d'oxydation sont 2+ et 4+. Cependant, l'état tétravalent qui est un très fort oxydant, n'est pas fréquent dans l'environnement. Le Pb existe sous forme métallique inorganique (des sels de chlorures, du chromate, du nitrate, des phosphates et des sulfates), et organique (le plomb tétra éthyle et le plomb tétra méthyle) (Ghezri, 2014).

**Tableau 03 :** Quelques caractéristiques physico-chimiques du plomb.

<b>Numéro atomique</b>	82
<b>Masse atomique</b>	207,19 g.mol <sup>-1</sup>
<b>Masse volumique</b>	11,35 g.cm <sup>-3</sup>
<b>Température de fusion</b>	327,5 (°C)
<b>Température d'ébullition</b>	1740 (°C)
<b>Rayon atomique</b>	0.154 nm
<b>Rayon ionique</b>	0.132 nm
<b>Isotopes</b>	13

### 2.2.2.2. Sources

Tous les compartiments de la biosphère nous disposent du plomb ; dans la croûte terrestre sa teneur est de 10 et 20 mg/kg alors que, les teneurs des émissions de plomb dans l'air provenant de poussières des éruptions volcaniques acheminées par le vent sont estimées entre 540 et 6000 tonnes/an. D'autres mécanismes naturels, participent substantiellement à la libération du plomb dans l'environnement, comme la dégradation et l'érosion du sol et les feux de forêt (Gherzi, 2014). Mais communément, ces phénomènes naturels ne mènent que rarement à des concentrations élevées en plomb dans l'environnement. En effet, la plus grande partie des concentrations de ce métal ne provient pas de tout ce qui a été cité ci-dessus mais plutôt des activités anthropiques ou la demande mondiale en plomb est passée de 4,5 Mt en 1970 à 6,7 Mt en 2003 par exemple. Les principales sources anthropiques de plomb dans l'environnement sont : le transport routier, les industries métallurgiques, les

raffineries, les industries chimiques, les activités minières, les déchets industriels, l'incinération des déchets, etc. (Ghezri, 2014).

### **2.3. Contamination de l'air par les éléments traces métalliques**

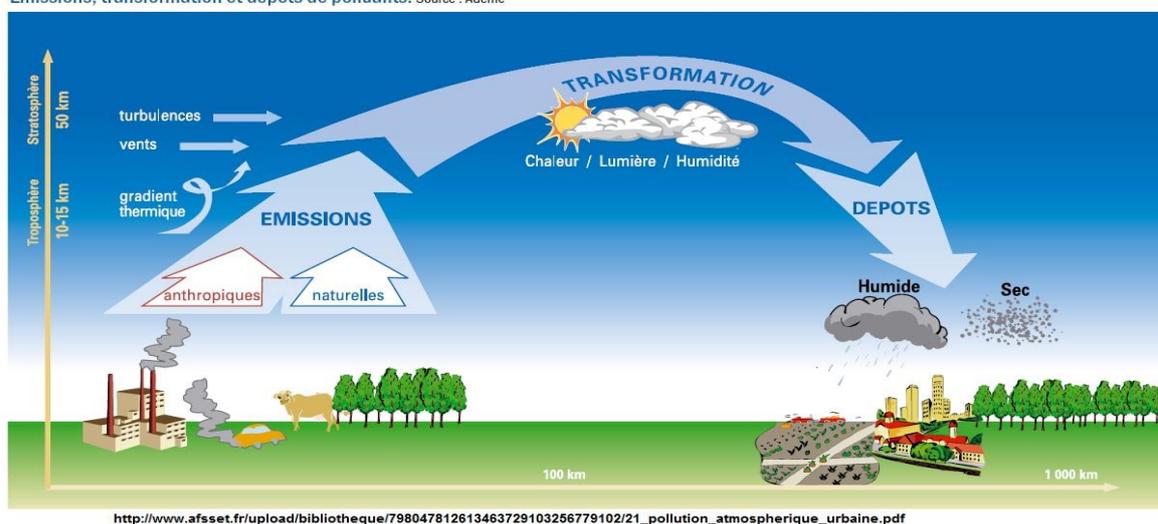
Le fond géochimique et le cumul des apports anthropiques constituent le stock des ETM existants sur Terre. Naturellement contenus dans le sol, ces éléments sont originaires de la roche sur laquelle le sol s'est formé et de l'apport sédimentaire. Les apports anthropiques peuvent être de natures différentes : les activités liées aux pratiques agricoles, les activités industrielles ou encore les activités urbaines liées au développement des villes et des réseaux routiers (Naili et al. 2016). Les véhicules et les infrastructures routières constituent les deux sources chroniques d'éléments traces métalliques en milieu routier ; en effet, l'abrasion, la corrosion des matériaux solides du véhicule et l'utilisation de différents fluides sont les causes de ces émissions polluantes liées aux véhicules (Mattaoug et Hellal, 2007). La présence de ces particules dans l'air est soit sous forme gazeuse, soit sous forme solide (déposés sous forme très fines particules ou poussières). Leur dispersion est conditionnée par une gamme de propriétés intrinsèques et externes ainsi que leurs effets physico-chimiques et biologiques (Ghezri, 2014).

### **2.4. Dispersion et transfert des polluants dans l'air**

La pollution atmosphérique en général et plus précisément la pollution automobile n'a pas de frontière. En effet, les émissions véhiculaires peuvent se transporter à des distances et dans des temps variables. Elles sont généralement localisées, mais peuvent concerner de grandes étendues à l'échelle régionale, et même continentale. L'atmosphère est une véritable usine chimique dont les polluants se transforment pendant leur transport (Figure 01). Les échappements des véhicules en mouvement émettent les polluants le long du parcours, notamment les ETM qui se dispersent dans les hautes couches de l'atmosphère et retombent ailleurs, après un transport sur de très longues distances. Le compartiment atmosphérique joue un rôle majeur dans leur dispersion (Ghezri, 2014), et la plupart des éléments métalliques se trouvent associés à des aérosols, qu'on considère comme excellents porteurs de substances peu volatiles nuisibles à l'environnement et qui peuvent être liquides et/ou solides en suspension dans l'air (Catinon, 2011). Enfin la spéciation d'un élément est donc susceptible d'évoluer, entre son point d'émission et son point d'impact (Sobanska et al. 2008). Ce qui nous indique que la capacité dispersive de ces substances polluantes et la qualité de la dispersion influent directement la qualité de l'air.

La qualité de l'air est bonne seulement si la dispersion se fait de manière à affaiblir la concentration des polluants même si les rejets sont importants. Cependant, la qualité de l'air est médiocre si la dispersion se fait mal, même si les rejets ne sont pas importants, ils restent suffisants pour dégrader la qualité de l'air (Omar, 2015).

Emissions, transformation et dépôts de polluants. Source : Ademe



**Figure 01** : Émission et transformation des polluants (Ademe, 2011).

Par ailleurs, la capacité dispersive d'un site est loin de s'expliquer par l'action d'un seul facteur; ils sont nombreux à jouer un rôle et peuvent être classés en deux catégories :

- Des facteurs «indirects» liés aux polluants,
- Des facteurs «directs» liés aux conditions externes.

### 2.4.1. Facteurs de dispersion indirects liés aux polluants

Les poussières générées par les véhicules et par les infrastructures routières sont dispersées par voie atmosphérique. En effet, une fraction (10 %) reste sur la chaussée et (90 %) sont dispersés (Sétra, 2004). Le transport des particules dépend indirectement des différents facteurs qui sont: la taille des particules notamment les ETM, leur forme, leur composition chimique, leur concentration, et leur temps de séjour.

#### a. La taille des particules

La taille des particules est de loin la propriété physique la plus importante et le paramètre le plus effectif sur l'environnement. On trouve dans l'air ambiant de nombreux éléments trace métalliques issus du trafic routier, comme le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre, etc., dont la concentration est d'autant plus élevée que d'autres particules (Ghezri, 2014). Les particules fines ( $2.8 \pm 0.2 \mu\text{m}$ ) caractérisent l'abrasion des freins (Cr, Fe, Cu, Zn, Zr, Mo, Sn, Sb, Ba et Pb), tandis que les grosses particules sont issues des pneus et de la remobilisation du revêtement de la route (Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Zn et Sr), ainsi que du

salage des routes (Veschambre, 2006). Le transport local est effectué par la déposition des très grosses particules (diamètre de 10 à 100  $\mu\text{m}$ ) qui retombent plus ou moins rapidement au sol sous l'effet de la gravité (Sétra, 2004). Par contre, les particules les plus fines restent plus longtemps dans l'atmosphère et peuvent ainsi être transportées par le vent sur de plus longues distances, à plus haute altitude et plus loin des sources d'émission (Veschambre, 2006).

#### **b. La forme des particules**

Les métaux lourds se dispersent dans les hautes couches de l'atmosphère après un transport sur des distances différentes et retombent ailleurs et ils peuvent se trouver dans l'air principalement sous deux formes : forme gazeuse pour certains composés métalliques volatiles, et forme de composés métalliques solides déposés sur les très fines particules ou poussières formées lors des phénomènes de combustion. Ces deux formes caractérisent le temps de séjours des ETM dans l'atmosphère ainsi que la capacité dispersive et la distance traversée avant de se déposer (Ghezri, 2014).

#### **c. La concentration des particules**

La concentration des polluants automobiles, notamment les ETM, dispersés et déposés aux abords de la route est en fonction du trafic et du parc automobile (nombre de véhicule par jour, type de véhicule, de motorisation, vitesse, etc.). Elle caractérise à son tour la façon et la grandeur de la dispersion, plus la quantité est importante plus la dispersion se fait mal et la qualité de l'air devient médiocre (Bouteraa, 2014).

#### **d. Le temps de séjour des particules**

La granulométrie est une donnée capitale car elle conditionne la durée de séjour dans l'atmosphère, et donc leur propagation. Une particule fine et de l'ordre du micromètre dispose d'un temps de séjour ou de stabilité plus élevée qu'une particule grossière qui se dépose rapidement par dépôt sec aux surfaces sous l'effet de la gravité, ou encore humide, lors d'événement pluvieux ou neigeux (Leygonie, 1993). Par exemple, le temps de résidence du plomb dans l'atmosphère est d'environ 10 jours, ce qui lui permet de couvrir de longues distances et ainsi, de se déposer dans des régions éloignées de sa source d'émission (Normand, 2012).

### **2.4.2. Facteurs de dispersion directs liés aux conditions externes**

La dispersion des polluants d'origine automobile est fonction de nombreux facteurs qui caractérisent le milieu externe notamment les facteurs météorologiques et la topographie de la route.

### **a. Les facteurs météorologiques**

La météorologie a un rôle primordial dans les travaux de simulation de la dispersion des polluants plus précisément les ETM issus des émissions automobiles (Deletraz et Paul, 1998). Les facteurs météorologiques décrits ci-dessous sont donc à prendre en compte, plus particulièrement à proximité des autoroutes et des grands axes routiers (Laffray et al. 2018).

#### **La vitesse et la direction du vent**

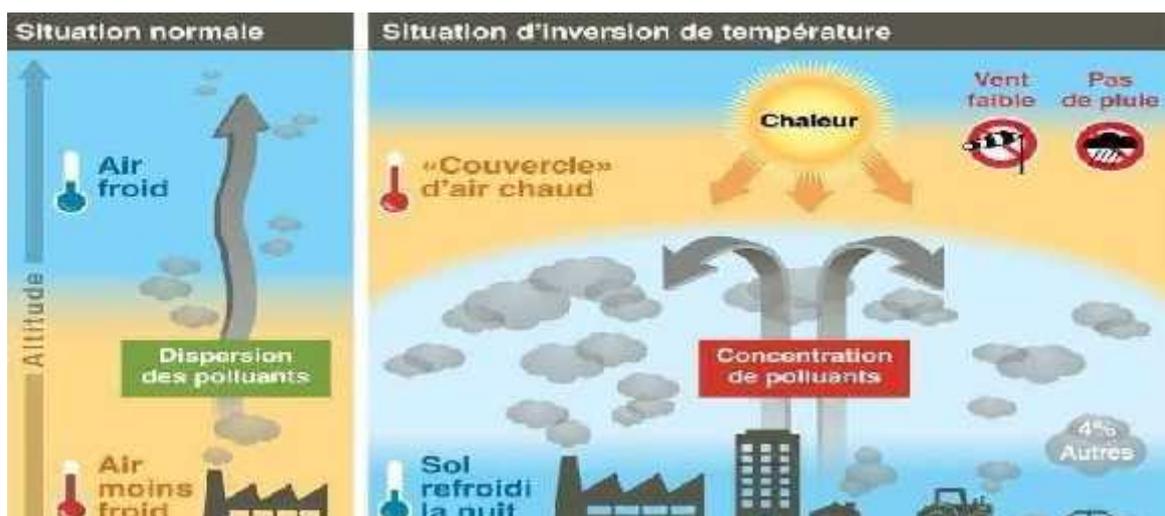
Le vent est un déplacement de l'air et est donc un facteur de transport de polluants, il est responsable de la distance de dispersion et de la dilution des polluants primaires (Laffray et al. 2018 ; Omar, 2015). Le vent est caractérisé par sa vitesse et sa direction. Un vent fort permet de disperser les polluants, plus le vent est fort, plus les niveaux de pollution en ville seront bas, en revanche, un vent de faible vitesse favorise l'accumulation locale des polluants (Omar, 2015). La direction du vent joue un rôle important dans le déplacement des polluants, son rôle s'explique plus dans sa relation avec la topographie du site. Si le vent est stoppé par un obstacle, on peut assister à une stagnation de polluants sur ce flanc (Laffray et al. 2018 ; Deletraz et Paul, 1998).

#### **La pression atmosphérique**

La pression atmosphérique intervient sur les mouvements des masses d'air et influe directement la dispersion des ETM issus des émissions véhiculaires (Laffray et al. 2018). Une situation dépressionnaire est indiquée par une basse pression atmosphérique, et donc une turbulence de l'air assez forte, ce qui entraîne une bonne dispersion des substances polluantes et améliore la qualité de l'air. Dans le cas inverse, les hautes pressions ou les situations anticycloniques, la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants (Omar, 2015).

#### **La température**

Lorsque les températures sont basses, les gaz sont moins mobiles, la situation inverse est observée lorsque les températures sont élevées ; les polluants (ETM) deviennent ainsi plus mobiles (Omar, 2015). La différence de température entre deux couches d'air (air chaud au-dessus de l'air plus froid) peut conduire à la formation d'une couche d'inversion de la température pouvant bloquer la dispersion des polluants (Figure 02), entraînant ainsi une stagnation (couvercle thermique) et induisant l'accumulation de ces derniers (Laffray et al. 2018).



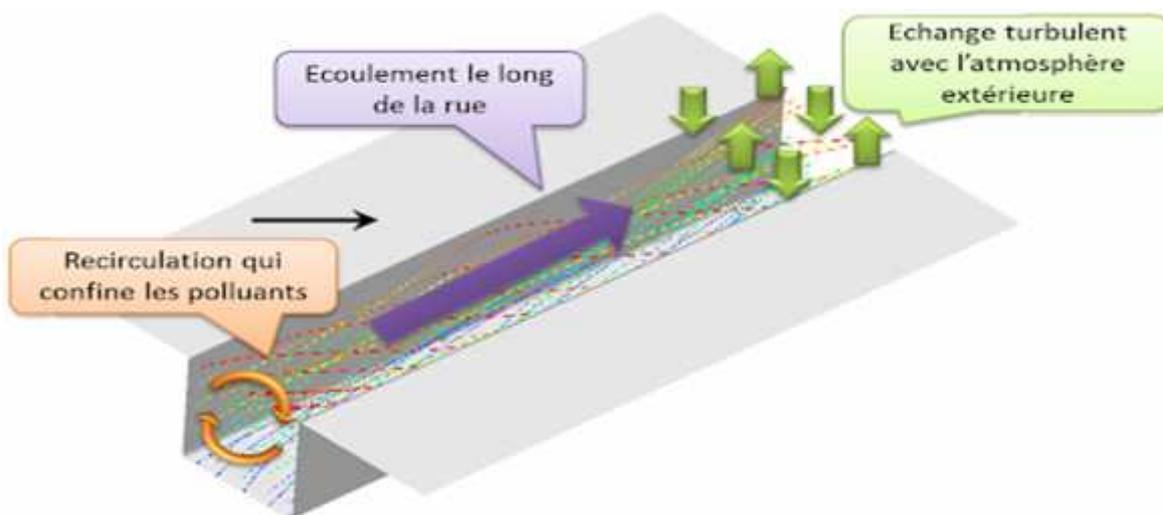
**Figure 02 :** Influence du phénomène de l'inversion thermique sur la dispersion des polluants (Sermondadaz, 2016).

### Les précipitations

Les précipitations jouent un rôle important. En effet, la pluie améliore la qualité de l'air en plaquant au sol des particules polluantes et en les emportant dans les eaux d'écoulement (Omar, 2015). Cela ne relève cependant pas de l'étude de la diffusion des polluants dans l'atmosphère. Elles doivent par contre être prises en compte dans la déposition des polluants (Deletraz et Paul, 1998).

#### b. La topographie

Les effets de la topographie sont essentiels dans les mécanismes de diffusion des polluants. Si la route est encaissée, les polluants auront tendance à stagner aux bords de la route, alors que si la route est surélevée les polluants auront tendance à s'évacuer plus facilement. Le vent en combinaison avec la topographie peuvent influencer la dispersion. En effet, les émissions principalement dues à la circulation des véhicules, sont entraînées par l'écoulement tourbillonnaire formé à l'intérieur du canyon (des rues étroites bordées en continu par de grands bâtiments), les polluants s'accumulent alors en particulier vers le trottoir sous le vent. Lorsque le vent est parallèle à la direction de la rue, la dispersion des polluants à l'intérieur de la rue est favorisée (Figure 03). Cela peut cependant entraîner une dégradation de la qualité de l'air et une accumulation des polluants en amont de la rue (Burton, 2016).



**Figure 03 :** Structures de dispersion des polluants dans les rues «canyons» (Soulhac et al. 2011).

## 2.5. Dépôts et devenir des éléments traces métalliques

Après leur transport sur de très longues distances et une dispersion dans les hautes couches de l'atmosphère, pendant une période de séjour qui se diffère d'une particule à une autre, les polluants en particulier métalliques finissent par retomber sous différentes formes (Omar, 2015) :

**Les dépôts humides :** provenant des précipitations (pluie, neige, bruine, brouillard, brume, givre). Ces dépôts sont le résultat de la solubilisation des polluants gazeux au sein de gouttelettes formées autour de fines particules, ou de l'entraînement mécanique des particules au cours d'événements pluvieux (Belhadj, 2015).

**Les dépôts secs :** sont composés de gaz et de diverses particules solides (poussières, aérosols...). D'une taille généralement inférieure à  $2\mu\text{m}$ , ils assurent pour les polluants gazeux, un transfert des molécules de gaz depuis l'atmosphère jusqu'à la surface du sol ou de l'eau (Lorenzin, 1992).

**Les dépôts occultes :** ce terme est employé pour désigner les dépôts humides sous forme de pluies, des dépôts humides qui vont constituer par l'interception d'un flux d'air plus ou moins humide (brume, brouillard, essentiellement) et de la végétation qui capte alors les polluants (Mazoue et Setra, 1994).

**La sédimentation :** c'est le phénomène du dépôt des particules les plus grosses sous l'effet de leur propre poids (force gravitaire), qui se produit à proximité des sources d'émission. Les particules les plus fines, se comportant comme des gaz, peuvent être transportées plus loin et participent au dépôt sec ou humide (Mazoue et Setra, 1994).

**L'enlèvement** : on a deux types :

- ✓ **L'enlèvement sec (Dry removal)** : c'est le processus de coagulation et d'agglomération de fines particules sur d'autres particules, plus grosses (Mazoue et Setra, 1994).
- ✓ **L'enlèvement humide (Wet removal)** : c'est le processus de l'absorption de gaz et d'aérosols par les microgouttelettes des nuages et du brouillard (Mazoue et Setra, 1994).

Sous ces différentes formes de déposition, les ETM vont se déposer sur les sols et sur les végétaux notamment sur la superficie foliaire de la plante (cuticule et poils épidermiques). Il s'agit d'une assimilation externe des polluants métalliques. Ils sont aussi susceptibles de se déposer sur la bordure de la chaussée, et entraînés ensuite par le ruissellement des eaux pluviales. Ces derniers peuvent migrer dans le sol par infiltration et contribuer à la dégradation de la qualité des sols. Ils risquent d'atteindre les nappes des eaux souterraines et altérer ainsi les ressources en eau (Maatoug et al. 2011)

### **3. Bio-surveillance de la qualité de l'air**

#### **3.1. Définition de la bio-surveillance**

La pluralité et l'amplitude des préjudices suscités par la pollution atmosphérique généralement, et celle qui est d'origine routière plus particulièrement, ont imposé aux scientifiques d'instaurer des méthodes physico-chimiques et biologiques pour évaluer la qualité de l'air, prévoir et révéler des altérations ou même pour suivre une évolution d'un environnement. Cette dernière qui a été définie par Garrec et Van Haluwyn en 2002, autant qu'une méthode qui repose sur l'emploi de réponses des êtres vivants (un organisme ou un ensemble d'organisme), à différents niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) pour révéler une éventuelle perturbation du milieu (Van haluwyn, 2008).

#### **3.2. Principes de la bio-surveillance**

La bio-surveillance repose sur deux grandes catégories de principes (Figure 04). Nous distinguons ainsi deux types de bio-surveillance : la première dite la bio-surveillance sensible dans laquelle on se base sur les biomarqueurs, les bioindicateurs ou les biointégrateurs, et la deuxième dite bio-surveillance par accumulation (Bernard et al. 2004).

### 3.2.1. La bio-surveillance dite sensible

C'est la mesure du stress exercé sur les organismes par un facteur polluant en utilisant des :

**3.2.1.1. Biomarqueurs :** le stress mesuré se limite à des effets invisibles (moléculaire, biochimiques, cellulaires et physiologiques), au niveau infra-individuel et on à titre d'exemple : la dégradation de l'activité enzymatique,

**3.2.1.2. Bioindicateurs :** les effets sont visibles, au niveau individuel et cela comme par exemple l'apparition des taches de nécrose sur les feuilles,

**3.2.1.3. Biointégrateurs :** les effets dans ce cas sont observés au niveau d'un ensemble d'organisme (population, communauté, etc.). Les polluants vont agir sur la présence et l'absence, la densité et la diversité biologique des organismes cibles comme : l'utilisation des lichens (le diagnostic éco-lichenique) pour évaluer la pureté de l'atmosphère.

### 3.2.2. La bio-surveillance dite par accumulation

Les effets sont observés au niveau individuel, on peut déterminer *via* cette méthode l'accumulation d'un polluant par les bioaccumulateurs, ainsi que les phénomènes biologiques résultants de l'accumulation de ces polluants (Faburé, 2009).

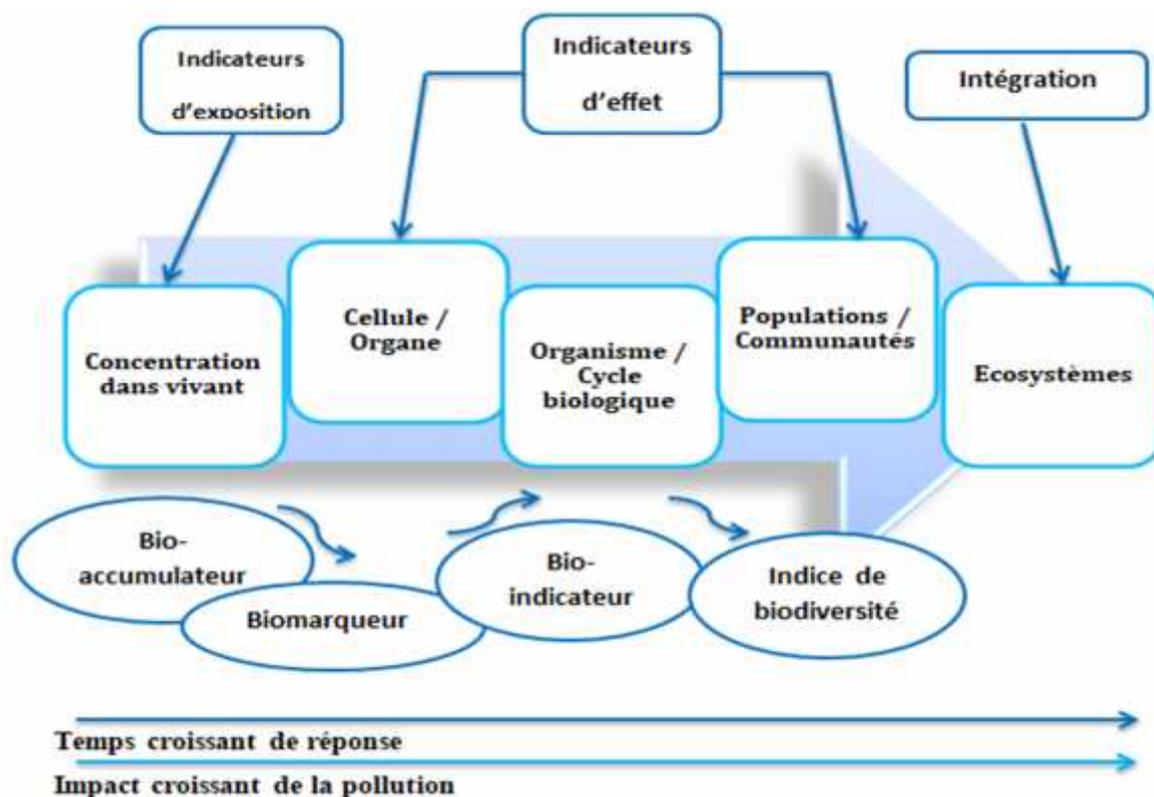
## 3.3. Stratégies de mise en œuvre de la bio-surveillance

La bio-surveillance dispose de deux stratégies, qui sont :

**3.3.1. Méthode *in situ* :** dite l'approche passive, on utilise dans cette méthodes les organismes indigènes du milieu exposés aux polluants. Les conditions suivantes sont exigées pour cette méthode :

- ✓ Les espèces employées doivent avoir une certaine abondance et une répartition précise pour qu'elles nous délivrent une représentation globale de la zone d'étude,
- ✓ La saisonnalité des espèces doit être en cohérence avec les objectifs de l'étude,
- ✓ La collecte de ces espèces doit être facile et en quantité suffisante.

**3.3.2. Méthode des transplants :** ou approche active est une méthode qui nécessite la transplantation des espèces cultivées dans des sites sains, pour accumuler les polluants du site contaminé. Cette méthode est explorée dans le cas d'absence des espèces représentatives dans la zone d'étude, ou la répartition médiocre de ces derniers (Bernard et al. 2004).



**Figure 04** : Présentation schématique récapitulative de la bio-surveillance, d'après Casas (2014).

### 3.4. Phyto-disponibilité des ETM et la bio-surveillance de la qualité de l'air par les plantes supérieures

Les végétaux sont des outils de grand intérêt pour la bio-surveillance, leur diversité offre un large éventail d'organismes utilisables (Catinon, 2011). Pour mesurer les teneurs réellement «accessibles» par la plante (biodisponibilité ou phyto-disponibilité), les lichens et les mousses sont considérés comme les meilleurs bio-accumulateurs. Cependant, dans les environnements fortement dégradés où la pression anthropique est élevée (en zone urbaine par exemple), une raréfaction de ces organismes peut s'observer. Ainsi, les végétaux supérieurs qui persistent et qui possèdent une biomasse beaucoup plus importante peuvent être utilisés dans la bio-surveillance. Ces derniers sont souvent choisis en fonction de la localisation et de l'échelle de la zone d'étude (Rzepka et Cuny, 2008).

### **3.4.1. L'utilisation des différentes parties des espèces ligneuses dans la bio-surveillance**

#### **3.4.1.1. Les feuilles**

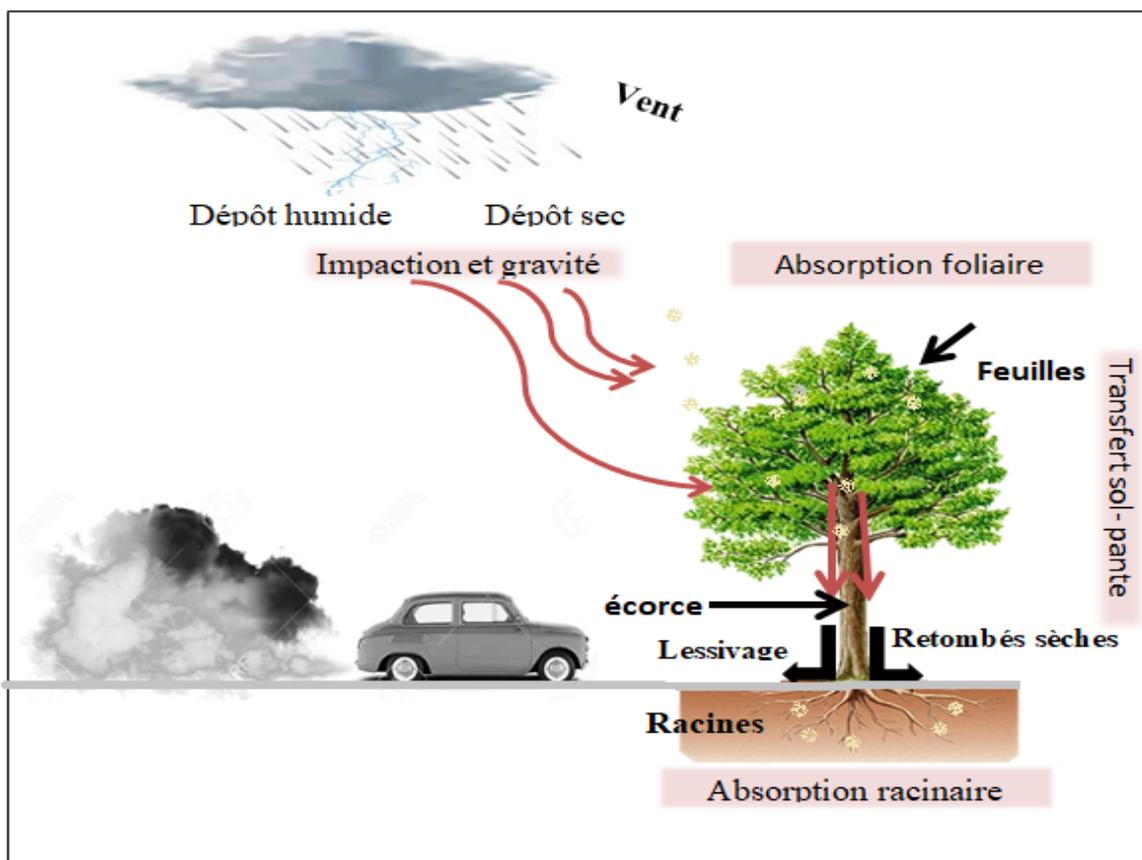
Les études de l'accumulation des ETM sont souvent faites sur les feuilles. Cette accumulation se fait par la déposition des ETM en surface sous forme de dépôts secs ou humides, par gravité et par impaction sous l'effet du vent et peuvent ensuite être retenues en surface. La capacité des plantes à absorber les ETM *via* les feuilles dépend de nombreux facteurs, tels que l'âge et la morphologie des feuilles, la densité stomatique, l'intensité respiratoire ainsi que la forme et la densité du feuillage (Krika, 2014). Les particules peuvent aussi se retrouver dans le sol, après le lessivage par les pluies, et être absorbées par les racines puis circuler jusqu'aux feuilles (Figure 05) (Rzepka et Cuny, 2008).

#### **3.4.1.2. L'écorce**

L'utilisation des écorces est devenue un outil beaucoup plus polyvalent pour le suivi des polluants atmosphériques (Catinon, 2011). Ces dernières se révèlent comme des accumulateurs excellents ; ils peuvent capter les polluants apportés par l'atmosphère (Bouteraa, 2014). Les ETM s'y déposent sous forme de dépôts secs ou humide, et par impaction sous l'effet du vent où les capacités d'accumulation varient en fonction de l'espèce d'arbre, l'épaisseur, la porosité et la rugosité de l'écorce (Figure 05) (Rzepka et Cuny, 2008).

#### **3.4.1.3. Les racines**

Les ETM qui se trouvent au niveau du sol sont absorbés par les racines, et y demeurent le plus souvent. Le transfert racinaire des ETM est lié à leur biodisponibilité dans les sols qui dépend des formes chimiques où il est nécessaire que l'élément passe en solution pour être absorbé par la racine. En effet, la majorité des métaux et métalloïdes se prélèvent sous forme ionique (cationique :  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ). Le transfert des ETM vers les parties aériennes varie en fonction du métal, mais également de l'espèce végétale. En effet, le Cd est transféré vers les parties aériennes plus facilement que le Pb, qui reste complexé au niveau de la racine (Krika, 2014).



**Figure 05 :** Présentation schématique des taxons bio-accumulateurs d'ETM et des paramètres régissant les phénomènes d'accumulation.

### 3.4.2. Devenir des ETM chez les plantes supérieures

#### 3.4.2.1. Devenir dans la partie foliaire

Après le prélèvement foliaire des ETM, une partie solubilisée de ces ETM va s'adsorber aux lipides épicuticulaires et pénétrer dans les feuilles sous forme d'ions après le passage au travers la cuticule qui fonctionne comme un faible échangeur d'ions, la perméabilité de la cuticule dépend de la taille du cation. Les ETM non solubilisés peuvent également pénétrer dans les feuilles *via* les stomates avec des particules de diamètre inférieur à 10 nm. Ainsi, la majeure partie de Pb par exemple reste fixée au niveau de la cuticule, tandis que le Cd pénètre plus facilement dans les feuilles (Krika, 2014).

#### 3.4.2.2. Devenir dans la partie racinaire

La pénétration des ETM dans les racines se fait grâce à un transport actif interne par le symplaste (cytoplasmes des cellules reliés entre eux par les plasmodesmes), par la voie dite symplastique. Cette pénétration peut se faire aussi par voie passive ou apoplastique, c'est-à-dire par un transport dans les espaces intercellulaires (Cecchi, 2008). Les racines prélèvent le Cd à la fois dans leur compartiment apoplasmique (les parois et les espaces

intercellulaires) et dans leur compartiment symplasmique (le milieu intracellulaire délimité par les parois cellulaires) (Redjala, 2018). Concernant le Pb, il est majoritairement présent dans l'apoplaste et seule une faible proportion pénètre dans l'endoderme (Cecchi, 2008).

### 3.5. Mécanismes de tolérance des ETM chez les végétaux

Les effets toxiques engendrés par les ETM accumulés chez les végétaux, sont confrontés par toute une série de systèmes de tolérance, de détoxification et de défense au stress métallique par ces derniers. Ces mécanismes évoqués par Remon (2009) sont décrits ci-dessous :

**La membrane plasmique :** elle constitue la première barrière face à l'accumulation des ETM, son rôle est d'échanger les flux ioniques (la fonction des protéines associées au plasmalemmes, tels que les transporteurs, les canaux ioniques et les pompes à protons). En revanche, la membrane plasmique peut être touchée par la toxicité métallique et on va citer l'exemple de l'effet du cuivre, qui provoque par ses oxydations métalliques, des lésions au niveau des protéines membranaires, et des enzymes (peroxydase lipidique), ou des inhibitions des ATPase.

**Système antioxydant :** ce système est primordial autant que mécanisme de détoxification métallique. En effet, les ETM ont l'aptitude à surgir sous différents états d'oxydation, ce qui induit l'accumulation de ROS (reactive oxygen species) qui sont des sous-produits du métabolisme de l'oxygène, leur fonction est de communiquer entre les cellules. Les ions des ETM vont réduire l'oxygène et ses dérivés (la réaction de Fenton : qui se produit en présence de fer ferreux et qui conduit à la réduction du peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) en radical hydroxyl ( $\bullet OH$ ) et en anion hydroxyl ( $OH^-$ )).

**La chélation :** c'est la formation des complexes entre les métaux et les peptides ou les acides organiques ou bien entre les métaux et les ions inorganiques, ce qui assure la détoxification de nombreux ions métalliques. Cette complexation est faite par des ligands inorganiques qui sont : les métallothionéines (MT), les phytochélatines (PC), les acides organiques, et les acides aminés libres.

# *Chapitre II*

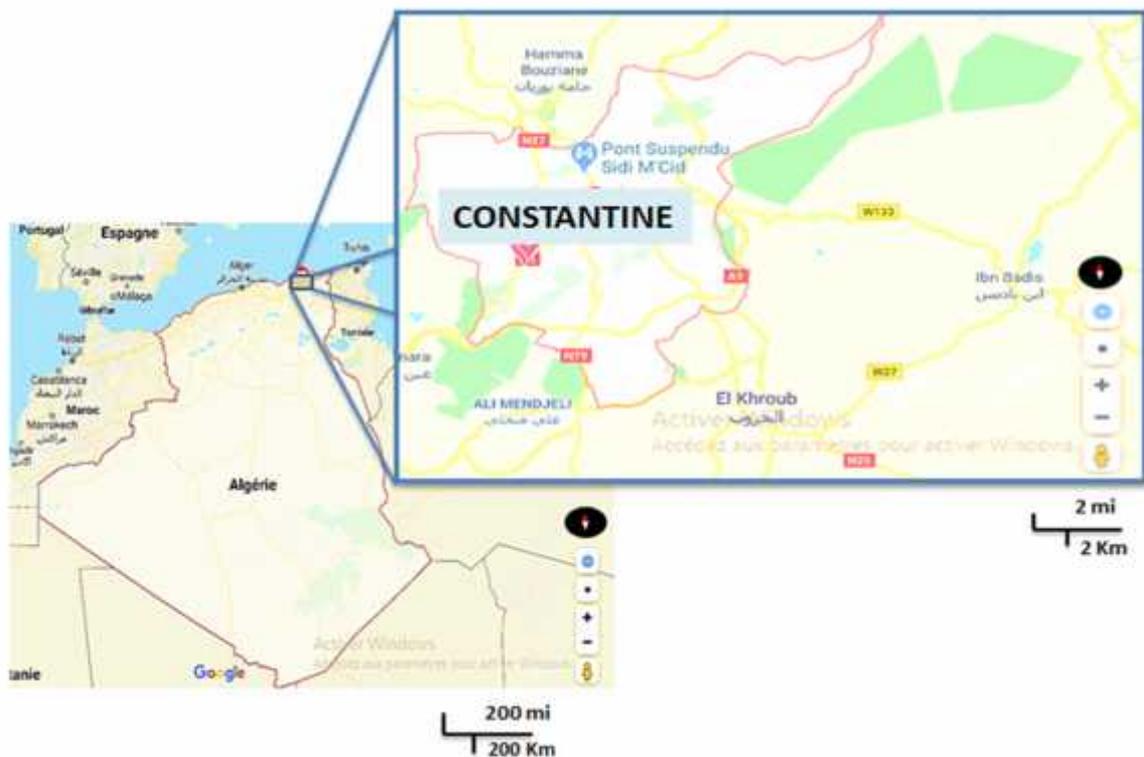
## *Matériel et méthodes*

## 1. Présentation de la zone d'étude

### 1.1. Caractéristiques de la région d'étude

#### 1.1.1. Situation géographique

Avec une superficie de l'ordre de 2297,20 Km<sup>2</sup>, la wilaya de Constantine est bâtie sur un majestueux rocher, situé sur les deux côtés de l'oued Rhumel. Elle se situe entre une latitude 36°17' et une longitude de 6°37' en plein centre de l'Est algérien (Figure 06), précisément à 245 km des frontières algéro-tunisiennes, à 431 km de la capitale Alger vers l'Ouest, à 89 km de Skikda vers le Nord et à 235 km de Biskra vers le Sud.



**Figure 06 :** La localisation géographique de la wilaya de Constantine (Google earth, 2020).

#### 1.1.2. Caractéristiques climatiques

La grande superficie de l'Algérie, lui offre une variété climatique remarquable. Entre le nord qui est caractérisé par un climat méditerranéen (classification de Köppen Csa), et le reste du pays qui possède en majorité un climat semi-aride, aride voir désertique (Classification de Köppen BWh et BWk). Cependant, l'Algérie est un pays de la zone subtropicale où le climat dominant est chaud et sec (Figure 07).

Quant aux caractéristiques climatiques propres à la ville de Constantine, où le climat est la conséquence d'une situation géographique spécifique ; Constantine est doublement protégée par l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud. Ces deux écrans en relation

avec d'autres paramètres d'ordre météorologique, confèrent à cette ville un climat subhumide au nord, et semi-aride au sud (Figure 08).

Les différences d'altitude, qui sont les résultats d'un site disséqué, influent notamment, sur les températures et les précipitations. Les hauteurs de Djebel El Ouahch, le plateau d'Ain El Bey, etc., sont le fief des valeurs thermiques minimales contrairement aux zones moins élevées. Concernant les précipitations le constat est inversé.

Les données météorologiques fournies par l'archive du site météorologique "Historique météo" ont servi à étudier les différents facteurs climatiques au rythme mensuel le long d'une année jusqu'à la période où l'échantillonnage du matériel végétal a été effectué (Mars 2020). Une attention particulière est accordée aux températures (Tableau 04), aux précipitations (Tableau 05) et aux vents (Tableau 06).

**Tableau 04:** Les valeurs moyennes, maximales, minimales, les maximales record et les minimales record de la température exprimées en °C de la Wilaya de Constantine (Mars 2019-Mars 2020) (Historique météo, 2020).

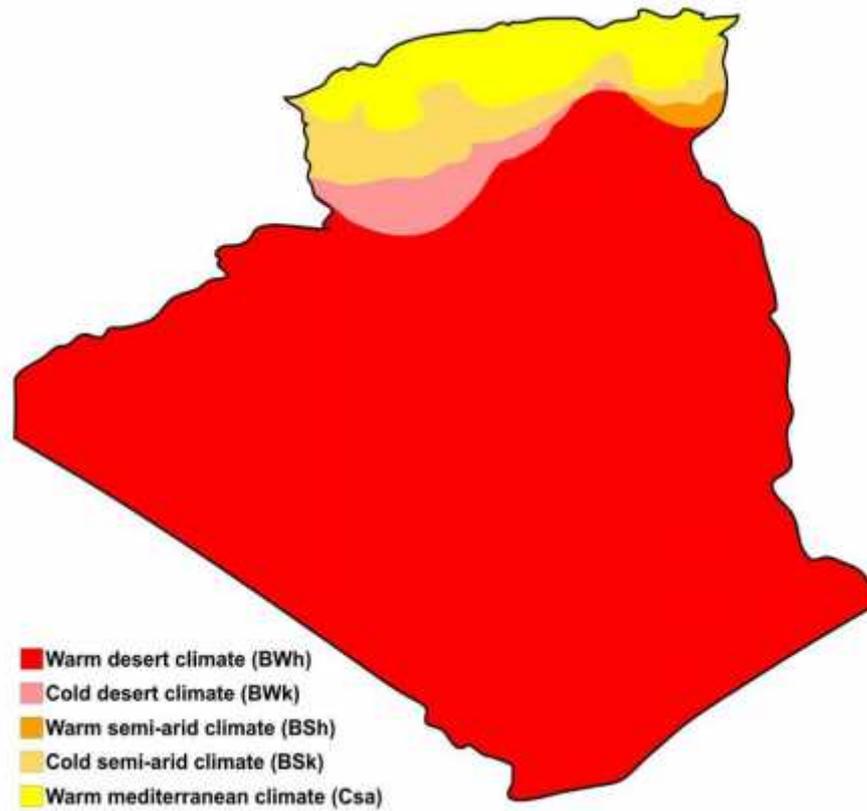
	T. moy °C	T. max °C	T. min °C	T. max record °C	T. min record °C
<b>Mars 2019</b>	11	16	6	23	10
<b>Avril 2019</b>	14	19	9	29	15
<b>Mai 2019</b>	16	21	11	28	16
<b>Juin 2019</b>	28	34	22	40	29
<b>Juillet 2019</b>	30	35	24	40	28
<b>Août 2019</b>	30	35	24	41	30
<b>Septembre 2019</b>	25	29	21	34	25
<b>Octobre 2019</b>	20	24	16	30	21
<b>Novembre 2019</b>	12	15	9	21	15
<b>Décembre 2019</b>	11	15	8	18	11
<b>Janvier 2020</b>	10	14	6	19	9
<b>Février 2020</b>	13	18	8	22	10
<b>Mars 2020</b>	11	16	7	24	11

**Tableau 05:** Cumul des précipitations mensuelles exprimés en mm enregistrées dans la Wilaya de Constantine (Mars 2019-Mars 2020) (Historique météo, 2020).

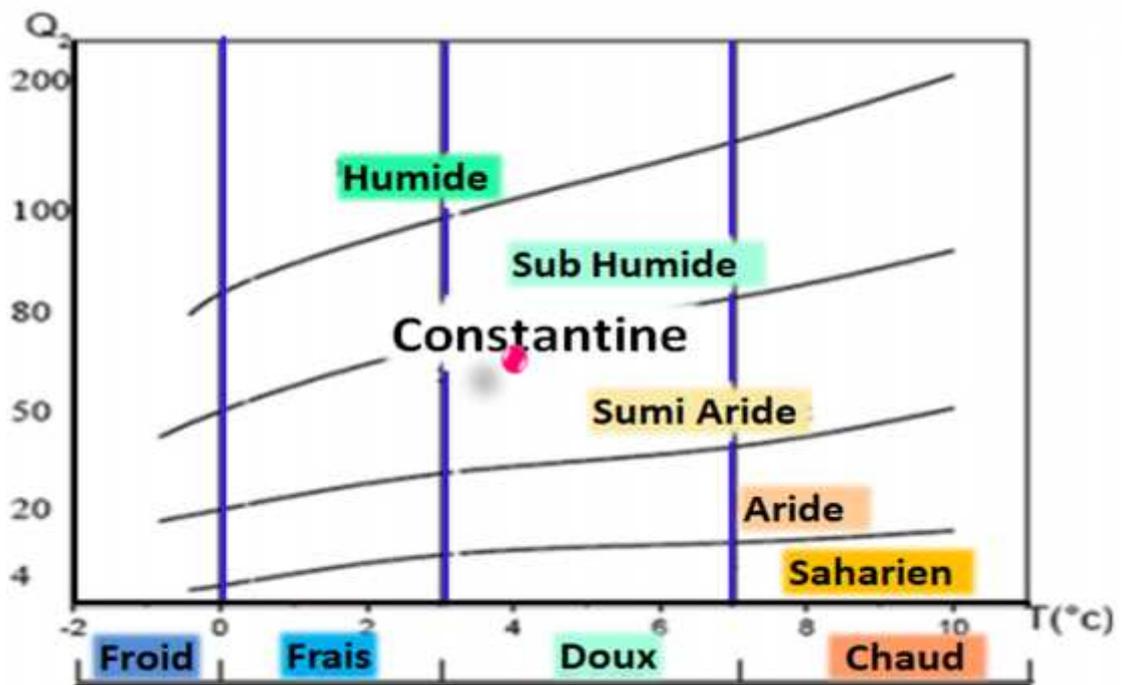
	<b>P (mm)</b>
<b>Mars 2019</b>	158
<b>Avril 2019</b>	63
<b>Mai 2019</b>	86
<b>Juin 2019</b>	3
<b>Juillet 2019</b>	12
<b>Aout 2019</b>	86
<b>Septembre 2019</b>	61
<b>Octobre 2019</b>	43
<b>Novembre 2019</b>	111
<b>Décembre 2019</b>	70
<b>Janvier 2020</b>	14
<b>Février 2020</b>	3
<b>Mars 2020</b>	102

**Tableau 06:** La vitesse du vent exprimée en Km/h et les températures du vent en °C de la Wilaya de Constantine (Mars 2019-Mars 2020) (Historique météo, 2020).

	<b>Vitesse du vent Km/h</b>	<b>Température du vent °C</b>
<b>Mars 2019</b>	15	10
<b>Avril 2019</b>	20	14
<b>Mai 2019</b>	20	16
<b>Juin 2019</b>	22	28
<b>Juillet 2019</b>	20	30
<b>Août 2019</b>	20	29
<b>Septembre 2019</b>	16	25
<b>Octobre 2019</b>	17	19
<b>Novembre 2019</b>	23	10
<b>Décembre 2019</b>	17	9
<b>Janvier 2020</b>	13	8
<b>Février 2020</b>	13	11
<b>Mars 2020</b>	19	9



**Figure 07:** Carte climatique de l'Algérie selon la classification de Köppen (Maps Algeria, 2020).



**Figure 08:** Climagramme d'Emberger de la région de Constantine (Derouiche, 2003).

### 1.1.3. Statistique sur le trafic routier

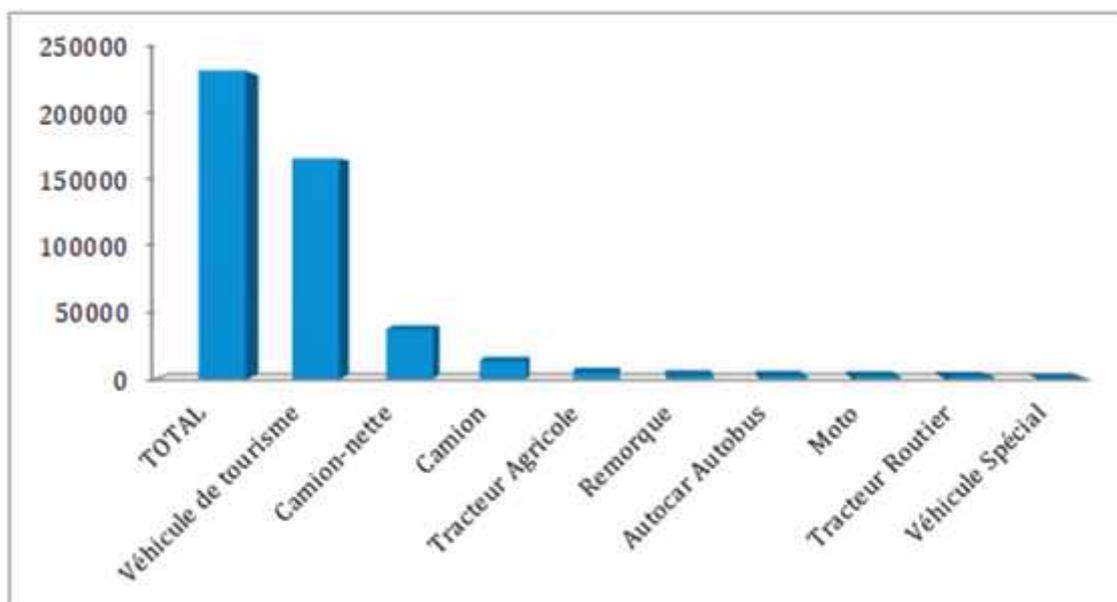
Située au cœur de l'Est algérien, Constantine est une wilaya charnière entre le Tell et les hautes plaines. C'est en même temps un espace carrefour au croisement des grands axes Nord-Sud (Skikda-Biskra) et Ouest-Est (Sétif-Annaba). Elle est suffisamment dotée en véhicules, le plan qualitatif reste discutable au regard du matériel roulant vétuste. Le tableau 07 nous montre que : 3,61% du nombre total des véhicules en Algérie se trouve à Constantine et elle est classée quatrième à l'échelle national (Office National des Statistiques-ONS, 2018). Les moyens de transport dans la ville de Constantine, sont en situation alarmante vu l'inadaptation, en capacité, à l'importance de la demande (Terrouche, 2016).

Selon les dernières statistiques de l'ONS au 31 décembre 2018, le parc automobile de Constantine a totalisé 231 521 véhicules, par Genre de véhicules, il est constitué essentiellement de véhicules de tourisme avec 165 545 unités, des camionnettes avec 37 678 unités, des camions avec 13 532 unités, des tracteurs agricoles avec 5 090 unités, des tracteurs routiers avec 1 874 unités, des remorques avec 2 853 unités, des autocars et autobus avec 2 423 unités, des motos avec 2 185 unités et des véhicules spéciaux avec 341 unités (Figure 09).

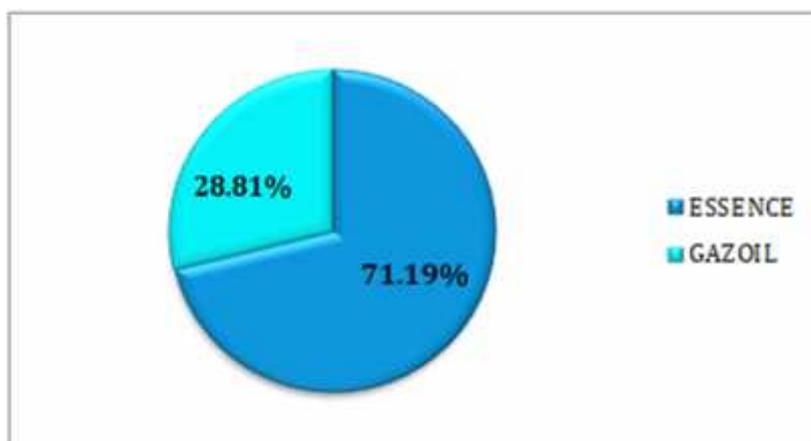
Par ailleurs, l'examen de l'évolution du parc automobile constantinois par source d'énergie a montré que la part de la source d'énergie essence est la plus importante, soit 71,19% par rapport à la source d'énergie diesel qui est de 28,81% (Figure 10) (ONS, 2018).

**Tableau 07:** Répartition du parc automobile de l'Algérie par wilaya (ONS, 2018).

Wilaya	Nombre	Pourcentage
Alger	1 689 242	26,32
Blida	351 275	5,47
Oran	331 965	5,17
Constantine	231 521	3,61
Tizi Ouzou	213 618	3,33
Bejaia	207 892	3,24
Annaba	200 616	3,13%
Batna	180 284	2,81
Boumerdes	177 960	2,77
Sétif	176 731	2,75
Tipaza	145 336	2,26
Chlef	141 322	2,2
Autres wilayas	2 370 450	36,94
<b>Total</b>	<b>6 418 212</b>	<b>100%</b>



**Figure 09:** Répartition du parc automobile à Constantine par genre de véhicules.



**Figure 10 :** Répartition du parc automobile à Constantine par source d'énergie.

## 1.2. Choix et localisation des stations de prélèvement

Notre zone d'étude est localisée conjointement avec la Route nationale N°05 (RN5), aussi appelée route du Constantinois. Elle relie Alger à Constantine. Ce fut pendant très longtemps l'axe principal entre la capitale et l'est du pays, et est la route la plus fréquentée jusqu'à l'ouverture de l'autoroute Est-Ouest. Notre départ était de la station des transports des voyageurs ouest à la cité Boussouf jusqu'à la cité Des Mûriers.

L'exploration primitive de la zone d'étude nous a permis de localiser 13 stations sur une distance de 14,4 Km (aller/retour) (Figure 11). Pour le choix des différents points d'échantillonnage, nous nous sommes basées sur la densité du trafic routier, la présence absence de carrefour, de pente, la hauteur des arbres, l'état de santé des arbres, etc.

Parmi tous les arbres présents par station, le choix des pieds d'échantillonnage était aléatoire. Les coordonnées GPS des 13 stations sont indiquées dans le Tableau 08.

**Tableau 08:** Coordonnées GPS des stations de prélèvement.

Voies	Numéro de la station	Coordonnées
Aller (station des transports des voyageurs vers la cité des Mûriers)	01	36.328509°N 6.583601 <sup>E</sup>
	02	36.330887°N 6.585768 <sup>E</sup>
	03	36.331500°N 6.587253 <sup>E</sup>
	04	36.333250°N 6.587778 <sup>E</sup>
	05	36.336350°N 6.591514 <sup>E</sup>
	06	36.345672°N 6.608725 <sup>E</sup>
	07	36.350158°N 6.627275 <sup>E</sup>
Retour (Cité des Mûriers vers la station de transports des voyageurs)	08	36.350547°N 6.632483 <sup>E</sup>
	09	36.349636°N 6.629664 <sup>E</sup>
	10	36.350889°N 6.620156 <sup>E</sup>
	11	36.345028°N 6.607556 <sup>E</sup>
	12	36.338303°N 6.599006 <sup>E</sup>
	13	36.332994°N 6.587211 <sup>E</sup>



**Figure 11:** Localisation des stations de prélèvement (Google maps, 2020).

## 2. Matériel végétal (*Ficus retusa*)

Le matériel végétal est constitué de l'espèce *Ficus retusa* âgée de 6 ans, plantée le long de la route en allant de la cité Boussouf jusqu'à la cité des Mûriers.

### 2.1. Description

- ✓ Hauteur : c'est un arbre pouvant atteindre 10 m de haut.
- ✓ Propagation : il a une croissance rapide ou il peut germer sur un autre arbre, puis émettre des racines aériennes qui s'allongent de 40 à 60 cm jusqu'à toucher le sol, et qui assurent par la suite leur rôle de nutrition et de soutien
- ✓ Sa couronne est asymétrique d'une forme ronde vase et diffusé, et dense (Mimoune et Marouf, 2018).



### 2.2. Caractéristiques générales

#### L'écorce et le bois

*Ficus retusa* a une écorce très claire, épaisse, cireuse, lisse, gris-brun ou rougeâtre chez les jeunes spécimens, blanchâtre ou blanc laiteux chez les plus matures. L'écorce a les lenticelles horizontales typiques, ou des petites protubérances d'écorce. Le bois est jaune blanchâtre avec des veines. La base du tronc est très riche en racines tordues, massives et épaisses. Ce dernier est équipé d'un système racinaire très puissant qui résiste bien à l'humidité et les sols très fertiles (Trabi, 2014).

#### Les feuilles

Les feuilles de *Ficus retusa*, sont simples bien que petites de 2 à 5 cm (selon l'âge). Elles sont généralement épaisses et coriaces, ovales, lisses et brillantes, de couleur vert foncé et plus claire sur le fond. Le feuillage présente un port compact et très ramifié. Les feuilles ne résistent pas à la solution saline, il est donc recommandé de ne pas planter ce *Ficus* près de la mer (Trabi, 2014).

### 2.3. Taxonomie

Classification d'après: APG «Angiosperm Phylogeny Group» IV (2016)

<b>Règne</b>	<i>Planta</i>
<b>Domaine</b>	<b>Eucaryotes</b>
<b>Ordre</b>	<i>Rosales</i>
<b>Famille</b>	<i>Moraceae</i>
<b>Genre</b>	<i>Ficus</i>
<b>Sous genre</b>	<i>Urostigma</i>
<b>Section</b>	<i>Urostigma</i>
<b>Sous-section</b>	<i>Conosycea</i>
<b>Nom binominal</b>	<i>Ficus retusa</i>
<b>Nom commun</b>	<i>Ficus, Figuier Banyan</i>

### 2.4. Ecologie de l'espèce

*F. retusa* est un arbre originaire de la zone tropical et subtropical où il nécessite un climat humide et lumineux (plein soleil, soleil partiel ou mi-ombre) et de sorte que les basses températures peuvent nuire à son développement, en provoquant la chute des feuilles, ralentissement de son activité ainsi que la mort des jeunes pousses. Il a besoin aussi d'un sol argileux, sableux alcalin, acide parfois humide et bien drainé. Il a une tolérance élevée à la sécheresse et il nécessite une irrigation régulière et abondante. Il possède une tolérance au sel d'aérosol modérée. Comme toutes les espèces du genre *F. retusa* produit un latex blanc épais et collant irritant pour la peau et il peut provoquer une intoxication par ingestion pour les animaux (Mimoune and Marouf, 2018).

### 3. Stratégie de prélèvement des échantillons

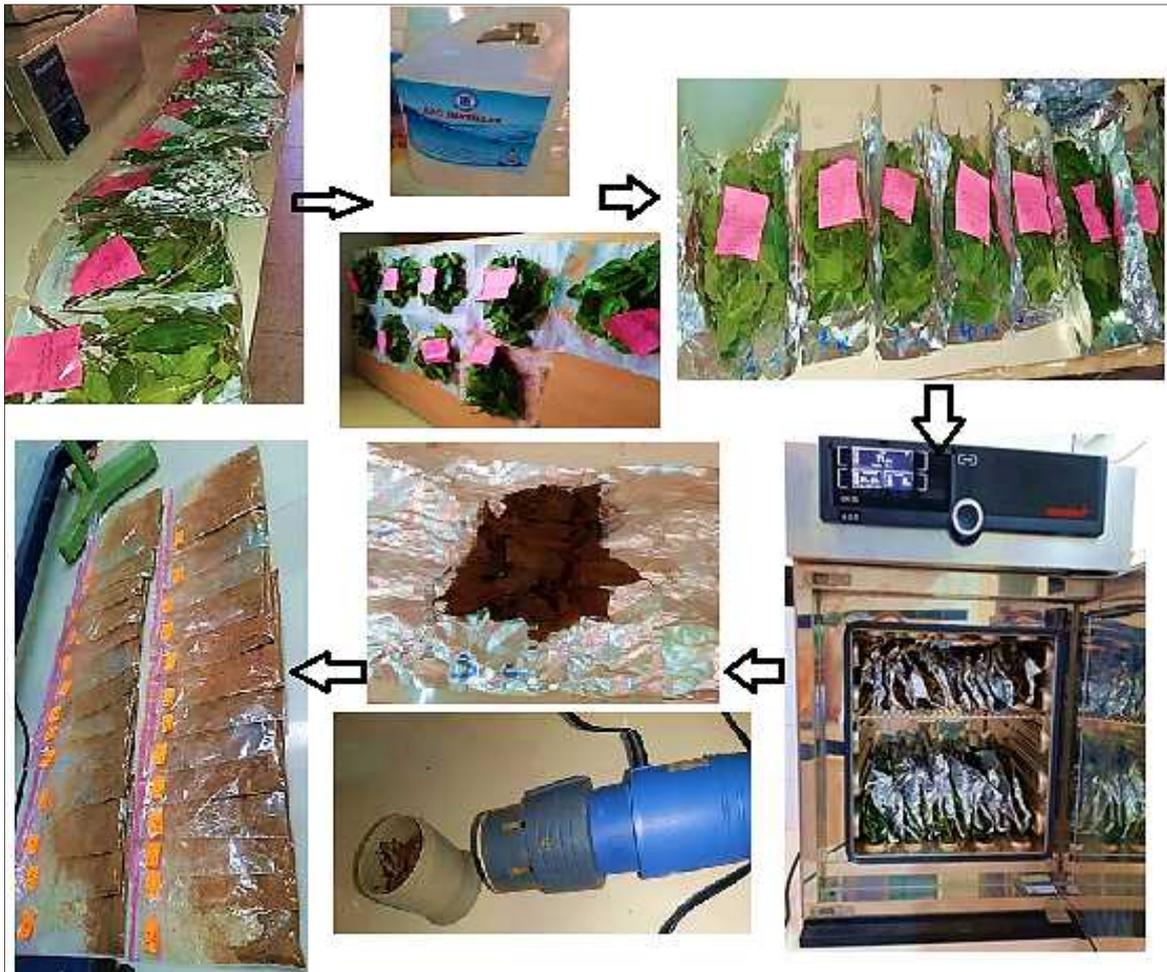
Toute au long de la zone d'étude, 13 stations ont été sélectionnées et donc 13 arbres représentatifs ont été choisis. L'espèce étudiée est *Ficus retusa*. La partie ayant fait l'objet de notre investigation étant les feuilles. Ces dernières ont été récoltées de façon aléatoire en essayant de prélever dans les branches les plus accessibles à la hauteur de bras levé en utilisant des ciseaux. Les feuilles ont été conservées dans des sacs en plastiques étiquetés et transportés au laboratoire pour traitement et analyse (Figure 12).



Figure 12: Stratégies de prélèvement et conservation des feuilles du *F. retusa*.

#### 4. Préparation et traitement des échantillons

Une fois au laboratoire, chaque échantillon est divisé en deux, une partie est lavée à l'eau de robinet puis à l'eau distillée, l'autre est conservée telle qu'elle est. Le tout (feuilles lavées et non lavées) est séché dans une étuve à 85°C pendant 48h, puis broyé et conservé jusqu'à analyse (Figure 13).



**Figure 13:** Traitement et conservation des échantillons.

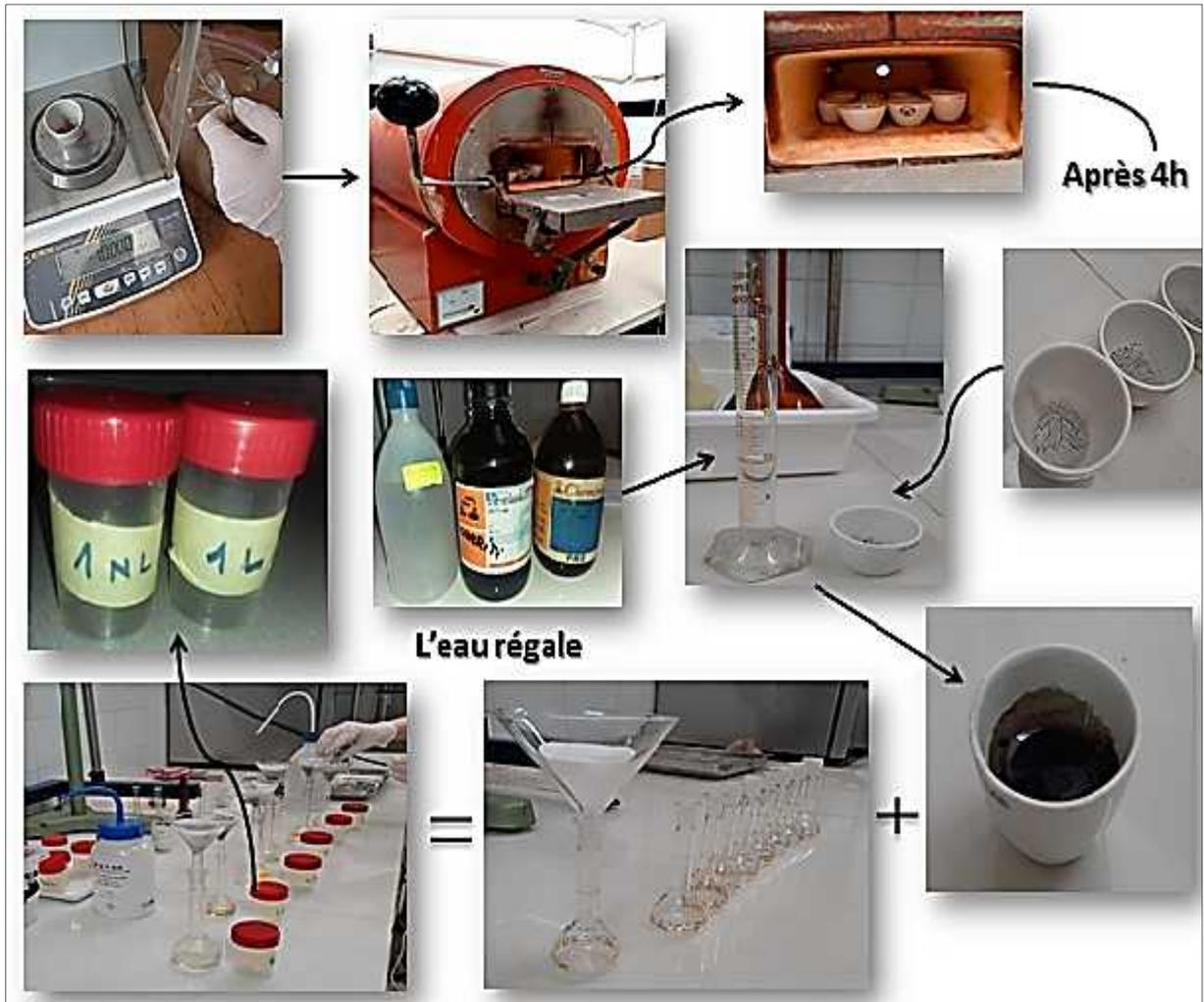
## 5. Extraction et dosage des ETM dans les feuilles lavées et non lavées de *F. retusa*

### 5.1 Extraction des ETM

L'extraction des ETM (Pb, Cd) a été effectuée au niveau des feuilles lavées et non lavées séchées et broyées de l'espèce *F. retusa*, selon la méthode décrite par Benton (2001). Cette dernière consiste en une calcination sèche pendant 4h d'un gramme de l'échantillon dans un four à moufle à 450°C par montée progressive de la température afin d'éviter les pertes par projection (Figure 14).

Après la calcination, les cendres blanches obtenues sont récupérées avec 10 ml d'eau régale diluée au 1/3. Le tout est filtré dans des fioles de 20 ml en utilisant un papier filtre sans cendres (Watman 540). Le volume est complété à 20 ml avec de l'eau pure. Les échantillons obtenus sont conservés à 4°C jusqu'à analyse (Figure 14).

Préalablement aux analyses, tout le matériel utilisé (creusets, fioles, etc.) a été traité avec de l'acide nitrique à 5%.



**Figure 14 :** Processus d'extraction des ETM dans les feuilles de *Ficus retusa*.

### 5.2 Dosage des ETM :

Le dosage des deux ETM (plomb et cadmium) dans les extraits des feuilles lavées et non lavées du *F. retusa* a été effectué en utilisant un photomètre portable PhotoFlex STD WTW® (Figure 15).

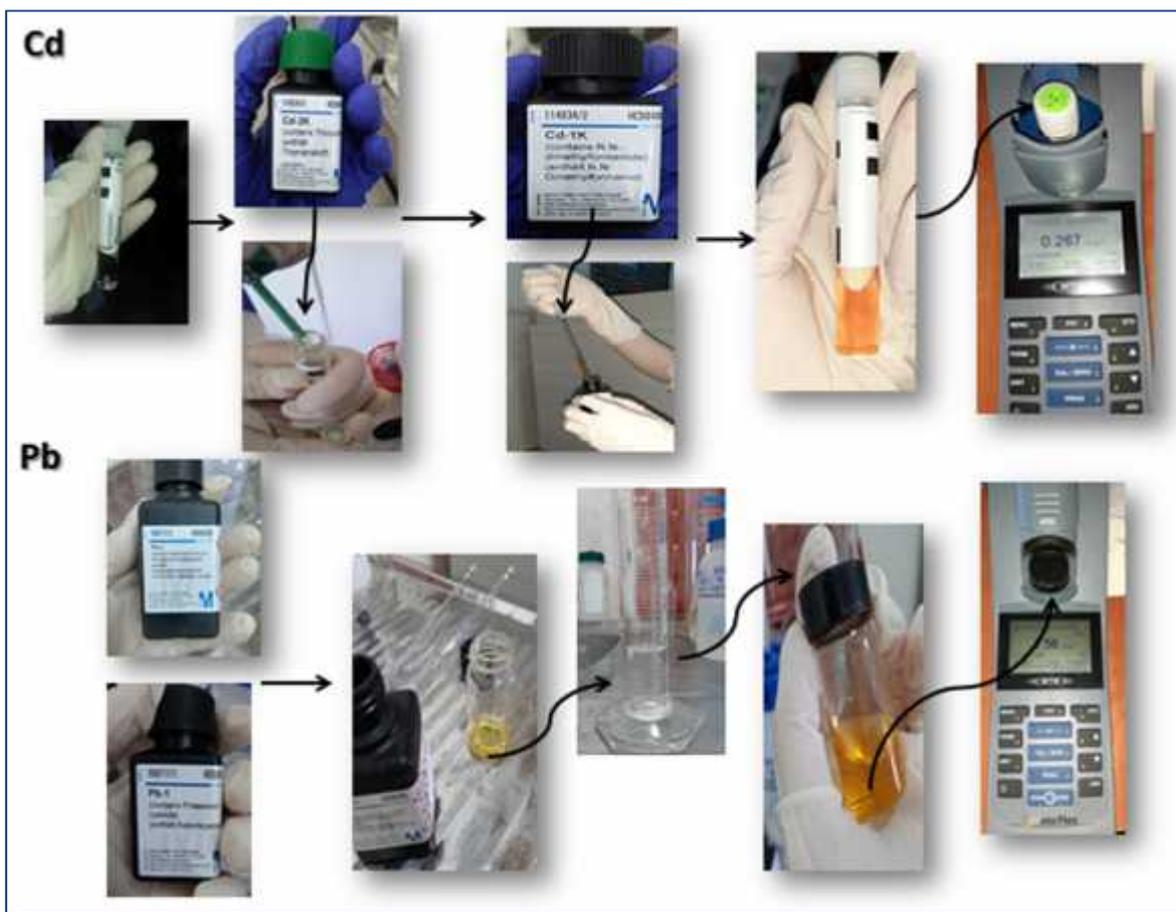
C'est un instrument de précision, qui permet des mesures photométriques simples, faciles et économes en énergie notamment les teneurs en ETM dans les différents types d'eau (souterraines, de surfaces, potables, usées, etc.), les boues d'épurations, le sol et les différentes autres matrices. A optique LED économisant l'énergie, il fonctionne avec 6 longueurs d'onde : 436, 517, 557, 594, 610, 690 nm, et un adaptateur de commutateur pour diverses applications avec des cuvettes de 16 mm et 28 mm, et plus de 180 programmes, et possède un grand nombre de test kits.



**Figure 15 :** Photomètre Portable PhotoFlex STD WTW.

Pour la quantification des teneurs en cadmium, nous avons utilisé le test kit cadmium en tube 14834. Ce test kit permet de détecter des concentrations allant 0.0025 à 1000 mg/L. Deux réactifs (0.2 ml du Cd-1K qui contient du N,N-diméthylformamide et 1 microcuillère arasée du Cd-2K qui contient du Thiourea), ont été mélangés avec 5 ml de l'échantillon à analyser dans des cuve de 16 mm, avant d'être placé dans le porte tube du photomètre pour la lecture (Figure 16).

Pour le plomb, le test kit plomb avec réactif 09719 a été utilisé. Ce test kit permet de détecter des teneurs en plomb allant de 0.01 à 5 mg/L. Les réactifs utilisés sont le Pb-1 (contient du potassium cyanide) et Pb-2 (contient de l'hydroxylammonium chloride et ammonia solution). Ainsi, 0.5 ml de chaque réactif sont mélangés avec 8 ml de l'échantillon à tester dans des cuves de 28 mm. Le tout est placé dans le porte tube du photomètre pour la lecture (Figure 16).



**Figure 16:** Processus de la détermination des teneurs en cadmium et en plomb par le Photomètre PhotoFlex STD WTW®.

### 5.3 Contrôle de la répétabilité et la reproductibilité de la méthode d'extraction des ETM chez *F. retusa*

Afin de vérifier la répétabilité et la reproductibilité de la méthode d'extraction des ETM chez *F. retusa*, deux blancs et un échantillon de référence certifié ont été utilisés. Les blancs ont subi les mêmes traitements que les échantillons de ladite espèce, afin de pouvoir détecter une éventuelle contamination due au matériel et/ou réactifs.

Pour la vérification de la reproductibilité de la méthode d'extraction, nous avons utilisé l'échantillon de référence certifié BCR-62 *Olea europaea*. Ce dernier a été traité de la même façon que *F. retusa*.

Les résultats sont très satisfaisants notamment pour le plomb ; en effet, nous avons enregistré une concentration de l'ordre de 24.82  $\mu\text{g/g}$  versus une concentration de référence de 25  $\mu\text{g/g}$ . Le pourcentage de récupération étant de l'ordre de 99.28%. Pour le cadmium, les concentrations mesurées sont inférieures à la limite de détection de l'appareil (0.0025 mg/L).

**6. Traitement des résultats :**

Dans un premier temps, nous avons procédé au calcul de quelques indicateurs statistiques descriptifs (minimum, maximum, moyenne et écart type) afin d'analyser et cerner les résultats relatifs aux teneurs en Cd et Pb dans les feuilles lavées et non lavées du *F. retusa*. De plus, les résultats obtenus ont été illustrés par des représentations graphiques (histogrammes et boîtes à moustaches) plus compréhensibles et aisément interprétables.

Par ailleurs, nous avons procédé à une analyse de la variance à un facteur pour faire ressortir l'effet station, et à un test *t* de student pour comparer les teneurs en cadmium et en plomb enregistrées pour les feuilles lavées et non lavées.

Les traitements statistiques ont été effectués en utilisant le logiciel Statistica Version 7.0.

# *Chapitre III*

*Résultats*

*Et*

*Discussion*

Dans ce chapitre seront présentés les résultats relatifs aux teneurs en ETM (Cd et Pb) dans les feuilles lavées et non lavées de *F. retusa*. Ces derniers seront par la suite discutés et confrontés aux concentrations enregistrées par différents auteurs, pour différentes espèces ligneuses, en zone contaminées et non contaminées en Algérie et dans le monde.

Les données statistiques des teneurs en cadmium et en plomb dans les feuilles lavées et non lavées de *F. retusa* sont récapitulées dans le tableau 09. Sont indiqués : le minimum, la moyenne, le maximum et l'écart-type.

Les histogrammes (Figures 17 et 19) illustrent l'évolution dans l'espace des concentrations en Cd et en Pb chez *F. retusa*.

Les boxplots/boîtes à moustaches (Figures 18 et 20) illustrent les données statistiques des teneurs en Cd et en Pb chez *F. retusa*. La juxtaposition des boîtes à moustaches par élément pour les feuilles lavées et non lavées permet de comparer la distribution des concentrations pour les 2 ensembles de données pour chaque élément.

Globalement, les résultats obtenus révèlent la présence des deux éléments (Cd et Pb) dans tous les échantillons de feuilles lavées et non lavées prélevés sur les 13 sites d'investigation. Le plomb est plus abondant que le cadmium, et les teneurs des deux éléments dans les feuilles non lavées dépassent largement celles des feuilles lavées (Figures 17, 19 et Tableau 09).

**Tableau 09 :** Teneurs en cadmium et en plomb dans les feuilles lavées (FL) et non lavées (FNL) de *Ficus retusa*.

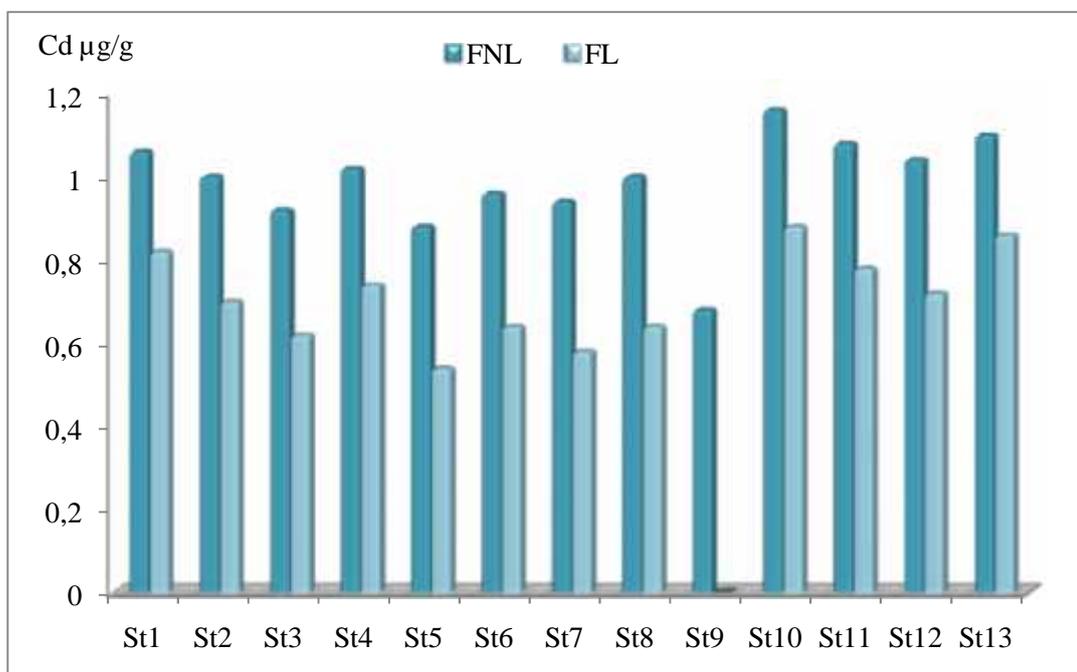
Stations	Cd_ FL ( $\mu\text{g/g}$ )	Cd_ FNL ( $\mu\text{g/g}$ )	Pb_ FL ( $\mu\text{g/g}$ )	Pb_ FNL ( $\mu\text{g/g}$ )
<b>Minimum</b>	<LD	<b>0.680</b>	<b>17,62</b>	<b>31,92</b>
<b>Moyenne</b>	<b>0.710</b>	<b>0.988</b>	<b>20,76</b>	<b>37,46</b>
<b>Maximum</b>	<b>0.880</b>	<b>1.16</b>	<b>22,44</b>	<b>42,02</b>
<b>Ecart type</b>	<b>0.110</b>	<b>0.120</b>	<b>1,594</b>	<b>3,763</b>

FL : Feuilles lavées FNL : Feuilles non lavées LD : Limite de détection.

### 1. Les teneurs en cadmium dans les feuilles de *F. retusa*

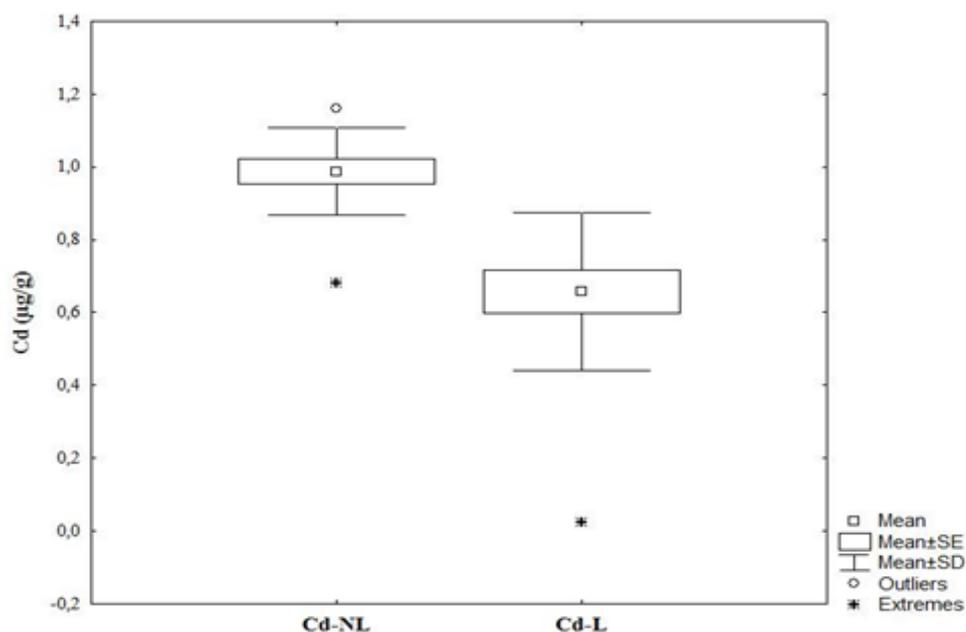
L'examen du tableau 09 et de la figure 17, montre que les teneurs en cadmium varient d'une station à l'autre aussi bien pour les feuilles lavées que non lavées. La concentration la plus élevée en Cd dans le cas des feuilles lavées est de 0,880  $\mu\text{g/g}$  enregistrée au niveau de la station 10 versus une valeur minimale en dessous de la limite de détection de l'appareil (<0.025 mg/L) enregistrée au niveau de la station 09. La moyenne est de l'ordre de 0.710  $\mu\text{g/g}$ . Pour les feuilles non lavées, nous avons enregistré un maximum de l'ordre

de 1.16  $\mu\text{g/g}$  versus un minimum de 0.680  $\mu\text{g/g}$  au niveau des mêmes stations (09 et 10 respectivement). La moyenne étant de 0.988  $\mu\text{g/g}$ . Cependant, cette fluctuation des teneurs en cadmium dans l'espace est non significative pour les feuilles lavées mais aussi non lavées.



**Figure 17 :** Variation spatiale des teneurs en cadmium dans les feuilles lavées et non lavées de *Ficus retusa*.

Par ailleurs, il apparaît que les teneurs en cadmium dans les feuilles non lavées dépassent largement celles des feuilles lavées (Figure 18). La tendance des fluctuations est pratiquement la même dans toutes les stations. En moyenne, les concentrations sont 1.5 fois plus importantes dans les feuilles non lavées que dans les feuilles lavées. L'écart le plus élevé (1.63) a été enregistré pour la station 05 située sur la route en allant vers Batna/El-khroub/aéroport ; la teneur en cadmium est de 0.88  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles non lavées contre 0.54  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles lavées. L'écart le plus faible (1.279) a été enregistré pour la station 13 située en face de l'arrêt de bus à l'entrée de la cité Boussouf (sur l'axe du retour). La concentration en cadmium est de 1.1  $\mu\text{g/g}$  contre 0.86  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles non lavées et lavées respectivement. Cette variabilité entre les teneurs en cadmium pour les feuilles lavées et non lavées a été confirmée par le test  $t$  de student qui a révélé un effet hautement significatif pour ( $t = 4.79$ ) et ( $p < 0.001$ ).



**Figure 18 :** Répartition des teneurs en cadmium dans les feuilles lavées et non lavées de *Ficus retusa*.

Dans l'ensemble et par rapport au plomb, il est évident que le cadmium présente les concentrations les plus faibles aussi bien pour les feuilles non lavées que lavées et ceci quelque soit le site investigué. Cependant, ces concentrations reflètent un enrichissement relativement important dans certains cas puisqu'elles dépassent celles enregistrées pour la même espèce ou d'autres espèces par différents auteurs dans le monde dans des sites contaminés et/ou non contaminés. En effet, Abou El Saadat et al. (2011) rapportent des concentrations en cadmium de l'ordre 0.38 µg/g, 0.90 µg/g et 1.11 µg/g pour les feuilles de *F. retusa* prélevées en zones sub-urbaine, urbaine et industrielle respectivement. Par ailleurs, Alfani et al (2000) ont rapporté des concentrations allant de 0.01 à 0.09 µg/g en zone urbaine, de 0.07 à 0.21 µg/g en bordure de routes, et de 0.007 à 0.01 µg/g en zone témoin pour les feuilles de *Quercus ilex*. Les concentrations enregistrées sont aussi deux à trois fois plus importantes que celles enregistrées par Alahabadi et al. (2017) pour les feuilles non lavées de *Robinia pseudoacacia* ( $0.5 \pm 0.21$  µg/g), *Pinus eldarica* ( $0.62 \pm 0.09$  µg/g), *Olea europaea* ( $0.45 \pm 0.17$  µg/g), et *Cupressus arizonica* ( $0.38 \pm 0.22$  µg/g) récoltées en zone urbaine dans la ville de Yazd en Iran. De même, les résultats enregistrés pour *F. retusa* dépassent largement ceux rapportés par Fazrul et Huda (2018) pour les feuilles d'*Athyrium esculentum* (0.01 µg/g), *Chromolaena odorata* (0.01 µg/g), et *Lantana camara* (0.09 µg/g) récoltées en bordures de routes dans la zone sub-urbaine Jengka à Pahang en Malaisie.

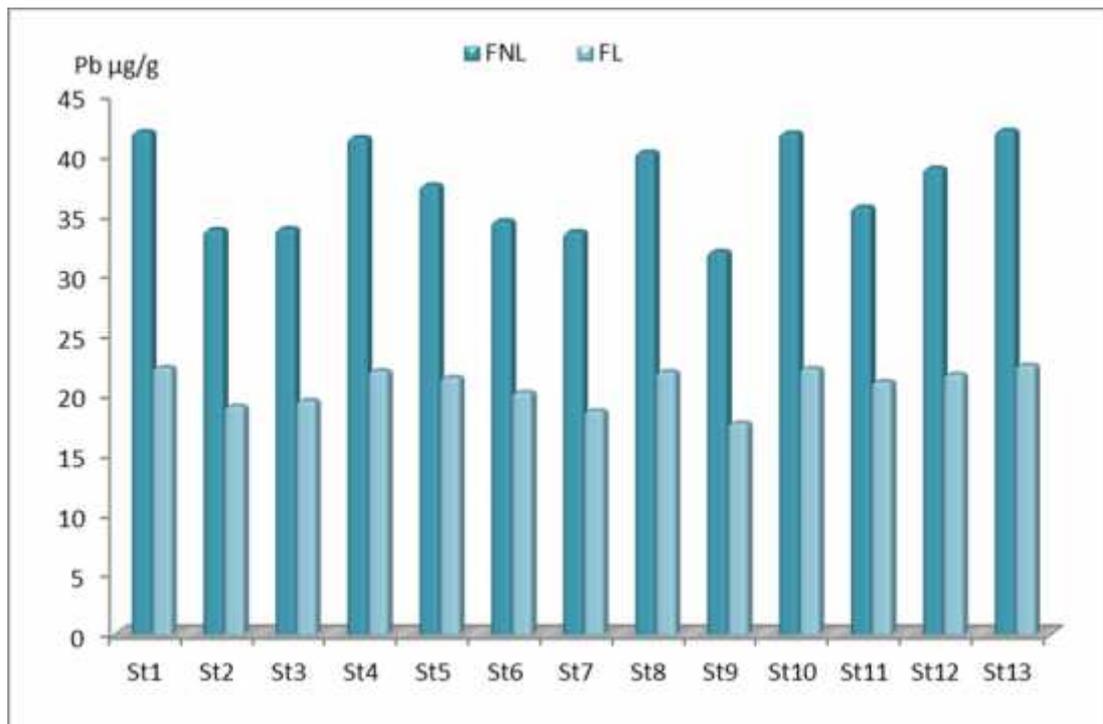
Pour de nombreuses références le Cd est un polluant très actif. L'émission du cadmium est très faible en quantité mais elle se poursuivra en raison de l'utilisation de stéarate de cadmium comme stabilisant des caoutchoucs et d'additifs des lubrifiants et aussi pour les équipements de protection (glissière, clôture, usure de la chaussée, etc.). Ces sources à leur tour sont influencées par plusieurs facteurs dont le type de parcours, routier ou autoroutier, et le type de véhicule. Les émissions sont deux fois plus importantes pour un poids lourd que pour un véhicule léger. L'usure du pneumatique dépend par ailleurs de nombreux autres paramètres tels que l'état de la chaussée qui s'aggrave toujours avec la pente et l'altitude, les conditions de conduite (accélération/décélération, charge du véhicule, pression de gonflage des pneus, etc.). Le trafic et les infrastructures routières constituent donc une source importante d'ETM rejetés dans l'environnement. Les polluants métalliques émis sont principalement présents dans les gaz d'échappements et dans les garnitures de freins et l'usure pneumatique. Dans le cas du cadmium, l'usure des pneus et des freins sont responsables de 3 à 7 % des émissions.

Le cadmium malgré qu'il est classé parmi les métaux qui n'ont aucun rôle métabolique et donc n'est pas essentiel pour les plantes, est caractérisé par des propriétés qui lui offrent l'opportunité de franchir les barrières biologiques cellulaires pour être ensuite accumulé dans les tissus. Ces mêmes propriétés sont similaires à celles du calcium, ce qui va entraîner une certaine compétition entre ces deux éléments (Tremel-Schaub et Feix, 2005). Aussi, le cadmium a des aptitudes remarquables de translocation des racines vers le reste de la plante. Ce qui explique les concentrations relativement élevées enregistrées dans les feuilles lavées de *F. retusa*. En effet, les phytochélatines (PC) qui sont de petits peptides riches en sulfures, et qui présentent une forte affinité pour les métaux divalents dont le  $Cd^{2+}$ , les métallothionéines et d'autres ligands réalisent la capture intracellulaire du cadmium. En présence de cadmium, ces peptides sont fortement synthétisés par une enzyme du cytoplasme. La liaison cadmium-phytochélatines (Cd-PC) permet de réduire la toxicité du cadmium. Pour la plupart des enzymes des végétaux, un tel complexe est 1000 fois moins toxique que l'ion libre  $Cd^{2+}$  (Martin-garin et Simon, 2004).

## 2. Les teneurs en plomb

Les résultats relatifs aux teneurs en plomb dans les feuilles lavées et non lavées de *F. retusa* récapitulés dans le tableau 9 et illustrés par la figure 19 montrent des fluctuations spatiales remarquables. Nous avons enregistré une concentration moyenne de l'ordre de

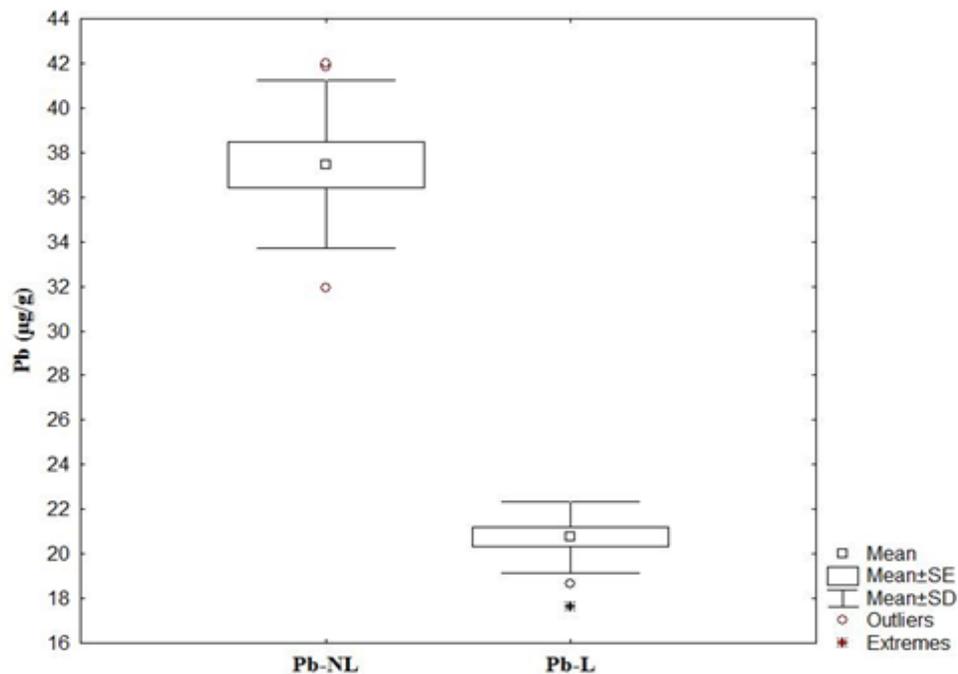
37.76  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles non lavées versus 20.76  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles lavées. Les valeurs extrêmes pour les feuilles lavées sont de l'ordre de 17.92  $\mu\text{g/g}$  et 22.44  $\mu\text{g/g}$  enregistrées au niveau des stations 09 et 13 respectivement, celles des feuilles non lavées sont de 31.92  $\mu\text{g/g}$  et 42.02  $\mu\text{g/g}$  enregistrées au niveau des mêmes stations. Notons que cette variabilité dans l'espace est non significative sur le plan statistique ; en effet, l'*anova* à un facteur n'a pas révélé d'effet que ça soit pour les feuilles lavées ou non lavées.



**Figure 19 :** Variation spatiale des teneurs en plomb dans les feuilles lavées et non lavées de *Ficus retusa*.

Cette variation des concentrations en plomb est le résultat d'interaction de plusieurs facteurs, tel que l'éloignement par rapport à la route qui conditionne l'ampleur des dépôts du Pb issu des gaz d'échappement des véhicules utilisant de l'essence plombée et donc de son accumulation par *F. retusa*. En outre la pluie, l'humidité relative et particulièrement la vitesse et la direction des vents peuvent influencer le dépôt des polluants atmosphériques contenus dans l'air et donc leur accumulation par les différentes matrices biologiques notamment les arbres en bordures de route. Le relief joue aussi un rôle important ; en effet, les voitures sont réglées pour que les émissions soient au minimum au niveau de la mer, mais elles augmentent considérablement avec la pente, qui va souvent de pair avec les hautes altitudes, et aggrave le niveau d'émission des véhicules.

Par ailleurs, il apparaît que les teneurs en plomb dans les feuilles non lavées dépassent largement celles des feuilles lavées (Figure 20). En effet, des écarts considérables ont été enregistrés entre les deux types de feuilles analysés et ceci quelque soit le site investigué. En moyenne, les concentrations sont 1.8 fois plus importantes dans les feuilles non lavées que dans les feuilles lavées. L'écart le plus élevé 1.885 a été enregistré pour les stations 04 située devant l'arrêt de bus à proximité du centre de l'équitation de la cité Boussouf, et 10 située devant la gare routière "Sahraoui Tahar". Pour la station 4, nous avons enregistré des concentrations en plomb de 41.44  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles non lavées contre 21.98  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles lavées. Pour la station 10, la concentration est de 41.82  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles non lavées contre 22.18  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles lavées. Cependant, l'écart le plus faible (1.690) a été enregistré pour la station 11 située à Mimosa (sur l'axe du retour). La concentration en plomb est de 35.64  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles non lavées contre 21.08  $\mu\text{g/g}$  pour les feuilles lavées. Cette variabilité entre les teneurs en plomb quantifiées dans les feuilles lavées et non lavées a été confirmée par le test  $t$  de student qui a révélé un effet hautement significatif pour ( $t = 14.73$ ) et ( $p < 0.01$ ).



**Figure 20 :** Répartition des teneurs en plomb dans les feuilles lavées et non lavées de *Ficus retusa*.

La relation entre la pollution plombique et l'intensité du trafic a été démontrée par de nombreux auteurs (Li et al. 2001 ; Yilmaz et Zengin, 2004 ; Yan-Ju et al. 2007).

Cet élément se trouve essentiellement dans les gaz d'échappement, les lubrifiants, les pneumatiques, les garnitures de freins, le dégivrage, etc. (Maatoug et al. 2007). Ainsi, l'utilisation intense de cet élément a fait augmenter ses concentrations dans le sol, l'eau, l'air et les différentes matrices biologiques notamment la végétation aussi bien herbacée que ligneuse implantée le long des bordures de routes (Maatoug et al. 2007; Kandziora-Ciupa et al. 2016).

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude reflètent des situations d'enrichissement et donc d'accumulation considérables du plomb par l'espèce ligneuse *F. retusa*. Les concentrations déterminées dépassent celle considérée comme normales chez les plantes et qui est de l'ordre de 10 µg/g (Markert 1992 ; Kabata and Pendias 2001; Padmavathiamma and Li 2007; Hu et al. 2014).

De plus, les concentrations enregistrées aussi bien pour les feuilles lavées que non lavées dépassent largement celles rapportées par Abou El Saadat et al. (2011) pour la même espèce. Ces auteurs ont enregistré des concentrations de l'ordre de 1 µg/g, 5.02 µg/g et 18.46 µg/g pour les feuilles de *F. retusa* prélevées en zones sub-urbaine, urbaine et industrielle respectivement. Elles sont également trop élevées par rapport à celles enregistrées par Singh Patel et al. (2015) pour les feuilles de *Ficus religiosa* (1.8 µg/g) prélevées dans une zone industrielle près de la ville de Korba en Inde. Ces concentrations sont aussi 3 fois plus importantes que celles rapportées par Alatou et Sahli (2019); ces auteurs ont enregistré respectivement pour les feuilles lavées et non lavées des concentrations de l'ordre de 7.5 µg/g et 10.83 µg/g dans le cas de l'espèce *Eucalyptus cladocalyx*, et 14, 17 µg/g et 22.5 µg/g dans le cas du *Cupressus fastigiata* récoltés de long de la route nationale N°03 reliant la ville de Constantine à la commune de Hamma Bouziane. De même, ces concentrations sont nettement supérieures à celles enregistrées par Sawidis et al. (2011) pour les feuilles de *Platanus sp* dans un parc dans la ville de Salzburg en Autriche (3.703±0.735), un parc à proximité d'une zone industrielle à Belgrade en Serbie (13.748±2.569), et un parc dans la ville de Thessalonique en Grèce (10.440±3.736).

Le plomb émis par le trafic routier est mieux capté par les surfaces foliaires (contamination récente) que par les racines (Cecchi, 2008). En effet, pour la plupart des espèces, la majorité du plomb absorbé par les plantes réside dans les racines, et seulement une faible proportion est transférée vers les parties aériennes. Ce transport limité des racines vers les feuilles est souvent attribué à la barrière formée par l'endoderme des racines. *F. retusa* et comme pour la plupart des plantes en bordures de route, semble être fortement influencé

par les retombées du plomb vu les concentrations relativement importantes enregistrées pour les feuilles non lavées.

### 3. Indice d'accumulation métallique (MAI)

L'indice d'accumulation métallique (MAI) indique la capacité d'une plante à accumuler les ETM contenus dans l'atmosphère (Liu et al. 2007; Monfared et al. 2013 ; Hu et al. 2014).

Il est calculé selon la formule suivante :

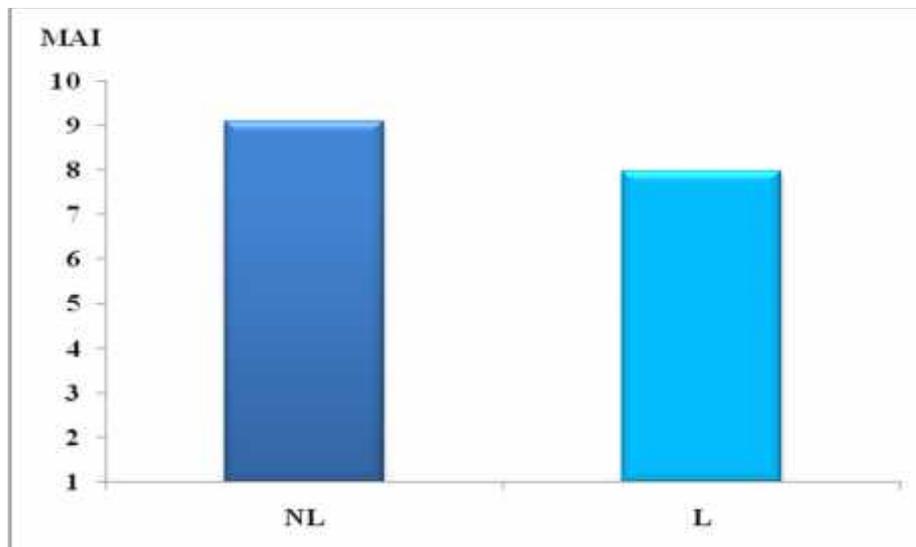
$$MAI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_j$$

Où :

**n** : est le nombre total d'ETM.

**I<sub>j</sub>** : est un sous-indice (I<sub>j</sub> est le rapport entre la concentration moyenne de chaque métal et son écart-type).

Les résultats de l'indice d'accumulation métallique (MAI) sont illustrés par la figure 21.



**Figure 21** : Indices d'accumulation métallique dans les feuilles lavées et non lavées de *Ficus retusa*.

L'examen de la figure 21 montre que l'indice d'accumulation métallique est plus élevé au niveau des feuilles non lavées ; nous avons enregistré 9.07 pour ces dernières contre 7.97 pour les feuilles lavées.

Les différentes parties des essences ligneuses en zones contaminées par les ETM (zone sub-urbaine, urbaine, industrielle, en bordures de routes, etc.) sont exposées à la fois aux contaminants présents dans l'air mais aussi à ceux du sol. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude le confirment puisque les valeurs des MAI sont importants aussi bien pour les feuilles lavées que non lavées. Ceci suggère que *F. retusa* a accumulé le Cd et le Pb contenus dans l'air mais aussi dans le sol. Les deux matrices (air, sol) semblent être fortement chargées par ces deux éléments ; en effet, l'échantillonnage a été effectué en bordures de routes.

L'intensité de l'accumulation des ETM dépend de plusieurs facteurs tels que les caractéristiques des essences, les parties ou encore organes analysés, les propriétés du métal, le niveau de contamination de l'environnement (sol et air), le gradient de tolérance des espèces aux ETM, mais aussi les propriétés météorologiques (Yin et al. 2011 ; Hofman et al. 2013 ; Remon et al. 2013 ; Hu et al. 2014 ; Nadg Orska-Socha et al. 2017).

Les résultats des teneurs en cadmium et plomb enregistrées pour les feuilles lavées et non lavées de *F. retusa*, ainsi que ceux des MAI montrent que ladite espèce possède une capacité d'accumulation remarquable des deux éléments étudiés. C'est pourquoi, il serait intéressant de l'utiliser dans des études relatives à la surveillance de la qualité de l'air dans les zones fortement contaminées notamment en domaine routier. D'ailleurs, de nombreuses études ont rapporté que les feuilles des arbres peuvent être utilisées comme bioindicateurs de la pollution atmosphérique métallique mais aussi comme de bons outils de monitoring et d'élimination des ETM en particulier ceux contenus dans l'atmosphère (Yang et al. 2005; Nowak et al. 2006; Serbula et al. 2012; Mok et al. 2013).

Par ailleurs, selon Liu et al. (2007), les espèces ayant une valeur de MAI élevée s'avèrent être intéressantes et forme un bon choix pour la plantation dans les villes et les zones urbaines où la contamination métallique peut poser problème (Mok et al. 2013). Ces espèces peuvent aussi être utilisées comme des barrières entre les zones polluées et les zones vulnérables (Hu et al. 2014; Zhai et al. 2016).

# *Conclusion*

La présence et l'entretien des infrastructures routières constituent une source très importante d'ETM dans l'environnement. Le plomb et le cadmium et d'autres métaux, sont considérés comme étant les principaux polluants métalliques émis. Ils sont issus des gaz d'échappement, mais aussi de l'usure des garnitures et de freins.

L'objectif principal de ce travail était de confirmer l'utilité des essences ligneuses plus particulièrement l'espèce *Ficus retusa* dans les processus de surveillance de la qualité de l'air en domaine routier. Pour cela, des feuilles lavées et non lavées de *F. retusa* récoltées le long de la route nationale N°05 reliant la station de transports des voyageurs ouest (cité Boussouf) à la cité des Mûriers dans la commune de Constantine, ont servi comme matrices indicatrices du pouvoir accumulateur du cadmium et du plomb contenu dans l'air et/ou le sol chez cette espèce.

À l'issue de cette étude, les principales conclusions peuvent être résumées ainsi :

- ✓ Les concentrations en cadmium enregistrées sont relativement faibles par rapport à celles du plomb aussi bien pour les feuilles lavées que non lavées. Un tel résultat n'est pas surprenant vu que le cadmium est présent dans l'environnement avec des concentrations très faibles. Ceci peut aussi être attribué au fait que les émissions véhiculaires sont plus chargées en plomb et que les teneurs des particules en cadmium relâchées par la garniture des véhicules représentent un faible pourcentage à comparer avec celles du plomb.
- ✓ Les concentrations en cadmium et en plomb enregistrées pour la plupart des sites investigués reflètent un enrichissement relativement important dans certains cas puisqu'elles dépassent celles rapportées par différents auteurs dans le monde pour des espèces ligneuses récoltées dans des sites contaminés et/ou non contaminés.
- ✓ Des fluctuations des teneurs en cadmium et en plomb entre les stations de prélèvements ont été enregistrées aussi bien pour les feuilles lavées que non lavées. Ces dernières, non significatives statistiquement, peuvent être attribuées à la distance par rapport à la route et aux caractéristiques des différentes stations (pente, carrefour, station du bus à proximité, etc).
- ✓ Les teneurs en cadmium et en plomb quantifiées dans les feuilles non lavées dépassent largement celles des feuilles lavées. Celles enregistrées pour les feuilles non lavées sont respectivement 1.5 fois et 1.8 fois plus importantes que celles des feuilles lavées.

- ✓ Les résultats de l'indice d'accumulation métallique (MAI) confirment l'efficacité de l'utilisation des espèces ligneuses dans les études de bioindication. Les feuilles de *F. retusa* s'avèrent être de bons outils de biomonitoring de la contamination métallique de l'air.
- ✓ Les valeurs des MAI sont importants aussi bien pour les feuilles lavées que non lavées. Ceci suggère que *F. retusa* a accumulé le Cd et le Pb contenus dans l'air mais aussi dans le sol. Ainsi, l'espèce étudiée s'avère être intéressante et forme un bon choix pour la plantation dans les villes et les zones urbaines où la contamination métallique peut poser problème. Cette espèce peut aussi être utilisée comme barrière entre les zones polluées et les zones vulnérables. Elle peut jouer un rôle stabilisant, voire curatif, sans négliger l'atout esthétique.
- ✓ Nos observations confirment également la nécessité de réduire les émissions polluantes issues du trafic routier par le renouvellement du parc automobile, l'amélioration du réglage de la combustion des moteurs et l'utilisation de carburants moins polluants. A l'heure actuelle, trois mois et demie, c'est le temps qu'il aura fallu à un virus «Covid-19», encore inconnu au début du mois de décembre 2019, pour mettre la planète à l'arrêt. Pas d'usines, pas de concessions et pour finir, presque plus d'automobilistes, ce qui a permis de réaliser, involontairement, une amélioration de la qualité de l'air où plusieurs statistiques révèlent une baisse de 80% de la pollution au bord des grands axes routiers. Cela a affirmé encore une autre fois que le réseau routier est l'une des plus importantes sources d'émissions des polluants atmosphériques notamment les éléments traces métalliques (ETM).

En perspectives et d'un point de vue fondamental, il serait intéressant :

- ) De quantifier les teneurs en ETM dans les différentes parties voir différents organes de *F. retusa* (écorce, fleurs, racines, fruits, etc.) ;
- ) De prendre en considération d'autres éléments traces métalliques particulièrement redoutables notamment le chrome, le cuivre, le zinc, l'arsenic, le mercure, etc. dont l'origine est souvent liée aux activités anthropiques ;
- ) De prendre en considération les données statistiques relatifs au trafic routier de la zone d'étude auprès des organismes concernés afin d'établir le lien intensité du trafic routier-teneurs en ETM. Nous tenons à signaler que nous n'avons pas réussi à les avoir compte tenu de l'arrêt de la plupart des administrations à cause de la pandémie Covid19 ;

- ) De prendre en considération d'autres axes routiers où l'espèce *F. retusa* est plantée afin d'avoir une vue d'ensemble sur le pouvoir accumulateur de cette espèce ;
- ) De combiner approche biologique et approche physico-chimique afin de compléter et confirmer les conclusions relatives à l'accumulation *via* le sol et *via* l'air ;
- ) Enfin, de prendre en considération la physiologie et la biologie de ladite espèce afin de mieux cerner son comportement vis-à-vis des ETM présents dans l'environnement en particulier ceux du sol et de l'air.

*Références*  
*Bibliographiques*

## A

- **Abou El Saadat E M., Hassan M R., Hassan I A., Weheda B M. 2011.** Heavy Metal Content in Leaves of *Ficus retusa* Collected from Contaminated and Uncontaminated Sites in Northern Egypt: Mitigation of Toxicity by Washing Treatments. Article. Universal Journal of Environmental Research and Technology. Volume 1, Issue 4: 408-415. [www.environmentaljournal.org](http://www.environmentaljournal.org)
- **Aichi L. 2015.** Le Coût Économique et Financier de La Pollution de l'air. Rapport publié au Journal Officiel Français – Édition des Lois et Décrets, 610. 299 p.
- **Alatou H and Sahli L. 2019.** Using tree leaves and barks collected from contaminated and uncontaminated areas as indicators of air metallic pollution. International Journal of Phytoremediation, 549-7879.
- **Alfani A., Baldantoni D., Maisto G., Bartoli G., Virzo De Santo A., 2000.** Temporal and spatial variation in C, N, S and trace element contents in the leaves of *Quercus ilex* within the urban area of Naples. Environ Pollut. 109(1):119–129.
- **Allahabadi A., Ehrampoush MH., Miri M., Ebrahimi Aval H., Yousefzadeh S., Ghaffari HR., Ahmadi E., Talebi P., Abaszadeh Fathabadi Z., Babai F. et al. 2017.** A comparative study on capability of different tree species in accumulating heavy metals from soil and ambient air, Chemosphere. 172:459-467.
- **Andre M., Brutti-Mairesse E. 2018.** Évaluation de l'impact d'un PDU : problématique de l'émission de polluants atmosphériques. Recherche Transports Sécurité, NecPlus, Évaluation environnementale des PDU 2015 (02), pp. 121-133.
- **Aranguren M. 2008.** Contamination en métaux lourds des eaux de Surface et des Sédiments du val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers approches géochimique, minéralogique et hydrochimique. Thèse de doctorat présentée à l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, 352 p.

## B

- **Belhadj H. 2015.** Détection de la pollution atmosphérique à l'aide du lichen *Xanthoria parietina* (L.) bio-accumulateur d'éléments traces métalliques dans le centre urbain de la ville de Sidi Belb Abbas (Algérie occidentale). Thèse de doctorat présentée à l'Université Djilali Liabes de Sidi-Bel Abbas, 99 p.
- **Belhiouani H. 2019.** Utilisation intégrée des escargots pour la surveillance de la contamination métallique des sols : approches chimique, biologique et écotoxicologique. Thèse de doctorat présentée à l'Université des Frères Mentouri Constantine, 243 p.
- **Benadda B. 2002.** Mesure des émissions et le traitement des métaux dans Les fumées : Cas du cadmium, du mercure et du plomb. Rapport fait pour LAEPSI INSA de Lyon France. N° 00-0220/1A, 199 p.

- **Benaissa F. 2010.** Contribution à l'évaluation des effets de la pollution atmosphérique d'origine automobile dans la wilaya de Bejaia. Mémoire de Magister en Analyse de l'Environnement et Biodiversité. Université Abderrahmane Mira Bejaia. 117p.
- **Berdonces MAL., Higuera PL., Fernandez-Pascual M., Borreguero AM., Carmona M. 2017.** The role of native lichens in the biomonitoring of gaseous mercury at contaminated sites. *J Environ Manag.* 186:207-213.
- **Berger A. 2006.** Les impacts du réseau routier sur l'environnement. Institut Français de l'environnement. La lettre thématique mensuelle de l'Institut français de l'environnement. N°114, 4 p.
- **Berlizov A., Blum O., Filby R., Malyuk I., Tryshyn V. 2007.** Testing applicability of black poplar (*Populus nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions. *Sci Total Environ.* 372(2-3):693-706.
- **Bernard A., Durif M., Vandamme L. 2004.** Utilisation d'une technique de biosurveillance Pour évaluer les retombées de métaux lourds cas d'un site de seconde fusion du plomb. Rapport fait pour L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), 61 p
- **Bouteraa M. 2014.** Utilisation des végétaux pour l'évaluation de la pollution atmosphérique le long de l'autoroute Est-Ouest dans la région de Constantine. Mémoire de magister. Université Constantine 1, 132p.
- **Burton A. 2016.** Les Rues « canyons », Des Hotspots Locaux de Pollution de l'air. Santé Environnement. <https://www.sante-environnement.be/Les-rues-canyons-des-hotspots-locaux-de-pollution-de-l-air>.

## C

- **Cachon F. 2013.** Étude de pollution atmosphérique en Afrique Sub-Saharienne : Cas de Cotonou (Bénin) : Caractérisation physicochimique des matières particulaires d'origine urbaine et impact toxicologique sur des cellules épithéliales bronchiques humaines (BEAS-2B) cultivées in vitro. Thèse de doctorat présentée à l'Université du Littoral Côte d'Opale, 282 p.
- **Catinon M. 2011.** Détermination de la pollution atmosphérique métallique : étude critique de l'utilisation des écorces d'arbres. Thèse de doctorat. L'Université Grenoble 1. 188p.
- **Cecchi M. 2008.** Devenir du plomb dans le système sol-plante. Cas d'un sol contaminé par une usine de recyclage du plomb et de deux plantes potagères (Fève et Tomate). Thèse de Doctorat. L'Institut National Polytechnique de Toulouse, 226p.
- **Chiron M., Quenel P., Zmirou D. 2018.** La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. *Pollution Atmosphérique : climat, santé, société, Le Kremlin Bicêtre : Revue Pollution atmosphérique, 1997, pp. 41-55.*

## D

- **Damy P-C. 2011.** L'origine et la disponibilité du cadmium dans les eaux continentales. Synthèse Des Connaissances. Synthèse documentaire présentée à l'Agences de l'eau et l'OIEau. 24 p.
- **Debiche Y. 2014.** Etude des éléments traces métalliques persistants dans les boues des stations d'épuration à boues activées. Mémoire de master présenté à l'Ecole nationale supérieure d'hydraulique «Arbaoui Abdellah». 57 p.
- **Deletraz G., Paul E. 1998.** Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes, Rapport de la Sociétés-Environnement-Territoires (SET) et du Laboratoire de la montagne alpine (LAMA), Contrat ADEME n° 97 93 022, 133p.
- **Deletraz G. 2002.** Géographie des risques environnementaux liés aux transports routiers en montagne: incidence d'émission d'oxyde d'azote en vallée d'Aspe et Biriadou (Pyrénées). Thèse de doctorat. Université de Pau et de Pays de l'adour, 552p.
- **Djeddi H. 2019.** Niveau de contamination par les ETM des sédiments du barrage Béni Haroun et des oueds qui l'alimentent : transfert vers la faune. Thèse de doctorat présentée à l'Université des Frères Mentouri- Constantine1. 215p.

## E

- **El-Hadef El-Okki M., Sahli L., Bentellis A., Azzoug R., Du Laing G., Rached O. 2015.** Assessment of metal contamination in soil banks of the Rhumel wadi (Northeast Algeria). *Toxicol Environ Chem.* 98(1):53-63.
- **El-Hasan T., Al-Omari H., Jiries A., Al-Nasir F. 2002.** Cypress tree (*Cupressus semervirens* L.) bark as an indicator for heavy metal pollution in the atmosphere of Amman City, Jordan. *Environ Int.* 28(6):513-519.
- **Elloumi N., Ben abdallah F., Mezghani I., Boukhris M. 2003.** Accumulation du plomb par quelques espèces végétales cultivées au voisinage d'une fonderie de plomb à Sfax. *Pollution Atmosphérique* N° 178, p 285-293.

## F

- **Faburé J. 2011.** Étude de l'accumulation et des effets des composés organiques volatils (BTEX) chez les bryophytes. Thèse de doctorat présentée à l'Université de Lille Nord de France. 295 p.
- **Fazrul R., Huda A H. 2018.** Heavy metals accumulation in suburban roadside plants of a tropical area (Jengka, Malaysia). *Gale Academic OneFile.* Article. *Ecological Processes*, vol. 7. 28., <https://doi.org/10.1186/s13717-018-0139-3>

- **Fernandez C., Labanowski J., Cambier P., Jongmans A.G. 2007.** Fate of air ornamental pollution in soils as related to agricultural management. 1. Zn and Pb distributions in soil profiles. *Eur J. Soil. Sci*, 58: 547-559.

- **Fujiwara FG, Gómez DR, Dawidowskia L, Perelman P, Faggi A. 2011.** Metals associated with airborne particulate matter in road dust and tree bark collected in a megacity (Buenos Aires, Argentina). *Ecol Indic* 11:240-247.

## G

- **Garnier, R. 2005.** Toxicity of lead and lead compounds. *EMC - Toxicologie-Pathologie* 2 (2): 67-88. <https://doi.org/10.1016/j.emctp.2004.10.004>.

- **Garrec J.P. et Van Haluwyn C. 2002.** Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Concepts, méthodes et applications. Éd.Tec et Doc Lavoisier, Paris, 118 p.

- **Ghali S. 2008.** Étude de la carbonisation d'un précurseur végétal, les noyaux d'olivier. Utilisation dans le traitement des eaux. Mémoire de Magister présenté à l'université du 20 août 1955-Skikda. 97 p.

- **Gherzi F. 2014.** Étude de l'adsorption du plomb par la résine lewatit. Mémoire de Master. Université de Tlemcen, 56p.

- **Gratani L., Crescente MF., Varone L. 2008.** Long-term monitoring of metal pollution by urban trees. *Atmos Environ.* 42(35):8273-8277.

## H

- **Hoët A. 2012.** La lutte contre la pollution atmosphérique due aux transports routiers de personnes: une responsabilité partagée entre État et collectivités territoriales. Mémoire de master. Université de Toulon. 148 p.

- **Hofman J., Stokkaer I., Snauwaert L., Samson R., 2013.** Spatial distribution assessment of particulate matter in an urban street canyon using biomagnetic leaf monitoring of tree crown deposited particles. *Environ Pollut.* 183:123-132.

- **Hu Y., Wang D., Wei L., Zhang X., Song B. 2014.** Bioaccumulation of heavy metals in plant leaves from Yanan city of the Loess Plateau, China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 110:82-88.

## J

- **Jean H, 2011.** Methodology and Ontology in Microbiome Research. *Biological Theory.* ISSN 1555-5542. Springer, 23p.

- **Journal Officiel de la République Algérienne-JORA. 2003.** la Loi Algérienne n°03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, l'article 04. 23 p.

## K

- **Kabata-Pendias A., Pendias H. 2001.** Trace elements in soils and plants. 3rd ed. Boca Raton (FL): CRC Press. 331p.
- **Konate T., Barry I. M. 2018.** Détermination du niveau de la pollution de l'air par le plomb d'origine routière dans la ville de Khemis Miliana. Mémoire de Master. Université Djilali Bounaâma de Khemis Miliana. 87p.
- **Koopmans L.V.E 2016.** The Stellar Velocity Dispersion of the Lens Galaxy in MG 2016+112 at  $z = 1.0041$ . The Astrophysical Journal, 568:L5-L8, March 20. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.
- **Krika A., Rached O., Gijs DL. 2013.** Assessment of atmospheric lead contamination of banks soils using soils tamarisk grove. Case study of the Kebir Rhumel (Algeria). Carpathian J Earth Environ Sci. 8(1): 207–216.
- **Krika A. 2014.** Etude de la distribution des métaux lourds dans les ripisylves de l'oued Rhumel. Thèse de Doctorat. Université Constantine 1, 118p.
- **Kummer U., Pacyna J., Pacyna E., Friedrich R. 2009.** Assessment of heavy metal releases from the use phase of road transport in Europe. Atmos Environ 43:640-647.

## L

- **Laffray X. 2018.** Pollution atmosphérique dans la vallée de l'Arc (Maurienne,Savoie) : Nouvelles approches en biosurveillance végétale. Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy-I, 316p.
- **Lakhdari A., Benabdeli K. 2012.** Determining the Heavy Metal Pollution in Mascara (Algeria), by Using Casuar in a equiseti folia, Ecologia Balkanica, Vol. 4, Issue 1, 17.
- **Leygonie R. 1993.** Les métaux lourds dans l'air : sources, émissions, mesure, effets. Pollution Atmosphérique N°139, p63-74.
- **Li XD., Poon CS., Liu PS., 2001.** Heavy metals contamination of urbansoils and street dusts in Hong Kong. ApplGeochem. 16(11–12): 1361–1368.
- **Liu YJ., Zhu YG., Ding H., 2007.** Lead and cadmium in leaves of deciduous trees in Beijing, China: development of a metal accumulation index (MAI). Environ Pollut. 145(2):387–390.
- **Lorenzini G., 1992.** Plants as biomonitors of air quality, 47-63 p.

## M

- **Maatoug M., Benchaben H., Hellel A., Ayad N. et Bourabatach M. 2007.** Bourbatach, M. Détection de la pollution de l'air d'origine routière par certaines espèces végétales

bioaccumulatrices de quelques métaux lourds (Pb, Zn, Cu). Pollution atmosphérique, N°196 : 385-394.

- **Maatoug M., Medkour K., Ait Hammou M., Ayad N. 2010.** Cartography of atmospheric pollution by the lead from road traffic using transplanted of a lichen bioaccumulator *Xanthoria parietina* in Tiaret city (Algeria). *Pollut Atmos*, 205:93-101.

- **Mairef A. 2016.** Utilisation des arbres des bords de route Comme indicateurs de pollution par le plomb : cas du « *Cupressus Fastigiata*. ». Mémoire de master présenté à l'Université des Frères Mentouri Constantine. 50p.

- **Malandrino M., Abollino O., Giacomo A., Aceto M. and Mentasi E. 2006.** Adsorption of heavy metals on vermiculite: Influence of pH and organic ligands, *Journal of Colloid and Interface Science*, 299, 537-546.

- **Markert B. 1992.** Establishing of reference plant for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting. *Water Air Soil Pollut.* 64(3-4):533-538

- **Martin-Garain A., Simon O. 2004.** Cadmium 109 et environnement. Fiche radionucléide présentée à la Direction de l'Environnement et de l'Intervention-Service d'Etude de Comportement des Radionucléides dans les Ecosystèmes (IRSN). 14 p.

- **Mazoue S. 1994.** Service D'Etude Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). . Impact du trafic routier sur l'environnement : la contamination du sol par voie aérienne. Rapport Setra - Cstr N° B 9411, DESS Pollution chimiques et environnement, 67 p.

- **Maizi N. 2013.** Caractérisation de la pollution plombique à l'aide des bioindicateurs végétaux : un lichen « *Ramalina Farinacea* », une mousse « *Funaria Hygrométrica* » et quelques espèces phanérogamiques dans la région de Annaba (Algérie). Thèse de doctorat présentée à l' Université Badji Mokhtar-Annaba. 215 p.

- **Mimoune R., Marouf N. 2018.** Adaptation de *Ficus retusa* à la variabilité thermique dans la région de Constantine. Mémoire de Master. Université de Constantine 1. 52p.

- **Mok HF., Majumder R., Laidlaw WS., Gregory D., Baker AJ., Arndt SK., 2013.** Native Australian species are effective in extracting multiple heavy metals from biosolids. *Int J Phytoremediation.* 15(7):615–632.

- **Monfared S.H., Matinzadeh M., Shirvany A., Amiri G.Z., Fard R.M. and Rostami, F. 2013.** Accumulation of heavy metal in *Platanus orientalis*, *Robinia pseudoacacia* and *Fraxinus rotundifolia*. *J. For. Res.* 24: 391-395.

- **Mukherjee A., Agrawal SB., Agrawal M. 2016.** Heavy metal accumulation potential and tolerance in tree and grass species. In: Singh A, Prasad S, Singh R, editors. *Plant responses to Xenobiotics*. Singapore: Springer. p. 177-210.

## N

- **Nadg orska-Socha A., Kandziora-Ciupa M., TrzeRsicki M., Barczyk G., 2017.** Air pollution tolerance index and heavy metal bioaccumulation in selected plant species from urban biotopes. *Chemosphere*.183:471–482.
- **Naili S., Nait Merzoug A., Dénès G., Merazigi H., Lakehal A. 2016.** Détermination des teneurs en éléments traces métalliques des sols cultivés dans la région de Constantine. *Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution ICEMAEP, Constantine, Algeria*. 103-109 p.
- **Normand G. 2012.** Outils d'évaluations du risque écotoxicologique des contaminants atmosphériques. *Maître en environnement. Université de Sherbrooke*, 58p.
- **Nowak D-J., Crane D-E., Stevens J.C., 2006.** Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban For Urban Green*. 4:15–123.

## O

- **Omar Y. 2015.** Bioaccumulation de quelques métaux d'origine routière de moyen d'une Mousse. Thèse de doctorat présentée à l'Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes. 113p.
- **OMS. 2018.** Neuf personnes sur 10 respirent un air pollué dans le monde. <https://www.who.int/fr/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

## P

- **Philippe C. 2004.** Analyse de la pollution atmosphérique aux échelles locale et régionale. Modélisation spatiale et temporelle à l'aide d'une méthode de scénarii épisodiques. Thèse de doctorat présentée à L'Institut National Des Sciences Appliquée de Rouen. 214 p.

## R

- **Recherche, Développement & Consulting (RDC)-Environnement, Stratec. 2005.** Étude comparative analysant les impacts environnementaux de différents styles de conduite et sur un parcours typique de la Région de Bruxelles-Capitale. *Recherche, Développement & Consulting-Bruxelles s.a. Environmental Consultants*, 61p.
- **Redjala T. 2018.** Etude de l'absorption racinaire du cadmium afin d'améliorer la modélisation de son transfert vers les plantes. Thèse de Doctorat. L'Institut National Polytechnique de Lorraine, 146p.
- **Remon E. 2006.** Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : Vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution. Thèse de doctorat présentée à l'Université Jean Monnet-France. 159p.

- **Remon E., Bouchardon J-L., Le Guédard M., Bessoule J-J., Conord C., Faure O., 2013.** Are plants useful as accumulation indicators of metalbioavailability. *Environ Pollut.* 175:1–7.
- **Ribeiro de Souza SC, AdriánLópez de Andrade S, Anjos de Souza L, Schiavinato MA. 2012.** Lead tolerance and phytoremediation potential of Brazilian leguminous tree species at the seedling stage. *J Environ Manage* 15:299-307.
- **Rzepka M-A et Cuny D. 2008.** Biosurveillance végétale et fongique des ETM atmosphériques, *Air Pur N° 75 - Deuxième semestre*, p 66-79.

## S

- **Safari M., Ramavandi B., Sanati AM., Sorial GA., Hashemi S., Tahmasebi S., 2018.** Potential of trees leaf/bark to control atmospheric metals in gas and petrochemical zone. *J Environ Manage.* 222:12-20.
- **Sahli L. 2012.** Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bioessais. Thèse /de Doctorat en Sciences, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mentouri-Constantine. 262 p.
- **Sahli L., Afri-Mehennaoui F-Z., El-Hadef El-Okki M., Blaise C., Mehennaoui S. 2011.** Spatial and seasonal variations and ecotoxicological significance of sediment trace metal concentrations in Kebir-Rhumel basin (Northeast of Algeria). *Water Sci Technol.* 64(8):1759-1766.
- **Sawidis T, Breuste J, Mitrovic M, Pavlovic P, Tsigaridas K. 2011.** Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. *Environ Pollut.* 159(12):3560-3570.
- **Service d'Etude Technique des Routes et Autoroute-Sétra. 2004.** La pollution des sols et des végétaux à proximité des routes Les éléments traces métalliques (ETM). Rapport SETRA. *Économie Environnement Conception* 73, 12 p.
- **Singh Patel K., Sharma R., Singh Dahariya N., Yadav A., Blazhev B., Matini L., Hoinkis J. 2015.** Heavy Metal Contamination of Tree Leaves. *American Journal of Analytical Chemistry*, 6, 687-693.
- **Sobanska S., Choël M., Barbillat J., Rimetz-planchon J., Moreau M., Bremard C. 2008.** Analyse des éléments Traces Métalliques dans les particules atmosphériques par micro-imageries. *Air Pur N° 75*, 22-26.
- **Serbula SM., Miljkovic D-D., Kovacevic RM., Ilic AA., 2012.** Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil. *Ecotoxicol Environ Saf.* 76:209–214.

## T

- **Terrouche A. 2016.** Caractérisation de la pollution de l'air par les particules et les éléments métalliques dans la ville de Constantine. Thèse de doctorat. Université Constantine 1. 92 p.

- **Tomasevic M., Vukmirovic Z., Rajsic S., Tasic M., Stevanovic B. 2005.** Characterisation of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area. *Chemosphere*. 61:753-760.
- **Trabi Z F. 2014.** Etude de la des réflectance spectrale feuilles de *Ficus benjamina* L. (Moraceae ) : Bioindication de pollution atmosphérique. Mémoire de Master. Université de Nangui Abrogona, 31 p.
- **Tremel-Schaub A., Feix I. 2005.** Contamination des sols. Transferts des sols vers les plantes. Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie. EDP Sciences/ADEME. 422 p.
- **Trepanie M., Coelho L. 2017.** Facteurs et méthodes de calcul d'émission de gaz à effet de serre. Rapport fait pour Université Laval. CIRRELT-2017-08, 30 p.

## V

- **Van Haluwyn C. 2008.** Méthodes normalisées ou méthodes brevetées en biosurveillance de la qualité de l'air ?. Éditorial, *Pollution atmosphérique* 200:249-251.
- **Veschambre S. 2006.** Caractérisation et quantification des éléments traces métalliques dans les dépôts et les particules atmosphériques de la vallée d'aspe (Pyrénées). Mise en place d'indicateurs de la qualité de l'air lies au trafic routier. Thèse de Doctorat. Université de Pau et de Pays de l'Adour, 417p.

## Y

- **Yan-Ju Liua b., Yong-Guan Zhub., Hui Dinga., 2007.** Lead and cadmium in leaves of deciduous trees in Beijing, China: Development of a metal accumulation index (MAI). *Environmental Pollution*. Volume 145, Issue 2. P 387–390.
- **Yang X., Feng Y., He Z., Stoffell PJ., 2005.** Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *J Trace Elem Med Biol*. 18(4):339–353.
- **Yilmaz S., Zengin M. 2004.** Monitoring environmental pollution in Erzurum by chemical analysis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. Article. *Environment International* 29 1041 – 1047.
- **Yin S., Shen Z., Zhou P., Zou X., Che S., Wang W., 2011.** Quantifying air pollution attenuation within urban parks: an experimental approach in Shanghai, China. *Environ Pollut*. 159(8–9):2155–2163.
- **Yoon J., Cao X., Zhou Q., Ma LQ. 2006.** Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *The Science of the Total Environment* 368: 456-464.
- **Yu KF., Kamber BS., Lawrence MG., Greig A., Zhao JX.. 2007.** High-precision analysis on annual variations of heavy metals, lead isotopes and rare earth elements in mangrove tree rings by inductively coupled plasma mass spectrometry. *NuclInstrum Methods Phys Res B Beam Interact Mater Atoms* 255:399-408.

## Z

- **Zhai Y., Dai Q., Jiang K., Zhu Y., Xu B., Peng C., Wang T., Zeng G., 2016.** Trafficrelated heavy metals uptake by wild plants grow along twomain highways in Hunan Province, China: effects of soil factors,accumulation ability, and biological indication potential. *Environ SciPollutRes.* 23(13):13368–13377.

**UTILISATION DE *FICUS RETUSA* COMME INDICATEUR DE LA  
CONTAMINATION MÉTALLIQUE DE L'AIR EN BORDURES DE ROUTE  
(CONSTANTINE)**

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie Fondamentale et Appliquée.

L'objectif du présent travail était de confirmer l'utilité des essences ligneuses plus particulièrement l'espèce *Ficus retusa* dans les processus de surveillance de la qualité de l'air en domaine routier. Pour cela, des feuilles de *F. retusa* récoltées le long de la route nationale N°05 reliant la station de transports des voyageurs ouest (cité Boussouf) à la cité des Mûriers dans la commune de Constantine, ont servi comme matrices pour la quantification des teneurs en cadmium et en plomb. Treize stations comptant un aller/retour le long de cette route ont été investiguées durant le mois de mars 2020. Les teneurs en cadmium et en plomb ont été déterminées dans les feuilles lavées et non lavées. Les concentrations en cadmium sont relativement faibles par rapport à celles du plomb aussi bien pour les feuilles lavées que non lavées. Ces concentrations reflètent un enrichissement et sont de l'ordre de 0.988 µg/g versus 37.46 µg/g dans le cas des feuilles non lavées, et 0.655µg/g versus 20.76µg/g dans le cas des feuilles lavées, pour le cadmium et le plomb respectivement. Les teneurs en cadmium et en plomb quantifiées dans les feuilles non lavées dépassent largement celles des feuilles lavées. Celles enregistrées pour les feuilles non lavées sont respectivement 1.5 fois et 1.8 fois plus importantes que celles des feuilles lavées. Les résultats de l'indice d'accumulation métallique (MAI) confirment l'efficacité de l'utilisation des espèces ligneuses dans les études de bioindication. Les feuilles de *F. retusa* s'avèrent être de bons outils pour la surveillance de la contamination métallique de l'air.

**Mots clés :** *Ficus retusa*, bioindication, cadmium, plomb, axe routier.

**Laboratoire de recherche :** Laboratoire de Biologie et Environnement. Département de Biologie et Ecologie Végétale. Université des Frères Mentouri – Constantine 1.

Jury d'évaluation :

**Président du jury :** BAZRI Kamel Eddine (MCA - UFM Constantine 1),  
**Rapporteur :** SAHLI Leila (MCA - UFM Constantine 1),  
**Examineur :** AMRI Sihem (MAA - UFM Constantine1).

**Date de soutenance :** 09/07/2020.