



UNIVERSITE DE LUBUMASHI

Faculté des sciences pharmaceutiques

B.P. 1825

Lubumbashi



**Impact de matières particulières atmosphériques
(PM_{2,5} et PM₁₀) sur la contamination des écorces de racines
de quelques plantes médicinales**

Travail de fin de cycle présenté par

KPALAWELE TIMBO Jedidia

En vue de l'obtention du diplôme de
Graduat en Sciences Pharmaceutiques

Novembre 2023



UNIVERSITE DE LUBUMASHI

Faculté des sciences pharmaceutiques

B.P. 1825

Lubumbashi



**Impact de matières particulaires atmosphériques
(PM_{2,5} et PM₁₀) sur la contamination des écorces de racines
de quelques plantes médicinales**

Travail de fin de cycle présenté par

KPALAWELE TIMBO Jedia

En vue de l'obtention du diplôme de
Graduat en Sciences Pharmaceutiques

Directeur : Dr Phn **MUTOMBO SHAKALENGA Cedrick**
Professeur Associé

Année Académique 2022-2023

I

IN MEMORIAM

A mon très cher papa Remy KPALAWELE

REMERCIEMENTS

Entreprendre un projet de recherche est une œuvre laborieuse, dont l'aboutissement exige un concours pluriformes et multidisciplinaire impliquant plusieurs ressources. Certes, nous ne trouverons jamais des mots justes pour exprimer notre gratitude à l'égard de toutes les personnes qui ont croisé notre chemin de recherches de fin de cycle ; mais, mieux que le silence, nous pouvons espérer exprimer à toutes et à tous notre reconnaissance. Ainsi, avant d'entrer dans le vif du sujet de cette étude, nous tenons à marquer notre gratitude.

De manière plus particulière, nous disons notre profonde reconnaissance au Professeur MUTOMBO SHAKALENGA, directeur de ce travail de fin de cycle. Durant plusieurs mois vous avez consacré beaucoup d'énergie pour qu'il arrive à bon port. Que n'avons-nous pas appris auprès de vous ! Au-delà de votre apport scientifique et académique, vous avez été pour nous une source de savoir-vivre et de savoir-être. Merci infiniment.

Nous remercions les autorités académiques de la faculté des sciences pharmaceutiques de l'université de LUBUMBASHI, particulièrement le doyen KAHUMBA BYANGA.

Nous remercions les Professeurs OKUSA Philippe, NDAGE Vianney, MAVUNGU Gaël pour leurs apports.

Nous remercions également le pharmacien KOLELA Alex qui a accepté la codirection de ce travail et nous a reçu avec beaucoup de bienveillance. Bien au-delà de vos multiples occupations, vous avez consacré beaucoup d'énergie pour corriger notre travail, grand merci !

Nous exprimons notre gratitude au chef des travaux MOKÉ Papy, KIBWE Synthia pour l'encadrement, leurs connaissances fournies tout au long de ce travail.

Nous remercions le technicien de laboratoire de OCC pour l'analyse de la contamination minérale, sans oublier l'équipe formée des étudiants de 3^e graduat et 3^e grade sciences pharmaceutiques de l'Université de Lubumbashi, ILUNGA Ketsia, NYOTA Premice, MASENGO Marthe, MUKUNA Caleb, DIALA Beatrice, KABIMI Chadrack, LUNGI Betty pour leur soutien mutuel, leurs encouragements et leurs échanges amicaux pendant ces mois.

Nous disons également merci à Mr MAKWASA pour son aide dans la récolte de l'espèce et la confection de l'herbier.

Je tiens à remercier également l'ingénieur agronome MBANGU Dédé pour l'authentification de l'espèce à l'herbarium de INERA KIPOPO.

III

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à la famille KPALAWELE: Ma mère Sabrina N'VALE, tante Virginie KPALAWELE, Papa Robert KPALAWELE, ma grande sœur Nadine ILOMBO, ainsi qu'à mon grand frère Ley KPALAWELE qui m'ont gratifié des soutiens financiers et de leur amour et fourni les motivations qui ont permis l'aboutissement de mon travail.

SOMMAIRE

| | |
|--|------|
| IN MEMORIAM..... | I |
| REMERCIEMENTS | II |
| SOMMAIRE | IV |
| LISTE DES TABLEAUX..... | VI |
| LISTE DES FIGURES | VII |
| RESUME..... | VIII |
| ABSTRACT | IX |
| INTRODUCTION..... | 1 |
| PREMIERE PARTIE : | 3 |
| DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 3 |
| I.1. GENERALITE SUR LES MATIERES PARTICULIERES | 3 |
| I.2.1. DEFINITION | 3 |
| I.1.2. SOURCES ET PROCESSUS DE FORMATION | 3 |
| I.1.3. GRANULOMETRIE DES PARTICULES | 4 |
| I.2. GÉNÉRALITÉ SUR LES PLANTES MEDECINALES | 5 |
| I.2.1. DEFINITION | 6 |
| I.2.2. ORIGINE | 7 |
| I.2.3. IMPORTANCE..... | 7 |
| I.2.4. COMPOSISTION CHIMIQUE | 8 |
| I.2.5. PHYTOTHERAPIE | 8 |
| I.2.6. PLANTES MEDICINALES ETUDIEES | 9 |
| I.2.6.1. <i>Securidaca longepedunculata</i> | 9 |
| I.2.6.2. <i>Phyllanthus muellerianus</i> | 10 |
| I.2.6.3. <i>Terminalia mollis</i> | 10 |
| I.2.6.4. <i>Oldifieldia dactylophylla</i> | 11 |
| I.3. GENERALITES SUR LE SECHAGE | 12 |
| I.3.1. Types des séchages..... | 12 |
| I.3.1.1. Séchage solaire | 12 |
| I.3.1.2. Séchage à l'ombre | 12 |
| I.3.1.3. Séchage à l'étuve | 13 |
| DEUXIEME PARTIE : | 14 |
| DONNEES EXPERIMENTALES | 14 |

| | |
|---|----|
| II.PARTIE EXPERIMENTALE | 15 |
| II.1. METHODOLOGIE..... | 15 |
| II.1.1. Espèces végétales | 15 |
| II.1.2. Récolte et préparation des échantillons | 15 |
| II.1.3. Séchage expérimental..... | 16 |
| II.1.4. Evaluation de la contamination minérale | 16 |
| II.1.5. Analyses statistiques | 16 |
| II.2. RESULTATS ET DISCUSSION | 17 |
| II.2.1. Matière particulaire | 17 |
| II.2.2. Contamination minérale..... | 18 |
| II.2.2.1. <i>T. mollis</i> | 18 |
| II.2.2.2. <i>S. longepedunculata</i> | 18 |
| II.2.2.3. <i>O. dactylophylla</i> | 19 |
| II.2.2.4. <i>P. muellerianus</i> | 20 |
| CONCLUSION | 22 |
| REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE | 23 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----------|
| Tableau I: Émissions globales de particules à partir des sources naturelles | 4 |
| Tableau III: Ce tableau contient les noms des espèces qui ont fait l'objet du travail, leurs noms vernaculaires et les coordonnées GPS du lieu de la récolte..... | 15 |
| Tableau IV: Concentrations des éléments minéraux en µg/g dans les écorcés de racines de T. mollis | 18 |
| Tableau V: Concentrations des éléments minéraux en µg/g dans les écorcés de racines de S. longepedunculata | 19 |
| Tableau VI: Concentrations des éléments minéraux en µg/g dans les écorcés de racines O. dactylophylla..... | 19 |
| Tableau VII: Concentrations des éléments minéraux en µg/g dans les écorcés de racines de P. muellerianus | 20 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|-----------|
| Figure 1: Représentation schématique de la distribution en taille des particules d'aérosol (Buseck, P. R. and Adachi, 2003). | 5 |
| Figure 2: Variation de la concentration moyenne journalière des PM 2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 17 |
| Figure 3: Variation de la concentration moyenne journalière des PM 10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 17 |

RESUME

Contexte : La carence de données des matières particulières sur les plantes médicinales et leur impact nécessite des investigations scientifiques, vu les conditions de séchage de drogues d'espèces végétales séché à la faculté des sciences pharmaceutiques de l'université de Lubumbashi.

Objectifs : Cette étude s'est investie à évaluer l'impact de la pollution particulière de l'air en milieu urbain sur les espèces de plantes médicinales séché à la faculté des sciences pharmaceutiques de l'université de Lubumbashi.

Méthodologie : Une étude a été réalisée au sein de la faculté des sciences pharmaceutiques, entre mai et septembre 2023, sur les racines des 4 plantes médicinales et les analyses de la contamination minérale ont été réalisées sur les échantillons de ces 4 espèces.

Résultats : Les espèces des racines analyse, ces résultats des mesures des PM (Figure 2 & 3) révèlent une présence de ces polluants dans les lieux d'expérimentation (dans la salle et dehors), et ces résultats montrent que la salle a enregistré des valeurs plus élevées en $PM_{2,5}$ et PM_{10} comparativement aux valeurs enregistrées dehors à l'air libre et non loin des axes routiers, ceci peut être dû au fait que la salle étant un endroit plus ou moins clos emprisonnerait les matières particulières se trouvant dans l'air, ce qui augmenterait sa concentrations en PM, contrairement à dehors avec l'influence du vent et de l'air.

Conclusion : Plusieurs espèces de plantes médicinales sont séchées au sein de la faculté des sciences pharmaceutiques dans des différentes conditions, le résultat de cette étude a montré que le séchage à l'étuve a montrée moins d'impacts sur la composition de l'échantillon, contrairement aux autres techniques (séchage au soleil et à l'ombre ou dans la salle).

Mots-clés : Étude de l'impact, matières particulières, plantes médicinales

ABSTRACT

Context: *The lack of data on particular materials on medicinal plants and their impact requires scientific investigations, given the conditions for drying drugs from dried plant species at the Faculty of Pharmaceutical Sciences of the University of Lubumbashi.*

Objectives: *This study aimed to evaluate the impact of particular air pollution in urban areas on the species of medicinal plants dried at the faculty of pharmaceutical sciences of the University of Lubumbashi.*

Methodology: *A study was carried out within the Faculty of Pharmaceutical Sciences, between May and September 2023, on the roots of the 4 medicinal plants and analyzes of mineral contamination were carried out on the samples of these 4 species.*

Results: *The species of the roots analysis, these results of the measurements of PM (Figure 2&3) reveal a presence of these pollutants in the places of experimentation (in the room and outside), and these results show that the room recorded higher values in PM_{2,5} et PM₁₀ compared to the values recorded outside in the open air and not far from main roads, this may be due to the fact that the room being a more or less enclosed place would trap the particulate matter found in the air, which would increase its concentrations in PM, unlike outside with the influence of the wind and the air.*

Conclusion: *Several species of medicinal plants are dried within the Faculty of Pharmaceutical Sciences under different conditions, the result of this study showed that drying in an oven had fewer impacts on the composition of the sample, unlike other techniques (drying in the sun and in the shade or in the room).*

Keywords: *Impact study, specific materials, medicinal plant.*

INTRODUCTION

La pollution atmosphérique est reconnue dans plusieurs études comme étant un important facteur de risque pour la santé et de l'environnement. Les milieux urbains sont les plus exposés avec la forte croissance démographique qui s'y observe, surtout en Afrique (Paul-didi et al., 2021).

La qualité de l'air et de son impact sanitaire s'inscrit depuis plusieurs années au cœur de l'actualité et des considérations politiques européennes et nationales, mais également de plus en plus au cœur des démarches locales. Toutefois, si la pollution de l'air constitue désormais un enjeu majeur, ses effets sur la santé ne sont pas toujours connus de tous et la quantification des effets sanitaires reste très complexe (Des et al., 2021).

Plusieurs études menées sur la pollution atmosphérique ont montré que les risques sanitaires provenant d'un air ambiant dégradé par les Matières particulaires (PM) n'étaient pas seulement immédiats mais aussi la conséquence d'expositions longues à des substances toxiques véhiculées par celles-ci. De plus, leur toxicité n'est pas seulement liée à la nature et à la quantité des espèces chimiques qu'elles contiennent ; parmi les polluants atmosphériques, les PM sont aussi considérées comme les plus dangereuses en raison de leur plus long temps de suspension dans l'air et de leur capacité à pénétrer plus profondément dans l'appareil respiratoire (Paul-didi et al., 2021).

C'est dans ce cadre que la présente étude vise à étudier l'impact de matières particulaires atmosphériques (PM_{2,5} et PM₁₀) sur la contamination des écorces de racines de quelques plantes médicinales. Pour y arriver, les écorcés de racines de *Terminallia mollis*, *Phyllanthus muellerianus*, *Securidaca longepedunculata* et *Oldfieldia dactylophylla* ont été exposés à l'air libre et d'autres séchés à l'étuve, puis une série d'analyses au laboratoire des analyses minérales de l'Office congolaise de contrôle (OCC).

Dans sa structure, ce travail comporte deux grandes parties. La première concerne les données bibliographiques et reprend : (i) les généralités sur les matières particulaires (PM) ; (ii) les généralités sur les plantes médicinales ; (iii) les types de séchage et La seconde partie comprend les données de terrain et présente essentiellement l'approche méthodologique, les résultats et leur discussion.

PREMIERE PARTIE :
DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

I.1. GENERALITE SUR LES MATIERES PARTICULIERES

L'air, bien que trait d'union entre une source de particules et un récepteur, est chargé d'une multitude de particules d'origine biologique, qui sont transportées par les courants d'air. Leur concentration peut atteindre, localement, et à certaines périodes, plusieurs dizaines de milliers d'unités par mètre cube d'air. (Thibaudon, 2012)

I.2.1. DEFINITION

L'aérosol atmosphérique désigne toutes particules solides et/ou liquides en suspension dans un milieu gazeux et présentant une vitesse de chute négligeable. Les propriétés physicochimiques de la matière particulaire (PM) dans l'atmosphère telles la composition chimique, la distribution granulométrique, etc., sont très hétérogènes sur des échelles spatiales et temporelles, ainsi que fortement dépendantes des sources d'émissions, ce qui classent les PM parmi les polluants les plus complexes et les plus difficiles à appréhender (Jacobson, 2000)

I.1.2. SOURCES ET PROCESSUS DE FORMATION

Les particules primaires sont émises directement dans l'atmosphère à partir des sources naturelles et/ou anthropiques. Les sources naturelles des PM incluent les mers et océans, les feux de forêts, la remise en suspension des poussières minérales, le volcanisme, et les émissions biologiques (ex. spores, pollen, débris de végétaux, cires vasculaires, etc.). Les sources anthropiques sont variées et comprennent principalement la combustion de la biomasse, le transport routier, les industries, les centrales thermoélectriques, le transport maritime, et l'agriculture, etc. (**Tableau I- 1**) (Plumbridge, 2000)

En revanche, les particules secondaires sont générées par des processus physicochimiques complexes ayant lieu dans l'atmosphère et faisant intervenir des précurseurs gazeux tel l'ammoniac (NH_3), les oxydes de soufre et d'azote (SO_x , NO_x), et les composés organiques volatils (COVs) (**Tableau I- 1**) (Seinfeld, 2006); La majorité des émissions totales des particules à l'échelle globale sont imputables aux sources naturelles (**Tableau I- 1**). En outre, il existe de grandes disparités dans l'importance relative des différentes sources d'émissions d'une zone géographique à l'autre, car leurs contributions dépendent des types d'émissions

locales et des conditions météorologiques de l'environnement étudié. En effet, les conditions météorologiques comme la vitesse et la direction du vent, la température, la pression, les précipitations, et la hauteur de la couche limite atmosphérique, sont parmi les facteurs les plus importants régissant en grande partie les variations des concentrations en PM (Plumbridge, 2015).

Tableau I: Émissions globales de particules à partir des sources naturelles

| Sources | Emissions (Tg/an) |
|--|-------------------|
| Carbone organique | |
| Total | 69 |
| Feux de biomasse | 54.3 |
| Fioul fossile | 28.8 |
| Oxydation des terpènes | 18.5 |
| Carbone suie | |
| Total | 12 |
| Feux de biomasse | 5.6 |
| Fioul fossile | 6.6 |
| Sulfate (en tant que H₂SO₄) | |
| Total | 150 |
| Naturel | 32 |
| Anthropique | 111 |
| Nitrate | 11.3 |
| Ammonium | 33.6 |
| Sels marins | |
| Total | 5900 |
| 0 – 2 µm | 82.1 |
| 2 – 20 µm | 2460 |
| Poussières terrigènes | |
| < 1 µm | 250 |
| 1 – 10 µm | 1000 |
| 0.2 – 2 µm | 250 |
| 2 – 20 µm | 4875 |

I.1.3. GRANULOMETRIE DES PARTICULES

La taille est l'un des facteurs déterminants des propriétés des particules. La **Figure 1** offre une synthèse des liens entre taille des particules et processus de formation, de transformation, et d'élimination. Émissions globales de particules à partir des sources naturelles et anthropiques dans l'atmosphère (Tg/an), Carbone organique qui émet environ 69Tg/an, Carbone suie qui émet environ 12Tg/an, Sulfate (en tant que H₂SO₄) qui émet environ 150Tg/an, Sels marins qui émet environ 82,1Tg/an de PM_{2.5} et Poussières terrigènes qui émet environ 1000Tg/an de PM₁₀.

Les PM présentent de tailles distinctes suivant les sources d'émissions, et sont souvent classées en se rapportant à leur « diamètre aérodynamique ». La notation PM_x se réfère aux PM de diamètre inférieur à X μm . Ainsi, d'un point de vue réglementaire, on distingue les particules PM₁₀ dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 μm , les PM_{2.5} dont le diamètre est inférieur à 2.5 μm , et les PM₁ dont le diamètre est inférieur à 1 μm (Plumbridge, 2000)

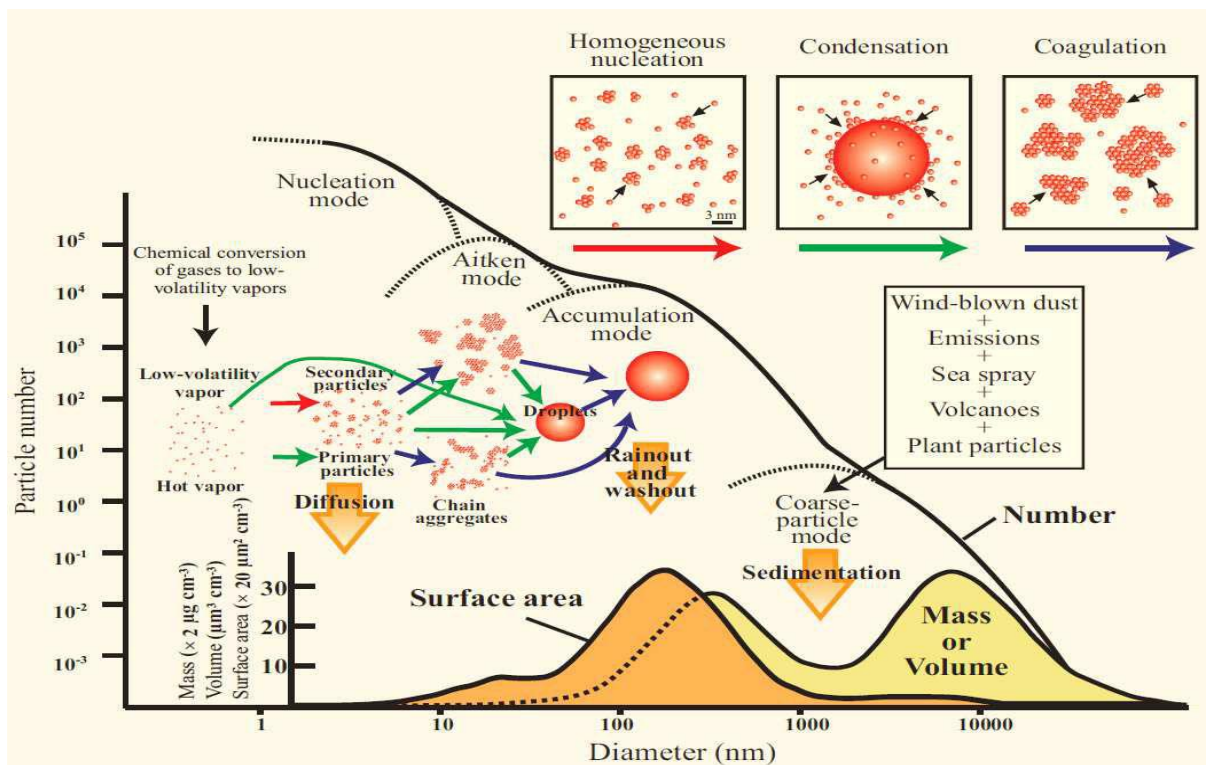


Figure 1: Représentation schématique de la distribution en taille des particules d'aérosol (Buseck, P. R. and Adachi, 2003).

I.2. GÉNÉRALITÉ SUR LES PLANTES MEDECINALES

L'histoire des plantes médicinales est associée à l'évolution des civilisations. Dans toutes les régions du monde, la légende des peuples montre que les plantes ont toujours occupées une place importante en médecine ? (Mourad, 2015)

Depuis des lustres, l'homme utilise les plantes trouvées dans la nature pour traiter et soigner des maladies, L'utilisation des plantes en phytothérapie est une technique très ancienne et connaît actuellement une région d'intérêt auprès du public, selon l'organisation mondiale de

la santé (OMS) environ 65- 80% de la population mondiale a recours à la médecine traditionnelle pour satisfaire ses besoins en soins de santé primaire, en raison de la pauvreté et du manque d'accès à la médecine moderne. (Lemlouma manel, 2014)

Les plantes médicinales sont importantes pour la recherche pharmacologique et l'élaboration des médicaments, non seulement lorsque les constitutions des plantes sont utilisés directement comme agent thérapeutique, mais aussi comme matière première pour la synthèse de médicaments ou comme modèle pour les composés pharmacologique (Lemlouma manel, 2014).

Au cours du temps, chaque communauté a méthodiquement réuni l'information sur les plantes médicinales et élaboré des pharmacopées des plantes bien définies (Claudet, 2015).

Les relations entre les plantes et les hommes existent depuis l'antiquité (Din N, 2011). Les plantes, éléments vitaux de la diversité biologique servent essentiellement au bien être humain (Adjanohoun.E, 2000). L'homme, dans son environnement, a accordé un intérêt croissant pour l'étude des plantes médicinales et leur utilisation traditionnelle dans différentes régions du monde (Muthu C, 2006) .

Cet intérêt a conduit aux enquêtes ethnobotaniques qui se sont avérées être l'une des approches la plus fiable pour la découverte de nouveaux médicaments (Koné, 2009). En effet, les plantes médicinales constituent des ressources précieuses pour la majorité des populations rurales en Afrique, car plus de 80 % y recourent pour assurer les soins de première nécessité. En outre, la majeure partie des thérapies implique l'exploitation du principe actif des plantes médicinales (Biyiti LF, 2004). De plus, ces plantes constituent des ressources inestimables pour l'industrie pharmaceutique (Awono et al 2009).

I.2.1. DEFINITION

Selon la Xème édition de la Pharmacopée française (Ph.Fr., 2012), les plantes médicinales "sont des drogues végétales au sens de la Pharmacopée européenne dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses". Ces plantes médicinales peuvent également avoir des usages alimentaires ou hygiéniques. En d'autres termes, les plantes médicinales sont des plantes utilisées en médecine traditionnelle et/ou moderne dont au moins une partie renferme une ou des substances qui possèdent des propriétés thérapeutiques (OMS, 2002).

Leur action provient des composés phytochimiques (métabolites primaires ou secondaires) qui agissent seul ou de la synergie entre ces différentes composées. Le matériel

végétal destiné à être utilisé en thérapeutique constitue la drogue végétale. Il peut s'agir de la plante entière, d'une ou de plusieurs parties de plantes ou d'extraits (Lehmann, 2013) & (Limonier, 2018).

Ces drogues végétales proviennent de plantes sauvages ou cultivées. En fonction de la provenance de la drogue, la teneur en principes actifs peut varier de manière plus ou moins importante, entraînant une activité à priori variable d'un lot à un autre. Il faut donc faire attention à l'origine géographique et aux conditions écologiques (altitude, degré de fertilisation du sol, caractère sauvage ou cultivé de la plante). La qualité finale de la drogue dépend des conditions de culture, de récolte, de séchage, de fragmentation et de stockage. Les drogues doivent être exemptes d'éléments étrangers tels que la poussière, souillures, signes d'infection fongique ou de contamination animale. Si une stérilisation s'avère indispensable, il faut prouver qu'elle n'altère pas les constituants de la plante et qu'elle ne subsiste aucun composé nocif à l'issue du traitement (OMS, 2000) & (OMS, 2013).

Les plantes médicinales continuent de répondre à un besoin important, malgré l'existence et l'influence de système sanitaire moderne, environ 35000 Espèces des plantes sont utilisées dans le monde à des fins médicinales ce qui forme le plus important éventail de la biodiversité utilisé par les êtres humains (Algerienne et al., 2019).

I.2.2. ORIGINE

Les plantes médicinales sont caractérisées par deux origines. Ce sont les plantes spontanées dites "sauvages" ou "de cueillette", et les plantes cultivées (Chabrier, 2010).

I.2.3. IMPORTANCE

L'importance relative d'une espèce médicinale est déterminée par son indice de performance. L'indice de performance (Ip) permet de mettre en évidence pour une maladie donnée, les traitements les plus significatifs (Betti, 2002).

Cette catégorie constitue les plus anciennement utilisées et représentant encore aujourd'hui un pourcentage notable du marché mondial. Leur répartition et développement dépend de plusieurs facteurs tels que le type de sol et surtout du climat (Chabrier, 2010).

Elle connaît de nos jours un renouveau exceptionnel en Occident, spécialement dans le traitement des maladies chroniques, comme l'asthme ou l'arthrite. De plus, les effets secondaires

induits par les médicaments inquiètent les utilisateurs, qui se tournent vers des soins moins agressifs pour l'organisme (Iserin, 1996).

I.2.4. COMPOSITION CHIMIQUE

La plante possède une composition chimique très diverses, cette composition diverse résulte de l'interaction de la plante avec son environnement. En effet, elle puise par ses racines dans le sol l'eau, les minéraux (oligo-éléments et macroéléments) nécessaires à sa croissance. Elle réalise la photosynthèse dans ses feuilles, elle élabore des molécules complexes appelées composés organiques (Chabrier, 2010).

Les substances élaborées par les plantes sont classées en deux groupes :

Métabolites primaires qui sont nécessaires à la vie végétale et qui ne présentent qu'une activité pharmacologique de base (les glucides tels que la cellulose et l'amidon, les lipides, les enzymes...) ;

Métabolites secondaires ou spécialisés qui sont de composition plus complexe et généralement regroupés dans les grandes familles chimiques telles que les polyphénols, les terpénoïdes et les alcaloïdes (Fatiha, 2019).

I.2.5. PHYTOTHERAPIE

La phytothérapie provient de deux mots grecs ; *photon* = plante et *therapeia* = traitement, donc c'est la méthode thérapeutique utilisant les plantes dans le traitement des maladies (Algerienne et al., 2019).

Phytothérapie a suscité ces dernières années de nombreuses études qui fondent son efficacité sur des faits scientifiques incontestables (Jean V. et Jiri S 1983).

Ainsi, pour élaborer les recettes médicamenteuses, ils utilisent presque toutes les parties de la plante. Cependant, le degré d'utilisation diffère d'une partie à une autre. En effet, une analyse des recettes de médicaments révèle la prédominance des parties périphériques (feuilles, écorces et racines). Cet usage important serait surtout lié à l'accès facile de ces parties. Le profil de la population traitée, principalement constituée des jeunes, justifierait aussi ce choix (Ministère de la Santé, 2008).

En outre, cette sélectivité serait liée à l'idée séculaire selon laquelle les enfants plus faibles sont soignés aux feuilles tandis que les racines sont réservées aux adultes, plus forts

(Nacoulma-Ouédraogo 1996), ces parties périphériques constituent les lieux de stockage des matériaux de base, les métabolites secondaires, d'où leur rôle protecteur de l'organisme (Burgund, 2002).

La recherche du degré de consensus d'utilisation des plantes a révélé une absence de consensus de thérapie à proposer pour une maladie donnée. La complexité du domaine de la médecine traditionnelle justifierait cette absence de consensus. En effet, la maladie étant culturelle, une réponse plurielle est alors apportée à toute maladie (Nacoulma-Ouédraogo, Millogo-Rasolodimby, 2002).

À celles-ci s'ajoutent les expériences personnelles du Tps acquises au cours de l'exercice de son métier, variables selon l'origine géographique, la culture locale et le sexe (Pfeiffer, Butz, 2005). Selon l'OMS, on distingue deux types de phytothérapie :

La phytothérapie traditionnelle : la médecine traditionnelle est l'ensemble des connaissances et pratiques utilisées pour diagnostiquer, prévenir ou éliminer un déséquilibre, en se fondant exclusivement sur des connaissances acquises ou transmises de génération à génération, oralement ou par écrit.

La phytothérapie clinique : C'est une thérapeutique venue pour compléter ou renforcer le traitement allopathique classique, son mode d'action est basé sur un traitement à long terme avec un système neuro-végétatif

I.2.6. PLANTES MEDICINALES ETUDIEES

I.2.6.1. *Securidaca longepedunculata*

Securidaca longepedunculata, appartenant à la famille des polygalacées, est un arbuste épineux semi-caduc qui atteint environ 12 m de haut, consommée comme légume, *S. longepedunculata* aurait des potentiels analgésiques, anti-inflammatoires et hypoglycémiques et serait très efficace dans le traitement du paludisme et des rhumatismes. Il est également utilisé en chimiothérapie bactérienne (Ojewole, 2008).

La plante est également utilisée dans le traitement de la toux, des maux de tête, de la constipation, des plaies, des maux de gorge et de la goutte, certains contenus en métabolites secondaires tels que les alcaloïdes et les flavonoïdes et les composés apparentés tels que le salicylate de méthyle ont été rapportés et son potentiel anti-venin de serpent a également été signalé (Meryem et al., 2009).

I.2.6.2. *Phyllanthus muellerianus*

Répartition géographique, *Phyllanthus muellerianus* se rencontre depuis le Sénégal et la Guinée-Bissau jusqu'au Soudan et au Kenya, et vers le sud jusque dans le nord de l'Angola et le nord du Mozambique (Anuka et al 2016)

Usage en médecine traditionnelle, *Phyllanthus muellerianus* est couramment utilisé pour traiter les troubles intestinaux. L'infusion de jeunes pousses se prend pour traiter la dysenterie sévère. En Sierra Leone, la décoction de feuilles se prend pour traiter la constipation. Au Ghana et au Nigeria, les racines cuites, parfois avec de la farine de maïs ou d'autres plantes, se prennent pour traiter la dysenterie sévère (Doughari, J.H. & Sunday, 2008).

Au Congo, la poudre de racines grillées avec de l'huile de palme se prend pour traiter les problèmes gastriques et comme antiémétique. En Tanzanie, les racines sont écrasées dans de l'eau et le liquide se boit pour traiter la diarrhée. Les racines cuites à l'eau s'emploient aussi en lavement pour traiter les maux d'estomac (Arbonnier, 2004).

En Afrique de l'Ouest, le jus des feuilles ou le liquide de l'épaisse tige creuse s'instille en collyre pour traiter les douleurs et les infections oculaires et pour ôter de l'œil un corps étranger. En Côte d'Ivoire et au Burkina Faso, on suce des rameaux pour prévenir les maux de dents. Les maux de gorge, la toux, la pneumonie et l'hypertrophie glandulaire se soignent en prenant de la poudre de racine ou avec une décoction d'écorce. Les rameaux feuillés réduits en pâte se frictionnent sur le corps pour traiter la paralysie. Au Nigeria, la décoction d'écorce de racine se prend comme altératif et fébrifuge (Malaisse, 1997)

En R.D. du Congo, la poudre d'écorce séchée s'inhale pour traiter les rhumes et la sinusite. La décoction d'écorce de racine s'applique sur les œdèmes et se boit pour traiter la gonorrhée. La cendre de tige s'applique sur des scarifications pour traiter les rhumatismes et les douleurs intercostales (Burkill, 2022)

I.2.6.3. *Terminalia mollis*

La famille des Combretaceae comprend 18 genres, dont le plus grand est Combretum avec environ 370 espèces, et *Terminalia* avec environ 200 espèces, Les espèces végétales des deux genres, en particulier Combretum, sont largement utilisées en médecine traditionnelle dans toute l'Afrique (Laws, 2006).

Il s'agit d'un arbre de savane boisée mesurant 11 à 26 m de haut, avec une écorce gris noir et profondément fissurée, Il est largement utilisé en Tanzanie pour le traitement du paludisme

et comme thérapie d'appoint. Pour les patients atteints du VIH, pour traiter la diarrhée et les infections bactériennes. À Bukoba (nord-ouest de la Tanzanie), où il est connu sous le nom de « Muongora », il a des utilisations traditionnelles similaires à celles de l'espèce apparentée *Terminalia sericea* Burch, dont l'activité antimicrobienne a été récemment rapportée (Liu et al., 2009)

Il existe jusqu'à présent très peu d'informations sur cette plante dans la littérature. Une étude en Afrique de l'Ouest a rapporté l'activité molluscicide d'une racine et un extrait aqueux d'éthanol à 50% de l'écorce des feuilles et des racines avait une activité antifongique contre *Trichophyton mentagrophytes* (CMI 0,25 mg/ml) et *Epidermophyton floccosum* (CMI 0,5 mg/ml), mais n'a pas montré d'activité contre *Microsporum gypseum* et *Candida albicans* (Laws, 2006).

Terminalia mollis est utilisé pour traiter la diarrhée, la gonorrhée, le paludisme, et comme complément à la thérapie anti-VIH, tandis que *T. brachystemmais* est un remède contre la shistosomiase et les troubles gastro-intestinaux. Des études antérieures sur la chimie de *Terminalia* ont rapporté la présence de certains tanins, avonoïdes et pentacycliques (Laws, 2006).

1.2.6.4. *Oldfieldia dactylophylla*

Appartenant à la famille des Euphorbiaceae, *O.dactylophylla* est un arbre rabougri pouvant atteindre 10 m de haut, avec un tronc court et droit pouvant atteindre 25 cm de diamètre (Ph & Magombo, 2007).

L'inflorescence mâle est jaune vif et les fleurs femelles sont brunes, tandis que les fruits sont obovoïdes-subglobuleux, orange à maturité et pubescents à maturité (Radcliffe- Smith 1996). Le nom de l'espèce *dactylophylla* fait directement référence à la disposition des feuilles en forme de doigts sur un pédoncule. Trois autres espèces du même genre, à savoir *O. africana* Benth. Et Hook.f., *O. macrocarpa* J.Léon. Et *O. somalensis* Milne-Redh. existent principalement en Afrique de l'Ouest et de l'Est, bien que la première ait une distribution plus large dans la plus grande partie de l'Afrique (Ph & Magombo, 2007)

Classée parmi les 80 espèces les plus importantes des forêts africaines à la fin des années 1950, pour lesquelles des recherches détaillées sur la sylviculture étaient recommandées (Chisamile & Sonibare, 2023).

O. dactylophylla a été signalé comme un remède contre un certain nombre d'affections humaines, notamment la tuberculose, la pneumonie, l'anémie et les complications abdominales (Ph & Magombo, 2007)

I.3. GENERALITES SUR LE SECHAGE

Le séchage est une opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation de cette eau. Cette opération met en jeu un transfert de chaleur (une fourniture de chaleur permet le changement de phase du liquide) et un transfert de masse (le liquide imprégnant le solide passe à l'état de vapeur dans l'air asséchant), (Boughali, 2014).

I.3.1. Types des séchages

I.3.1.1. Séchage solaire

Les séchoirs solaires peuvent être classifiés en séchoirs solaires directs, indirects et hybrides.

Avantages : Réduction du temps de séchage, maîtrise de la teneur en eau finale désirée, protection du produit contre le rayonnement ultraviolet, à l'abri des intempéries, des insectes et des champignons, maîtrise de l'opération de séchage, énergie gratuite (Boughali, 2014).

Inconvénients : Consommation de l'énergie conventionnelle (électricité, gaz, bois....) si système hybride, investissement relativement important (Boughali, 2014).

I.3.1.2. Séchage à l'ombre

Avantages : Procédé simple et non coûteux, n'exige ni matériel ni main d'œuvre qualifiée, source d'énergie solaire gratuite et non polluante, pas de dépense d'énergie, séchage doux grâce à l'alternance jour et nuit, peu de changement de couleur (Boughali, 2014).

Inconvénients : Une longue durée de séchage (possibilité de moisissure), altération de la qualité du produit par le rayonnement solaire, l'efficacité du processus est faible compte tenu des nombreux aléas (météorologie, constituants du produit sensibles aux rayonnements ultraviolets, insectes, rongeurs, perte de vitamine (Boughali, 2014).

I.3.1.3. Séchage à l'étuve

Avantages : Le processus opératoire est simple alors que l'équipement est généralement simple et à coût peu élevé (Ratti, 2009).

Inconvénients : L'opération pourrait facilement aboutir à un retrait considérable du produit (principalement au début de l'opération) et à une perte notable de la qualité nutritionnelle (en fin de l'opération en raison du temps de séchage généralement important), (Ratti, 2009).

DEUXIEME PARTIE :
DONNEES EXPERIMENTALES

II. PARTIE EXPERIMENTALE

Sont rassemblés dans cette partie du travail ; le cadre de recherche, les protocoles expérimentaux ainsi que les résultats et la discussion.

II.1. METHODOLOGIE

II.1.1. Espèces végétales

Terminallia mollis, *Phyllanthus muellerianus*, *Securidaca longepedunculata* et *Oldfieldia dactylophylla* ont été les espèces qui ont fait l'objet de notre étude.

II.1.2. Récolte et préparation des échantillons

Les écorces de racines de *Terminallia mollis*, *Phyllanthus muellerianus*, *Securidaca longepedunculata* et *Oldfieldia dactylophylla* ont été récoltées le 20 Mai 2023 à l'INERA KIPOPO à environ 25 km de la ville de Lubumbashi (11° 34'S et 27° 24'E, 1.600 m d'altitude). Les noms scientifiques acceptés et les familles botaniques actualisées ont été vérifiés dans Kew Garden catalogue (<http://www.plantsoftheworldonline.org/>). Le choix des espèces a été fait d'une part en fonction des travaux antérieurs qui ont portés sur la fréquence de consommation à Lubumbashi mais aussi sur leurs activités biologiques (La et al., 2014). Les herbiers ont été confectionnés au pied de la plante, en présence de personnes ressources et déposés à l'herbarium internationale de INERA-Kipopo (Lubumbashi - RDC) pour l'identification botanique.

Tableau II: Ce tableau contient les noms des espèces qui ont fait l'objet du travail, leurs noms vernaculaires et les coordonnées GPS du lieu de la récolte

| Espèces | Famille | Nom vernaculaires (langues) | Lieu de récolte et coordonnées GPS |
|------------------------------------|----------------|-----------------------------|---|
| <i>Terminalia mollis</i> | Combretaceae | Kibobo (Btemba) | INERA/KIPOPO, Lubumbashi Latitude : -11,570867 Longitude : 27,381370 |
| <i>Securidaca longepedunculata</i> | Polygalaceae | Latcha (Banda) | INERA/KIPOPO, Lubumbashi Latitude : -11, 567632 Longitude : 27,383910 |
| <i>oldfieldia dactylophylla</i> | Euphorbiaceae | Ipanganga (Nyaneka) | INERA/KIPOPO, Lubumbashi Latitude : -11,571536 Longitude : 27,382624 |
| <i>Phyllanthus Muellerianus</i> | Phyllanthaceae | Ngilingi (Kirega) | INERA/KIPOPO, Lubumbashi Latitude : -11,570945 Longitude : 27,375558 |

II.1.3. Séchage expérimental

Pour chaque espèce, l'échantillon a été divisé en deux groupes (B et C). Le groupe B a été séché à l'étuve pendant 72 h et le groupe C à l'ombre. Pour évaluer si la durée la durée de l'exposition de l'impact le niveau de contamination, 3 aliquotes séchés à l'étuve, ont été exposés à l'air libre pendant 5, 10 et 15 jours. Pendant cette expérimentation, la quantité des matières particulaire a été suivis.

II.1.4. Evaluation de la contamination minérale

Pour chaque échantillon, 1g de la poudre a été placé dans un creuset et calcinés à 600 °C au four à moufle pendant 4 heures. Après refroidissement, 5 mL de mélange [HNO₃ 1N + HCl 1M] ont été ajoutés puis le mélange a été chauffé jusqu'à l'obtention d'une solution limpide (environ 30 min). La solution a été ramenée à 25 mL avec l'eau déminéralisée et introduite dans le spectroscope d'émission atomique (PerkinElmer Optima 5300 DV ICP-OES, PerkinElmer, Inc, USA). Chaque échantillon a été analysé trois fois et les résultats exprimés en µg/g de poids sec, ont été présentés sous forme des moyennes ± écart type ; les teneurs en minéraux ont été comparées aux échantillons séchés à l'étuve (Okem et al., 2014).

II.1.5. Analyses statistiques

Les données ont été arrangées avec Microsoft Excel puis les moyennes ont été comparées avec ANOVA oneway à l'aide de GraphPad Prim 10, avec le seuil de significativité et le niveau de confiance fixés à 0,05 et 0,95 respectivement.

II.2. RESULTATS ET DISCUSSION

II.2.1. Matière particulaire

Les résultats des mesures des PM (**Figure 2 & 3**) révèlent une présence de ces polluants dans les lieux d'expérimentation (dans la salle et dehors), et ces résultats montrent que la salle a enregistré des valeurs plus élevées en $PM_{2,5}$ et PM_{10} comparativement aux valeurs enregistrées dehors à l'air libre et non loin des axes routiers, ces résultats sont en désaccords avec ceux de (Mpoyo, 2021) qui a mené une étude pareille dans la même ville et (Al, 2008) ceci peut être dû au fait que la salle étant un endroit plus ou moins clos emprisonnerait les matières particulaires se trouvant dans l'air, ce qui augmenterait sa concentrations en PM, contrairement à dehors avec l'influence du vent et de l'air.

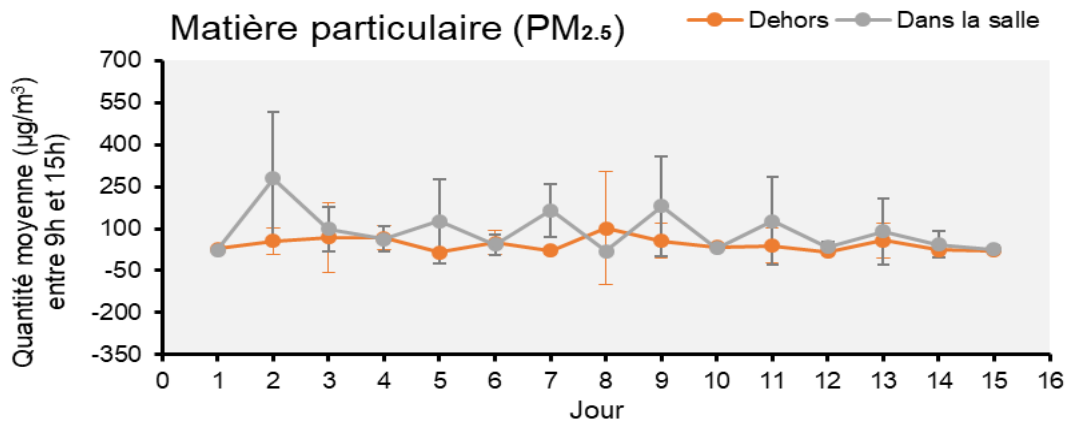


Figure 2: Variation de la concentration moyenne journalière des PM 2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

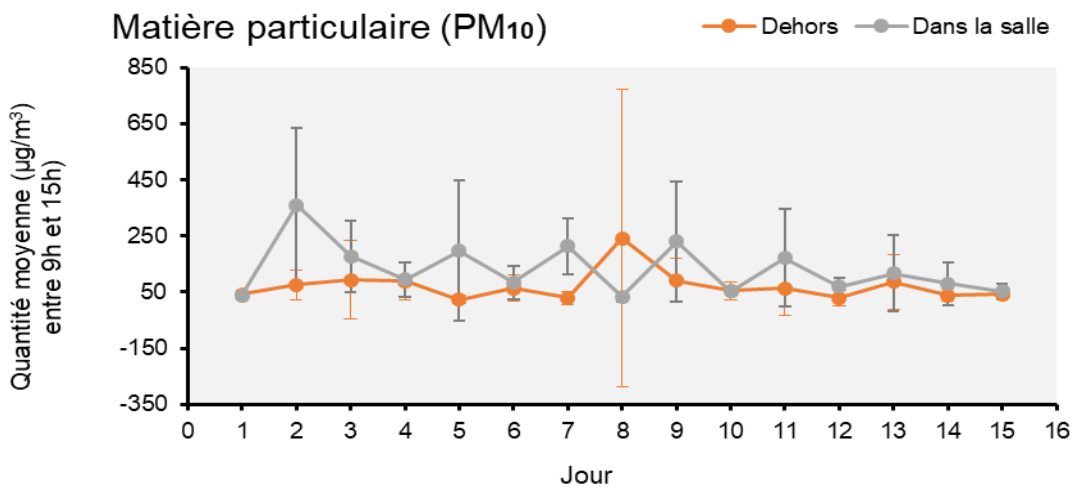


Figure 3: Variation de la concentration moyenne journalière des PM 10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

II.2.2. Contamination minérale

II.2.2.1. *T. mollis*

Les analyses faites sur *T. Mollis* ont donné des valeurs en As, Cd, Ni, Cu, Fe, Zn et Pb reprises dans le (Tableau IV). Pour l'As les résultats montrent que le séchage à l'étude ne présente aucun risque de contamination contrairement aux échantillons exposés au soleil et à l'ombre, le séchage à l'étuve est idéal pour éviter une contamination à l'arsenic. Quant au Cd, Ni, Cu, Fe, Zn et Pb, les résultats montrent qu'il n'y avait pas de différence significative en concentration de ces éléments pour tous les modes de séchage utilisé pour notre étude, Ces résultats sont en désaccords avec ceux de (Visez, 2019) qui a trouvé des concentrations en ces éléments beaucoup plus élevées pour les échantillons exposés au soleil.

Tableau III: Concentrations des éléments minéraux en µg/g dans les écorcés de racines de *T. mollis*

| Elém. | TMB1 | TMC | TMBJ5 | TMBJ10 | TMBJ15 |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Ag | 0,16 ± 0,004 | 0,162 ± 0,001 | 0,192 ± 0,003 | 0,199 ± 0,007 | 0,222 ± 0,008 |
| Al | 167,8 ± 0,021 | 584,2 ± 0,018 | 169 ± 7,23 | 272,2 ± 2,012 | 535,9 ± 9,124 |
| As | non détecté | 1,947 ± 0,008 | 0,578 ± 0,007 | 0,583 ± 0,001 | 1,386 ± 0,011 |
| Ca | 2140 ± 23,33 | 3266 ± 35,91 | 2146 ± 41,23 | 2152 ± 23,55 | 2158 ± 15,97 |
| Cd | 0,36 ± 0,001 | 0,461 ± 0,003 | 0,389 ± 0,007 | 0,393 ± 0,001 | 0,398 ± 0,003 |
| Co | 3,517 ± 0,027 | 3,603 ± 0,017 | 3,529 ± 0,078 | 3,953 ± 0,027 | 4,919 ± 0,048 |
| Cr | 1,733 ± 0,008 | 1,735 ± 0,012 | 1,732 ± 0,008 | 1,801 ± 0,018 | 1,893 ± 0,008 |
| Cu | 144,7 ± 23,21 | 144,5 ± 16,04 | 144,7 ± 14,32 | 144,9 ± 22,24 | 147 ± 13,07 |
| Fe | 90,24 ± 8,012 | 140,4 ± 6,049 | 90,89 ± 3,215 | 105,3 ± 2,016 | 127 ± 3,104 |
| Mg | 211,6 ± 10,21 | 219,5 ± 12,52 | 222,3 ± 11,11 | 226,6 ± 9,123 | 233,4 ± 17,25 |
| Mn | 18,19 ± 0,078 | 18,22 ± 0,056 | 18,35 ± 0,049 | 19,24 ± 0,019 | 19,58 ± 0,085 |
| Na | 233,1 ± 9,154 | 232,9 ± 12,55 | 235,4 ± 17,27 | 235,5 ± 14,42 | 264,3 ± 10,26 |
| Ni | 0,465 ± 0,006 | 0,847 ± 0,009 | 0,477 ± 0,002 | 0,539 ± 0,007 | 0,638 ± 0,004 |
| Pb | 2,566 ± 0,025 | 3,383 ± 0,017 | 2,588 ± 0,016 | 2,761 ± 0,011 | 2,894 ± 0,018 |
| Se | 1,823 ± 0,098 | 4,709 ± 0,057 | 4,001 ± 0,018 | 5,455 ± 0,031 | 5,574 ± 0,087 |
| Zn | 9,211 ± 0,014 | 13,91 ± 0,053 | 9,422 ± 0,098 | 9,614 ± 0,019 | 9,933 ± 0,023 |

II.2.2.2. *S. longepedunculata*

Les résultats des analyses faites sur *S. longepedunculata* montrent la présence d'arsenic dans les échantillons séchés à l'ombre, ceci revient à confirmer l'hypothèse selon laquelle la salle serait un endroit qui emprisonnerait des polluant de l'air, donc même en faible concentration il est possible d'en détecter. Par contre les résultats n'ont pas montré des

différences significatives en concentrations de ces éléments et pour les échantillons séchés au soleil, ceux séchés à l'étuve ni dans la salle.

Tableau IV: Concentrations des éléments minéraux en $\mu\text{g/g}$ dans les écorcés de racines de *S. longepedunculata*

| Elém | SLB1 | SLC | SLBJ5 | SLBJ10 | SLBJ15 |
|------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ag | $0,092 \pm 0,005$ | $0,191 \pm 0,004$ | $0,172 \pm 0,023$ | $0,189 \pm 0,006$ | $0,189 \pm 0,019$ |
| Al | $68,14 \pm 0,231$ | $147,4 \pm 0,326$ | $68,16 \pm 0,099$ | $68,76 \pm 0,122$ | $95,81 \pm 0,088$ |
| As | non détecté | $0,466 \pm 0$ | non détecté | non détecté | non détecté |
| Ca | $1225 \pm 13,01$ | $1645 \pm 9,523$ | $1225 \pm 16,47$ | $1366 \pm 15,371$ | $1374 \pm 24,22$ |
| Cd | $2,05 \pm 0,004$ | $2,144 \pm 0,008$ | $2,76 \pm 0,004$ | $2,801 \pm 0,002$ | $2,811 \pm 0,007$ |
| Co | $3,357 \pm 0,028$ | $3,358 \pm 0,046$ | $3,506 \pm 0,033$ | $3,521 \pm 0,027$ | $3,577 \pm 0,041$ |
| Cr | $2,579 \pm 0,016$ | $6,62 \pm 0,013$ | $2,585 \pm 0,008$ | $2,516 \pm 0,003$ | $3,526 \pm 0,009$ |
| Cu | $97,04 \pm 2,072$ | $281,7 \pm 2,333$ | $176,8 \pm 16,32$ | $316,2 \pm 9,12$ | $330,6 \pm 15,26$ |
| Fe | $171,4 \pm 4,121$ | $177,6 \pm 3,517$ | $173,8 \pm 7,327$ | $176,2 \pm 4,216$ | $178,3 \pm 3,221$ |
| Mg | $342 \pm 12,07$ | $342,6 \pm 18,29$ | $347 \pm 18,25$ | $348,1 \pm 10,12$ | $367,3 \pm 11,28$ |
| Mn | $28,14 \pm 1,026$ | $28,67 \pm 1$ | $28,91 \pm 9,934$ | $28,91 \pm 7,001$ | $28,92 \pm 3,107$ |
| Na | $377,8 \pm 27,2$ | $381,2 \pm 19,34$ | $379,5 \pm 25,66$ | $381,5 \pm 31,24$ | $381,5 \pm 27,23$ |
| Ni | $0,451 \pm 0,001$ | $0,48 \pm 0,004$ ns | $0,461 \pm 0,001$ | $0,466 \pm 0,003$ | $0,489 \pm 0,005$ |
| Pb | $0,646 \pm 0,003$ | $3,447 \pm 0,007$ | $0,959 \pm 0,015$ | $1,047 \pm 0,018$ | $1,912 \pm 0,014$ |
| Se | $0,737 \pm 0,007$ | $9,131 \pm 0,001$ | $5,835 \pm 0,085$ | $9,407 \pm 0,102$ | $9,596 \pm 0,152$ |
| Zn | $20,4 \pm 0,127$ | $37,53 \pm 0,099$ | $23,06 \pm 0,111$ | $24,7 \pm 0,407$ | $24,77 \pm 0,526$ |

II.2.2.3. *O. dactylophylla*

Le tableau ci-dessous des résultats montre que le séchage à l'étuve est une bonne méthode pour minimiser les contaminations en éléments traces métallique comme l'As et bien d'autres éléments pouvant être nocifs pour la santé à long terme, ce mode de séchage est le mieux adaptés pour les régions où l'exploitation minière est forte, mais aussi pour les commerçants des plantes médicinales qui exercent leurs activités aux bords des axes routiers (Achten, 2016); (Airparif, 2008).

Tableau V: Concentrations des éléments minéraux en $\mu\text{g/g}$ dans les écorcés de racines *O. dactylophylla*

| Elem. | ODB1 | ODC | ODBJ5 | ODBJ10 | ODBJ15 |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Ag | $0,077 \pm 0,007$ | $0,092 \pm 0,001$ | $0,205 \pm 0,002$ | $0,214 \pm 0,006$ | $0,216 \pm 0,005$ |
| Al | $333,2 \pm 2,211$ | $367,3 \pm 5,026$ | $391,4 \pm 3,154$ | $395,9 \pm 2,274$ | $476,2 \pm 2,107$ |
| As | non détecté | $2,443 \pm 0,091$ | $5,295 \pm 0,04$ | $5,297 \pm 0,019$ | $5,344 \pm 0,016$ |

| | | | | | |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Ca | 1610 ± 4,125 | 2263 ± 0,999 | 2715 ± 5,527 | 2727 ± 12,04 | 2780 ± 7,12 |
| Cd | 0,529 ± 0,003 | 0,571 ± 0,001 | 0,719 ± 0,001 | 0,724 ± 0,004 | 0,86 ± 0,003 |
| Co | 4,359 ± 0,012 | 11,97 ± 0,071 | 4,361 ± 0,284 | 4,361 ± 0,713 | 4,449 ± 0,566 |
| Cr | 4,894 ± 0,124 | 4,884 ± 0,415 | 4,894 ± 0,542 | 4,897 ± 0,414 | 4,899 ± 0,714 |
| Cu | 152 ± 0,037 | 391,6 ± 1,032 | 156,9 ± 0,358 | 374,9 ± 0,211 | 382,1 ± 0,099 |
| Fe | 97,65 ± 1,007 | 188,2 ± 0,856 | 266,2 ± 3,1 | 266,5 ± 2,006 | 269,7 ± 1,111 |
| Mg | 360,7 ± 7,12 | 579,5 ± 3,333 | 794 ± 2,014 | 794,1 ± 2,033 | 795,4 ± 4,027 |
| Mn | 59,46 ± 0,297 | 61,91 ± 0,241 | 66,65 ± 2,001 | 66,96 ± 0,983 | 66,98 ± 0,841 |
| Na | 387,8 ± 1,364 | 641,3 ± 0,732 | 733,9 ± 0,047 | 735,2 ± 0,031 | 743,1 ± 0,078 |
| Ni | 1,29 ± 0,012 | 2,547 ± 0,009 | 7,27 ± 0,006 | 7,273 ± 0,004 | 9,404 ± 0,005 |
| Pb | 2,848 ± 0,024 | 4,993 ± 0,017 | 7,92 ± 0,038 | 7,922 ± 0,017 | 7,936 ± 0,022 |
| Se | 4,592 ± 0,007 | 4,565 ± 0,004 | 4,597 ± 0,001 | 4,599 ± 0,007 | 4,599 ± 0,007 |
| Zn | 16,46 ± 0,31 | 27,12 ± 0,02 | 48,78 ± 0,324 | 48,8 ± 0,222 | 48,82 ± 0,459 |

II.2.2.4. *P. muellerianus*

Les résultats des analyses de *P. muellerianus* révèlent la présence tant bien faible la présence de l'As dans les échantillons séchés dans la salle, et cette fois aussi dans les échantillons séchés après 10 et 15 de séchage au soleil, ces résultats appuient encore une fois les hypothèses émises précédemment mais aussi celle de la durée de séchage au soleil influencerait aussi les concentrations en éléments traces métallique comme c'est le cas avec l'As, le Cu et le Zn.

Tableau VI: Concentrations des éléments minéraux en µg/g dans les écorcés de racines de *P. muellerianus*

| Elém | PmB1 | PmC | PmBJ5 | PmBJ10 | PmBJ15 |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Ag | 0,317 ± 0,004 | 1,085 ± 0,002 | 0,569 ± 0,007 | 0,629 ± 0,001 | 0,704 ± 0,005 |
| Al | 160,3 ± 0,088 | 107,3 ± 0,036 | 162,6 ± 0,054 | 164,7 ± 0,033 | 208,6 ± 0,027 |
| As | non détecté | 0,694 ± 0 | non détecté | 0,189 ± 0,011 | 0,316 ± 0,013 |
| Ca | 16770 ± 23,35 | 11470 ± 25 | 16773 ± 32,22 | 19090 ± 16,66 | 19095 ± 13,57 |
| Cd | 6,269 ± 0,244 | 9,235 ± 0,215 | 9,871 ± 0,124 | 9,808 ± 0,051 | 9,892 ± 0,042 |
| Co | 3,641 ± 0,12 | 5,707 ± 0,111 | 3,871 ± 0,065 | 3,905 ± 0,057 | 4,271 ± 0,044 |
| Cr | 4,144 ± 0,455 | 5,613 ± 0,332 | 4,871 ± 0,203 | 4,897 ± 0,28 | 6,245 ± 0,245 |
| Cu | 129,4 ± 0,025 | 471,9 ± 0,059 | 188,6 ± 0,093 | 190,1 ± 0,088 | 202,1 ± 0,071 |
| Fe | 125,1 ± 0,01 | 121,7 ± 0,018 | 170,5 ± 0,012 | 197,1 ± 0,011 | 214,9 ± 0,02 |
| Mg | 1951 ± 16,07 | 3432 ± 12,27 | 2149 ± 29,81 | 2331 ± 32 | 3543 ± 29,07 |
| Mn | 42,96 ± 0,471 | 64,82 ± 0,399 | 66,75 ± 0,304 | 67,98 ± 0,379 | 68,57 ± 0,299 |

| | | | | | |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Na | $300,1 \pm 0,087$ | $321,2 \pm 0,057$ | $399,9 \pm 0,062$ | $514,4 \pm 0,037$ | $727,6 \pm 0,068$ |
| Ni | $7,238 \pm 0,009$ | $7,245 \pm 0,012$ | $7,242 \pm 0,01$ | $7,358 \pm 0,021$ | $7,365 \pm 0,023$ |
| Pb | $6,364 \pm 0,177$ | $11,21 \pm 0,216$ | $9,408 \pm 0,197$ | $9,99 \pm 0,204$ | $8,992 \pm 0,194$ |
| Se | $2,889 \pm 0,003$ | $9,29 \pm 0,008$ | $4,371 \pm 0,001$ | $5,629 \pm 0,006$ | $7,381 \pm 0,003$ |
| Zn | $129,6 \pm 0,071$ | $252,7 \pm 0,055$ | $190,7 \pm 0,066$ | $197 \pm 0,053$ | $206,1 \pm 0,067$ |

CONCLUSION

Le présent travail s'intéresse à l'étude de l'impact des matières particulaires sur les plantes médicinales dans les différentes conditions de séchage (le séchage à l'étuve à 30°C, le séchage à l'ombre et au Soleil) de *Terminallia mollis*, *Phyllanthus muellerianus*, *Sécuridaca longepedunculata* et *Oldfieldia dactylophylla*.

Au cours de cette étude, on déduit que le séchage à l'étuve est plus favorable, d'une part le temps de séchage est beaucoup plus court par rapport au séchage au soleil et dans la salle (l'ombre), et d'autre part en termes de contamination de matières particulaires (PM_{2,5} et PM₁₀). Le séchage à l'étuve donne une meilleure rentabilité que celle du soleil et dans l'ombre.

L'étude de l'impact des matières particulaires PM_{2,5} et PM₁₀ dans les trois procédés de séchage, étuve, au soleil et à l'ombre, sur les plantes médicinales a démontré que : les poudres obtenues après séchage, au soleil, à l'ombre et à l'étuve, ont une variance contamination. Celle séché à l'étuve montre moins de contamination par rapport à celles séché au soleil et dans l'ombre. La contamination la plus élevée à l'étuve TMB1 du Mg ($211,6 \pm 10,21$), SLB1 du Ca ($1225 \pm 13,01$), ODB1 du Mg ($360,7 \pm 7,12$) et PMB1 du Ca ($16770 \pm 23,35$).

La pollution de l'air constitue une préoccupation importante de santé publique, par l'impact de sa composition substantielle sur les plantes médicinales qui y sont exposées et sur l'état de santé de la population du fait que toute personne exposée à ces substances se trouve dans le risque d'une contamination sur le long terme. Toutefois, il serait souhaitable d'élargir cette étude à d'autres espèces.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Achten, V. T. et P. (2016). Diversity, use and management of household-located fruit trees in two rapidly developing towns in Southeastern D.R. Congo. 63(September 2020), 127–220. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127220>
- Adjanohoun.E. (2000). La biodiversité face au développement des industries pharmaceutiques africaines. In : Réseau des « espèces ligneuses médicinales », Eyog Matig O, Adjanohoun E, de Souza S et Sinsin B (eds). Compte rendu de la première réunion du réseau. 54.
- Afsset. (2009). Pollution par les particules dans l'air ambiant. 137.
- Airparif. (2008). Un neuropeptide à l'origine - du vieillissement testiculaire ? <https://doi.org/10.7202/013807ar>
- Al, M. N. et. (2008). Santé et environnement – prendre en compte les effets de la pollution de l'air sur la santé Rapport du Secrétariat.
- Algérienne, R., Et, D., & Scientifique, R. (2019). Contribution à l'étude ethnobotanique des plantes médicinales sur un transect M' Sila -Djelfa.
- Alibas, I. (2007). Microwave, air and combined microwave air-drying parameters of pumpkin slices. LWT - Food Science and Technology, 40 (8), 1445-1451. (première é).
- Anuka, J.A., Yaro, A.H., Wannang, N.N., Ezenwanne, E.B. & Yakasai, I. A. (2016). • Anuka, J.A., Yaro, A.H., Wannang, N.N., Ezenwanne, E.B. & Yakasai, I.A., 2005. Some in vivo and in vitro studies of the aqueous leaf extract of *Phyllanthus muellerianus* (Euphorbiaceae) in laboratory animals. Journal of Pharmacy & Bioresources 2(2): 93–9. September 2021. <https://doi.org/10.1007/s10298-015-1004-5>
- AOAC. (2005). AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International: Gaithersburg (MD). 13(11), 75–81. <https://doi.org/10.9790/0853-131157581>
- Arbonnier, M. (2004). • Arbonnier, M., 2004. Trees, shrubs and lianas of West African dry zones. CIRAD, Margraf Publishers GmbH, MNHN, Paris, France. 573 pp. 11–24.
- Biyiti LF, M. D. (2004). Biyiti LF, Meko'o DJL, Tamzc V, Amvam Zollo PH. 2004. Recherche de l'activité antibactérienne de quatre plantes médicinales camerounaises. Pharm. Med. Trad. Afr. 13: 11-20. 1, 66.
- Boughali, S. (2014). Etude Et Optimisation Du Sechage Solaire Des Produits Agro-Alimentaires Dans Les Zones Arides Et Desertiques. Thèse de Doctorat, 26–28.
- Bruneton, J. (1999). Pharmacognosie - Phytochimie, plantes médicinales. In Pharmacognosie - Phytochimie, plantes médicinales. (paris).
- Burkill, H. . (2022). • Burkill, H.M., 1994. The useful plants of West Tropical Africa. 2nd Edition. Volume 2, Families E–I. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 636 pp.
- Chisamile, W. A., & Sonibare, M. A. (2023). Étude ethnobotanique des plantes médicinales traditionnelles utilisées pour le traitement des maladies infectieuses par les communautés locales de l'autorité traditionnelle (AT) Mbelwa, district de Mzimba, région du Nord, Malawi.

- Claudet, E. (2015). Claudet, E. (2015). Séchage des plantes aromatiques et médicinales. 24–27.
- Cnrs. (2014). Propriétés biologiques des flavonoïdes : étude bibliographique et évaluation de l'activité antioxydante. *Pharmacie*, 2(1), 11–22.
- Crozier, A., Clifford, M. N., & Ashihara, H. (2007). Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet. *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet*, 1–372. <https://doi.org/10.1002/9780470988558>
- Des, E., Sur, I., & Periode, L. A. (2021). IMPACT DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE EVALUATION DES IMPACTS SUR LA PERIODE 2013-2015 LA POLLUTION DE L' AIR : QUELS RISQUES POUR LA SANTE PRINCIPE DES EQIS-PA ET PRESENTATION DU LOGICIEL AirQ +. 5, 1–8.
- Din N, M. E. (2011). Din N, Mpondo E, Dibong SD, Kwin NF, Ngoye A. 2011. Inventory and identification of plants used in the treatment of diabetes in Douala town (Cameroon). *European journal of medicinal plant* 1: 60-73. 201.
- Doughari, J.H. & Sunday, D. (2008). • Doughari, J.H. & Sunday, D., 2008. Antibacterial activity of *Phyllanthus muellerianus*. *Pharmaceutical Biology* 46(6): 400–405. 93, 125–130. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.04.001>
- Fraga, C. G. (2009). Plant Phenolics and Human Health: Biochemistry, Nutrition, and Pharmacology. *Plant Phenolics and Human Health: Biochemistry, Nutrition, and Pharmacology*, 1–593. <https://doi.org/10.1002/9780470531792>
- George, waller R. et, & Yamasaki, K. (2000). Saponins in Food, Feedstuffs and Medicinal Plants. *Saponins in Food, Feedstuffs in Medicinal Plants*, 1995. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-9339-7>
- Iserin, P. (1996). *Encyclopédie des plantes médicinales* (londres).
- Jacobson, M. C., H. (2000). Jacobson, M. C., Hansson, H. C., Noone, K. J. and Charlson, R. J.: Organic atmospheric aerosols: Review and state of the science, *Rev. Geophys.*, 38(2), 267–294, doi:<http://dx.doi.org/10.1029/1998RG000045>, 2000. 32.
- La, S. D. E., Et, V. I. E., & Santé, D. E. L. A. (2014). Remerciements.
- Laws, T. M. (2006). Research Paper. 3, 47.
- Lemlouma manel. (2014). Lemlouma manel, K. M. (n.d.). Mémoire présenté pour l' obtention Du diplôme de Master Académique Intitulé Etude de stratégies d' évaluation des effets thérapeutiques des plantes médicinales in vitro et in vivo Remerciements. 58. *South African Journal of Botany*, 93, 21. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.04.001>
- Liu, M., Katerere, D. R., Gray, A. I., & Seidel, V. (2009). Fitoterapia Phytochemical and antifungal studies on *Terminalia mollis* and *Terminalia brachystemma*. *Fitoterapia*, 80(6), 369–373. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2009.05.006>
- Malaisse, F. (1997). • Malaisse, F., 1997. Se nourir en forêt claire africaine. Approche écologique et nutritionnelle. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgium & CTA, Wageningen, Netherlands. 384 pp. 11–24. <https://doi.org/10.55262/fabadeczacilik.1083066>
- Meryem, B., Ferial, G., & Malak, A. (2009). قيرئازجلا قيطارقميدلا قيبعشلا République Algérienne Démocratique et Populaire. *Journal*, 65.

- Mourad, A. (2015). Ayadi Mourad Mise au point , test et modélisation d ' une unité de.
- Mpoyo. (2021). Contribution à l ' étude de la pollution particulaire de l ' air en milieu urbain : « Cas des PM 2 , 5 et PM 10 le long de la route Kasapa , dans la Ville de Lubumbashi , en R . D . Congo » Contribution to the study of particulate air pollution in urban a. 4130–4141. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n3-026>
- Muthu C, A. M. (2006). Muthu C, Ayyanar M, Raja N, Ignacimuthu S. 2006. Medicinal plants used by traditional healers in Kancheepuram District of Tamil Nadu, India. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2: 4269-4310. 54–55.
- Ojewole, J. (2008). Effets analgésiques, anti-inflammatoires et hypoglycémiques de l'extrait aqueux d'écorce de racine de *Securidaca longepedunculata* Frasen (Polygalaceae). *Inflammapharmacology*, 15 : 174181. novembre.
- OMS. (2002). WHO. 2000b. Principes méthodologiques généraux pour la recherche et l'évaluation relatives à la médecine traditionnelle. Organisation mondiale de la Santé, Genève, Suisse.
- OMS. (2007a). OMS. guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. World Health Organization, Genève, Suisse. 9(9), e19370. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19370>
- OMS. (2007b). OMS. guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. World Health Organization, Genève, Suisse. 9(9), e19370. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19370>.
- Palanchon, C., Pascal, M., Corso, M., Meffre, C., & Janin, C. (2012). Évaluation de l ' impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans l ' agglomération de Mulhouse , septembre 2012 atmosphérique sur la santé ? Comment peut-on quantifier l ' impact sanitaire de la pollution Quel est l ' impact sanitaire de la pollution atmosphérique en Europe ? Quel est l ' impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans l ' agglomération de Mulhouse ? 1–6.
- Paul-didi, M. K., Kasapa, R., Claudine, D. E., Makomeno, Q., & Welcome, M. N. (2021). Contribution à l ' étude de la pollution particulaire de l ' air en milieu urbain : « Cas des PM 2 , 5 et PM 10 le long de la route Kasapa , dans la Ville de Lubumbashi , en R . D . Congo » Contribution to the study of particulate air pollution in urban areas : « Case of PM 2 . 5 and PM 10 along the Kasapa road , in the City of Lubumbashi , in R . D . Congo ». 4130–4141. <https://doi.org/10.46932/sfjdv2n3-026>
- Ph.Eur. (2014). Pharmacopée Européenne (9th edn). Ph.Eur.-Conseil d'Europe: Stratbourg. *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(33), 7076–7084. <https://doi.org/10.5897/JMPRx11.001>. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.04.001>
- Ph, T., & Magombo, L. (2007). d ' Oldfieldia dactylophylla S É RIE DE TH È SES DE.
- Plumbridge, W. J. (1986). *Encyclopaedia of Materials Science and Engineering. Physics Bulletin*, 37(12), 502–503. <https://doi.org/10.1088/0031-9112/37/12/036>
- Plumbridge, W. J. (2000). Plumbridge, W. J. (1986). *Encyclopaedia of Materials Science and Engineering. Physics Bulletin*, 37(12), 502–503. <https://doi.org/10.1088/0031-9112/37/12/036>. 23.
- Plumbridge, W. J. (2015). Plumbridge, W. J. (1986). *Encyclopaedia of Materials Science and Engineering. Physics Bulletin*, 37(12), 502–503. <https://doi.org/10.1088/0031-9112/37/12/036>. ResearchGate, November.

Ratti, C. (2009). Ratti, C. 2009. Advances in food dehydration. CRC Press, United States; 488 p. Universite De Bretagne-Sud, 5(160), 243.

S. Hanschen, Lamyai, A., & Schreiner R. (2017). Glucosinolates in plant growth , development and stress reponse. Glucosinolates, 3.

Seinfeld, J. H. and P. (2006). Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N.: Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 2nd Edition - John H. Seinfeld, Spyros N. Pandis. [Online] Available from: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471720186.html> (Acces. <https://doi.org/10.1025/ajnp.2016.4.2.282>

Thibaudon. (2012). Thibaudon, M. (2012). Les particules biologiques dans l'air. Pollution Atmospherique, SPEC. ISS., 148–153. 47.

Visez, C. et. (2019). *Searsia tripartita* (Ucria) Moffett : phytochimie , pharmacologie et usages traditionnels. 18(2), 124–128. <https://doi.org/10.3166/phyto-2019-0167>

Watson, R. R. (2014). Polyphenols in Plants: Isolation, Purification and Extract Preparation. Polyphenols in Plants: Isolation, Purification and Extract Preparation, 1–331. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-08711-2>