



UNIVERSITE MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي بـرج بوعريـريـج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimy B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم بيئة ومحيط

Département d'Ecologies et environnement



UNIVERSITE MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Biodiversité et environnement

## Intitulé :

*Impact des composés organiques volatils sur l'environnement*

Présenté par:

BENTOUMI HASSINA & FAR MAROUA

Soutenu le 10 / 06 / 2025, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. GUISSOUS Mokhtar	MCA	Université de Bordj Bou Arreridj
Encadrant :	Mme. TABTI Salima	Pr	Université de Bordj Bou Arreridj
Co-Encadrant	Melle. LOUAILECHE Tinhinane	Doctorante	Université de Bordj Bou Arreridj
Examineur :	Mme. SAIAD Amira	.MCB	Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2024/2025



## *Remerciements*


Nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir permis de mener à bien cette recherche scientifique et de nous avoir accordé santé, bien-être et détermination.

Louanges à Dieu.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre reconnaissance à notre superviseure, le professeur TABTI Salima, pour tous les précieux conseils et informations qu'elle nous a fournis, qui ont contribué à enrichir notre étude à divers égards. Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du comité de discussion, à commencer par le professeur

GUISSOUS Mokhtar, président et Mme. SAIAD Amira, examinatrice et LOUAILECHE Tinhinane, Co-Encadrant

Ainsi qu'au président de l'université, au doyen de notre faculté et à tous les professeurs respectés pour leurs efforts.





## **Dédicaces**

*Je dédie ma remise de diplôme à l'amour de mon cœur et de mon âme, qui ont travaillé dur et peiné pour que je trouve du réconfort, à l'étreinte qui m'a soutenu quand j'étais jeune et qui me soutient encore. Par Dieu, je t'aime d'un amour tel que même les peuples du ciel et de la terre se réuniraient pour te l'expliquer, ils ne pourraient le faire.*

### **Ma chère mère**

*À celui qui m'a appris à donner sans rien attendre, à celui dont je porte le nom avec fierté, à celui qui m'a soutenu sans limites, à celui qui a cherché à rendre nos vies meilleures*

### **Mon cher père**

*À mes chers frères, montagne sur laquelle je m'appuie dans l'adversité, mon soutien après Dieu, je vous aime de tout mon cœur. À mon cher ami dans cette recherche .À tous ceux qui ont traversé notre vie sans laisser de trace, à tous ceux que Dieu a choisis avec une bonne éducation et un cœur pur qui ne veut pas nuire à autrui, et à tous ceux qui étudient la science.*

## **Hassina**

2025





### ***Dédicaces***

*Louange à Dieu, qui a tracé notre chemin et nous a accordé la bénédiction du savoir. Je remercie Dieu Tout-Puissant de nous avoir permis d'achever pleinement cette œuvre, et je prie Son noble Prophète, que Dieu le bénisse et lui accorde la paix.*

*Je dédie cet humble ouvrage à mes honorables parents, que Dieu les honore, les protège et les récompense généreusement.*

*À mon mari et compagnon de toujours pour leur soutien, à mes frères et sœurs, à la famille de mon mari pour leurs encouragements, à mon ami sur ce chemin, et à tous ceux qui ont cru en moi et en mes capacités. Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué à cette œuvre et nous ont tendu la main, de près ou de loin.*

***Maroua***

2025



# Sommaire

Liste des Abréviations .....	a
Liste des tableaux .....	b
Liste des figures .....	b

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## Chapitre 1 : Généralité sur les COV

I. Introduction .....	2
I.1. Définition .....	2
I.2. Propriétés des composés organiques volatile .....	3
I.3. Toxicité des COV .....	5
I.3.1. Effets directs .....	5
I.3.2. Effets indirects .....	6
I.4. Classification des COV .....	7
I.4.1. Classification par structure chimique .....	7
I.4.1.1. Les hydrocarbures aliphatiques .....	7
I.4.1.2. Les hydrocarbures alicycliques .....	7
I.4.1.3. Les hydrocarbures aromatiques .....	8
I.4.1.4. Les hydrocarbures substitués .....	8
I.4.2. Classification par origine .....	8
I.4.2.1. Anthropique .....	8
I.4.2.2. Source naturelle .....	8
I.5. Les substances les plus abondantes .....	9
I.5.1. Benzène .....	9
I.5.2. Toluène .....	10
I.5.3. Xylène .....	10
I.5.4. Formaldéhyde .....	11
I.5.5. Terpène .....	11
I.5.6. Isoprène .....	12
I.6. Conclusion .....	12

## Chapitre 2 : Origines des émissions des COV

II. Introduction .....	13
II.1. Sources naturelle. ....	13
II.1.1. Sources biogéniques .....	13

II.1.1.1. Composés organiques volatils émis par les plantes .....	15
II.1.2. Source microbienne .....	17
II.2. Source anthropique .....	18
II.2.1. Activités industrielles et domestique .....	18
II.2.1.1. Utilisation de solvants .....	18
II.2.1.2. Technique de production .....	19
II.2.1.3. Autres activités .....	19
II.2.2. Transports et combustibles .....	20
II.2.2.1. Trafic routier .....	20
II.2.2.2. Trafic maritime .....	20
II.2.2.3. Les émissions sont comptabilisées en fonction du type de carburant .....	20
a. Benzène .....	20
b. Diesel (véhicules légers) .....	21
c. Diesel (véhicules lourds) .....	21
d. Le carburant E85 .....	21
II.3. Conclusion .....	21

### **Chapitre 3 : Impacts des COV sur l'environnement et sur santé**

III. Introduction .....	22
III.1. Effets sur l'environnement .....	22
III.1.1. La formation de l'ozone troposphérique .....	22
III.1.2. La formation du smog photochimique .....	24
III.1.3. Effets sur le climat .....	25
III. 2. Effet sur santé humaine .....	25
III.2.1. L'évolution des COV dans l'organisme .....	27
III.2.1.1. L'adsorption .....	27
III.2.1.2. Distribution .....	28
III.2.1.3. Elimination .....	28
III.2.1.4. L'excrétion .....	30
III.2.2. Maladies causées par des composés organiques volatils .....	30
III.2.2.1 Les maladies aiguës .....	30
A. Irritations des voies respiratoires des yeux et la peau .....	31
III.2.2.2. Les malades chroniques .....	31
A. Les maladies neurologiques .....	31
B. Les maladies cancérigènes .....	32
III.3. Conclusion .....	34

### **Chapitre 4 : Solutions pour réduire les émissions des COV**

IV. Introduction .....	36
IV.1. Approches technologiques et industrielles .....	36

IV.1.1. Technologies de contrôle des émissions .....	36
IV.1.1.1. Technique primaires .....	36
IV.1.1.2. Technique secondaires .....	37
1. Système de récupération .....	37
1.1. Absorption .....	37
1.2. Condensation .....	37
1.3. Technique membranaires .....	37
1.4. Adsorption .....	38
2. Système de destruction .....	38
2.1. Biofiltration .....	38
2.2. Oxydation thermique .....	38
2.3. Oxydation catalytique .....	39
IV.2. Utilisation des plantes bioindicateurs .....	39
IV.2.1. Détection des COV .....	40
IV.2.1.1. Détection des COV dans l'air .....	40
IV.2.1.2. Détection des COV dans le sol .....	41
IV.2.2. Contribution des plantes à la purification de l'air et des sols .....	41
IV.3. Sensibilisation et éducation .....	42
IV.3.1. Pratiques domestique durables .....	42
IV.3.2. Réglementations environnementales relatives aux COV .....	43
IV.1.1.3. Engagements internationaux .....	43
a) La convention de Genève .....	43
b) Le Protocole de Genève .....	44
c) Protocole de Montréal .....	44
d) Protocole de Kyoto .....	44
e) Protocole de Göteborg .....	44
f) Autres accords internationaux .....	45
IV.4. Conclusion .....	45
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>46</b>

## Abréviation

**ADH** : Alcool déshydrogénase

**ALDH** : Aldéhyde déshydrogénase

**AOS** : Aérosol

**BTEX** : Benzène, Toluène, Éthylbenzène, Xylène.

**CEE-ONU** : Commission économique des Nations Unies pour l'Europe.

**CH<sub>4</sub>** : Le méthane

**CIRC** : Le centre international de recherche sur le cancer

**CO** : Le monoxyde de carbone

**CO<sub>2</sub>** : Le dioxyde de carbone

**COV** : Composé organique volatil

**COVB** : composé organique volatil

**COVm** : Composés organiques volatils microbiens

**COVNM** : Composés organiques volatils Non méthane

**COVO** : Composé organique volatil oxygène

**CYP450** : Cytochrome P450 mono oxygénase

**GST** : Glutathion S-transférase

**HFC** : Hydrofluorocarbures

**IPPB**: Programme international de bioessais végétaux

**MRP** : Protéines associées à la multi résistance aux médicaments

**N<sub>2</sub>O** : L'oxyde nitreux

**NO** : Dioxyde d'azote

**NOX** : Oxydes d'azote

**O<sub>1</sub>** : Primaires d'ozone

**O<sub>3</sub>** :L'ozone

**OH** : Le radical hydroxyle

**OMS** : L'Organisation mondiale de la santé

**PCB** : Les biphenyles polychlorés

**PentaPBDE** : Pentabromodiphenyl éther.

**PFC** : Perfluorocarbures

**PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'environnement

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

**SO<sub>x</sub>** : Oxydes de soufre

**TEX** : Toluène, éthylbenzène et xylènes

**USEPA** : United States Environmental Protection Agency

**VLE** : Valeur limite exposition

**XME** : Enzymes métabolisant les xénobiotiques

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : Classification des COV selon leur température d'ébullition .....	3
<b>Table au II</b> : propriétés de certains composés organiques .....	4
<b>Table au III</b> : principaux polluants VLE et leurs effets sur la santé .....	6
<b>Table au IV</b> : différentes classifications des terpènes selon leur nombre n .....	11
<b>Tableau V</b> : taux de formation de l'ozone (O <sub>3</sub> ) a partir des COV .....	23
<b>Table au VI</b> : Principaux effets des COV sur la santé humaine BTEX .....	27
<b>Tableau IV</b> : Taux d'absorption et organes cible pour les principaux COV .....	28
<b>Tableau VIII</b> : classification des principaux COV en fonction de leurs effets cancérigènes .....	33
<b>Table au IX</b> : Les classifications cancérigènes des substances .....	33

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : les structures chimiques de certain COV .....	2
<b>Figure 2</b> : les structures chimiques du xylène .....	10
<b>Figure 3</b> : les terpènes et leurs dérivés sont quelques exemples de COV .....	14
<b>Figure 4</b> : la relation entre la plante et son environnement et les différentes manières COV .....	16
<b>Figure 5</b> : Facteurs influençant l'émission et la diffusion des COVs par la plante .....	17
<b>Figure 6</b> : certains composés organiques volatils et effet dans le corps .....	26

## Introduction générale

L'environnement abrite tous les êtres vivants et leur fournit tous les conditions favorables pour se vivre dont ils ont besoin pour vivre. La préserver n'est pas seulement une option, mais une nécessité urgente pour assurer la durabilité des ressources naturelles et protéger notre planète pour les générations futures.

Lorsque nous parlons de la manière de préserver l'environnement, nous parlons de pollution de l'environnement, en particulier de pollution de l'air. Ce type de pollution est notamment dû à l'oxydation de composés organiques, les composés organiques volatils, qui sont généralement considérés comme des produits chimiques (**Sabour S., 2019**). Ils constituent une menace environnementale majeure en raison de leurs effets sur la santé humaine et l'environnement. (**Cia M ., 2021**) Compte tenu de l'importance de ces composés et de leurs effets, encore mal connus, cette recherche vise à les éclairer à travers quatre chapitres, en essayant de répondre à la question : Quelle est la forme de ces composés et quels sont leurs effets sur l'environnement ? Notre modeste travail est structuré comme suit :

- ✚ En commençant par une introduction générale.
- ✚ Dans le premier chapitre on va donner quelques généralités sur les composés organiques volatiles.
- ✚ Le deuxième chapitre discute les origines des émissions des composés organiques volatiles.
- ✚ Le chapitre 3 focus sur les effets et les impacts des COV sur l'environnement et la santé.
- ✚ Finalement le dernier chapitre, résume quelques solutions pour réduire les émissions des COV
- ✚ On termine notre recherche bibliographique par une conclusion générale et les perspectives.



***Chapitre I : Généralités sur les COV***

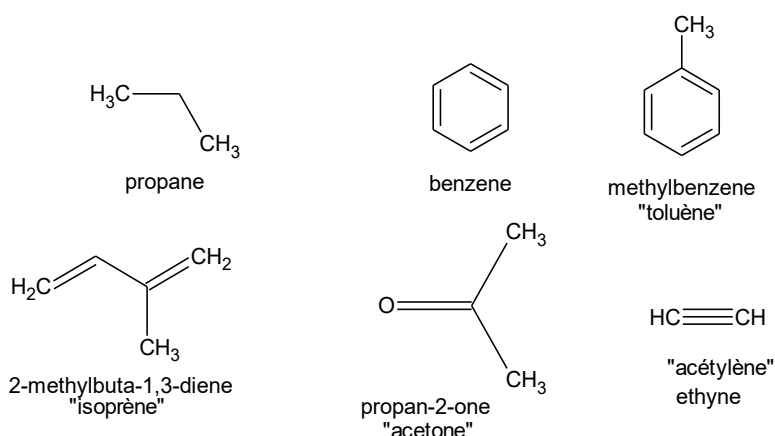
## I. Introduction

Les composés organiques volatils comptent parmi les principaux polluants atmosphériques. La définition de ces composés reste encore floue et même mystérieuse pour de nombreuses personnes. (Grange D et al., 2007) Quels sont ces composés ?

### I.1. Définition

Les composés organiques volatils (COV) sont des composés contenant au moins un élément, carbone, et un ou plusieurs autres éléments tels que l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, les halogènes, le soufre, le phosphore, le silicium, etc. (Grange D et al., 2007)

Selon la directive européenne 1999/13/CE du 11 mars 1999, un composé organique volatile (COV) est défini en fonction de ses propriétés physiques et chimiques : point d'ébullition, ou pression de vapeur ; sa pression de vapeur est de 0,01 kpa ou plus à 293,15 K, (Dufresne, M. 2022) c'est-à-dire à 20 °C. Il existe un très grand nombre de substances qui répondent à la définition des COV, parmi lesquelles : les hydrocarbures (alcanes, alcènes, hydrocarbures aromatiques, etc.), les alcools, les aldéhydes, les éthers, etc. Parmi les principaux COV largement utilisés, notamment dans l'industrie, on trouve : le benzène, le toluène, le xylène, l'éthylbenzène et le formaldéhyde. (Praznocy C et Grémy I., 2009). La figure 1 présente la structure de quelques molécules avec leurs noms selon UIPAC et leurs noms usuels.



**Figure 1 :** les structures chimiques de certain COV.

Enfin, sur la base de la norme NF ISO 6 16000 et de l'Organisation Mondiale de la Santé, les composés organiques volatils sont classés en fonction de leur point d'ébullition (tableau I), c'est-à-dire du point auquel ils passent de la phase liquide à la phase gazeuse. (Grange D et al., 2007 ; Cai, M., 2021).

**Tableau I :** Classification des COV selon leur température d'ébullition. (Grange D et al., 2007)

Volatilité	température d'ébullition
Très volatile	< (50-100 °C)
Volatile	(50-100 °C) à (240-260 °C)
Semi-volatile	(240-260°C) à (380-400°C)

## I.2. Propriétés des composés organiques volatiles

Sur la base de la définition ci-dessus des composés organiques, de nombreux COV sont considérés comme des molécules relativement petites, contenant peu de liaisons intermoléculaires, et peuvent exister sous forme de gaz ou de liquides à température ambiante, les COV peuvent être inodores ou avoir une odeur particulière. Parmi les substances qui ont une odeur plus piquante : les amines, les composés soufrés, les dérivés oxydés (aldéhydes et cétones) et certains composés aromatiques.

De plus, leur volatilité qui leur permet de se propager plus ou moins loin de son point d'émission, les composés organiques volatils appartiennent à des familles chimiques très diverses telles que les hydrocarbures (alcanes, alcènes, allènes, hydrocarbures aromatiques), et les composés fonctionnels dont ils contiennent au moins une fonction chimique tel que : les alcools, les aldéhydes, les cétones, les acides carboxyliques, les esters, les éthers, les dérivés chlorés, nitrés, aminés, etc. Comme c'est présenté dans (tableau II). Des milliers de substances commerciales disponibles sur les composés organiques volatiles. Parmi elles, plusieurs centaines sont largement utilisées, notamment dans l'industrie, et sont susceptibles d'être présents dans divers environnements (air, eau, sol). Ainsi, plus de 400 composés organiques volatils peuvent être identifiés dans l'air (PPA, 2006). Parmi les principaux COV étudiés on peut citer : le benzène, le toluène, les homologues du xylène (m-xylène, o-xylène,

p-xylène), l'éthylbenzène, le formaldéhyde, etc. (Grange D et al., 2007)

Tableau II : propriétés de certains composés organiques. (Grange D et al., 2007)

Famille chimique	Nom usuel	Nom IUPAC	Formule brute	Pression de vapeur saturant (Pa à 20°C)	Apparence
<b>Alcanes</b>	Ethane	Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,85×10 <sup>6</sup>	Gaz incolore, inodore
	n-hexane	hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	1,6×10 <sup>4</sup>	Liquide incolore, odeur caractéristique
<b>Alcènes</b>	Ethylène	Ethène	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,1×10 <sup>6</sup>	Gaz incolore, odeur caractéristique
	Propylène	Propène	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	1,16×10 <sup>6</sup>	Gaz incolore
<b>Alcynes</b>	Acétylène	éthyne	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	4,5×10 <sup>6</sup>	Gaz incolore, odeur étherée
<b>Alcools</b>	Méthanol	méthanol	CH <sub>4</sub> O	1,23×10 <sup>4</sup>	Liquide incolore, odeur agréable
	Ethylène Glycol	éthane-1,2-diol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	7	Liquide incolore, Visqueux
<b>Hydrocarbures aromatiques</b>	Benzène	Benzène	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	9,97×10 <sup>3</sup>	Liquide incolore, odeur Aromatique
	Toluène	méthylbenzène	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	3,8×10 <sup>3</sup>	Gaz incolore, odeur caractéristique
<b>Aldéhydes</b>	formaldéhyde	Méthanal	CH <sub>2</sub> O	4,4×10 <sup>5</sup>	Gaz incolore, odeur piquante
	Acétaldéhyde	Ethanal	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	1,01×10 <sup>5</sup>	Liquide incolore, odeur forte
<b>Cétones</b>	Acétone	2-propanone	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	2,4×10 <sup>4</sup>	Liquide incolore, odeur douce
<b>Éthers</b>	éther éthylique	éther diéthylique	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	5,89×10 <sup>4</sup>	Liquide incolore, odeur Sucrée piquante

<b>Esters</b>	acétate de méthyle	éthanoate de méthyle	$C_3H_6O_2$	$2,17 \times 10^4$	Liquide incolore, odeur fruitée
---------------	--------------------	----------------------	-------------	--------------------	---------------------------------

### I.3. Toxicité des COV

Etant donné que les COV émettent des émissions qui ont deux types d'effets :

#### .3.1. Effets directs

Les émissions de composés organiques volatils constituent une menace directe pour la santé humaine. L'ampleur de leur impact dépend de plusieurs facteurs : la nature du composé, le niveau et l'étendue de l'exposition, ainsi que le mode de pénétration dans l'organisme, que ce soit par ingestion, inhalation ou absorption cutanée. Leur toxicité varie considérablement.

Si certains ne présentent aucun risque pour la santé, d'autres peuvent être extrêmement toxiques, l'exposition aux composés organiques volatils (COV) peut entraîner divers problèmes de santé, allant de symptômes mineurs tels qu'une irritation des yeux et des voies respiratoires à des affections graves telles que le cancer. Les effets aigus les plus courants, observés pendant et peu après l'exposition, comprennent une irritation des muqueuses, des maux de tête, des nausées, des étourdissements, de la fatigue, des troubles visuels, des réactions allergiques cutanées et des troubles de la mémoire. Le tableau III présente les valeurs limites indicatives (VLE) correspondant à l'exposition moyenne professionnelle : (8 heures par jour et 40 heures par semaine), qui ne doivent pas être dépassées afin de préserver la santé des travailleurs. Bien que de nombreux composés organiques volatils (COV) ne présentent pas de toxicité aiguë, une exposition prolongée, même à faibles doses, peut entraîner des effets chroniques, causant des dommages importants à certains organes, tels que le foie, les reins et le système nerveux central (**Pham H T., 2014**).

Tableau III : principaux polluants VLE et leurs effets sur la santé.

Famille	Composé	VLE	Effet sur la santé
<b>Hydrocarbures aromatique</b>	Toluène	100 ppm	Irritations cutanées Troubles du système Nerveux
	Benzène	1 ppm	Diminution de l'immunité cellulaire Atteinte du système Nerveux
<b>Aldéhydes</b>	Formaldéhyde	0,5 ppm	Gêne olfactive
	Acétaldéhyde	100ppm	Irritation des respiratoires
<b>Cétones</b>	Acétone	50 ppm	Troubles neurologiques et digestifs Irritations cutanées et olfactives
<b>Hydrocarbures Aliphatiques</b>	Hexane	50 ppm	Irritations cutanées Troubles du système nerveux Irritations cutanées

### 1.3.2. Effets indirects

Peuvent influencer sur l'environnement via leurs décompositions dans l'air (Soltys N (s.d.)), c'est un sujet vague qui n'est pas encore totalement élucidé jusqu'à présent et qui n'a été abordé qu'à travers quelques études sur ces interactions multifactorielles. (Petit L., 2003). Les composés organiques volatils contribuent au déséquilibre environnemental et à la pollution. (Pham H T., 2014)

## I.4. Classification des COV

### I.4.1. Classification par structure chimique

La chimie du carbone est caractérisée par la présence d'un très grand nombre de composés carbonés. Cela est dû à la capacité du carbone à former des liaisons covalentes avec lui-même, ce qui peut conduire à une large gamme de produits chimiques qui partagent le fait qu'ils sont des composés de carbone volatils à température ambiante. Ces substances peuvent être divisées en grandes familles identifiées selon leur formule chimique. Chacune possédant des propriétés spécifiques, même si des différences significatives peuvent parfois exister, elles sont sensibles à la chaleur et présentent une grande solubilité. Les COV doivent être considérés individuellement sur cette base, mais aussi globalement, en raison de leurs propriétés toxiques communes (Cicoella A., 2008) le groupe des composés organiques volatils est constitué d'une multitude de substances organiques, pouvant appartenir à 4 grandes familles chimiques divisées en plusieurs sous-familles: (Méausoone C., 2019)

#### I.4.1.1. Les hydrocarbures aliphatiques :

Sont des hydrocarbures saturés tels que les alcanes, et les hydrocarbures insaturés tels que les alcènes et les alcynes sont largement utilisés comme solvants pour peintures, vernis et laques mais aussi comme intermédiaires de synthèse et agents dégraissants. (Méausoone C., 2019)

#### I.4.1.2. Les hydrocarbures alicycliques

Ce sont des dérivés des hydrocarbures aliphatiques. Les 3 groupes appartenant à cette famille sont les cycloalcanes, les cycloalcènes et les terpènes. Ces molécules rentrent dans la composition des colles, des adhésifs, des peintures, des produits d'entretien et des parfums (Méausoone C, 2019). Les terpènes sont des substances du groupe des hydrocarbures insaturés très volatils, spontanément produites par diverses espèces végétales ; les conifères en particulier élaborent en grandes quantités de nombreux types de molécules appartenant à ce groupe chimique l'isoprène est un liquide incolore et volatil. Composés naturels dérivés de l'isoprène ( $C_5H_8$ ) Exemples : limonène, pinène (présents dans les plantes et huiles essentielles). (AIRFOBEP., 2005)

### I.4.1.3. Les hydrocarbures aromatiques

Sont des hydrocarbures cycliques insaturés comportant un ou plusieurs cycles. Le benzène, toluène et le xylène (au pluriel pour les isomères ortho, méta et para) sont obtenus par extraction de coupes pétrolières dont la teneur en aromatiques est élevée, les aromatiques sont très appréciés pour la fabrication des carburants pour moteur à essence. Ils sont au contraire néfastes à la qualité des carburants pour les moteurs diesel ou pour les réacteurs d'avion. Aromatiques (benzéniques) : dérivés du benzène (ex. benzène, toluène, xylène, éthylbenzène, souvent abrégés BTEX). (AIRFOBEP., 2005)

### I.4.1.4. Les hydrocarbures substitués

Ne sont pas uniquement composés d'atomes de carbone et d'hydrogène. En effet, ces derniers peuvent être remplacés par des atomes halogénés (brome, fluor, chlore et iode) ou par un groupement fonctionnel Hydroxyle (-OH) formant respectivement le groupe des halogènes et des alcools, Les aldéhydes, les cétones, les éthers et les esters, les acides et les dérivés aminés sont également des composés appartenant à cette famille de COV. (Méausoone C., 2019)

## I.4.2. Classification par origine

La présence des composés organiques volatils dans le milieu environnant est due à deux sources :

### I.4.2.1. Anthropique

Certaines études indiquent que des composés organiques volatils présents dans l'atmosphère sont dus à l'homme, car une partie d'entre eux est produite lors de la combustion de matériaux tels que le gaz, l'essence, le charbon et le bois, et l'autre partie peut être utilisée dans de nombreuses pratiques. Plus précisément, comme les solvants, dégraissants, nettoyeurs, dispersants, conservateurs, etc. Ces COV comprennent : l'acétone, le benzène, le toluène, l'éthylène glycol, le formaldéhyde et le dichlorométhane. (Piasentin, J. et Bergougn, A. 2023)

### I.4.2.2. Source naturelle

Parties des composés organiques volatils présents dans l'atmosphère sont d'origine naturelle, dans certaines publications, on les appelle composés organiques volatils biogéniques (COVB), la source des émissions de COVB comprend les éléments suivants :

- Les végétaux : arbres, arbustes, plantes herbacées.
- Les océans, qui relâchent par exemple les COV produits par le phytoplancton ou ceux issus de la matière organique dissoute.
- Les lacs et rivières.
- Les sols et sédiments.
- La matière organique décomposée par les microorganismes.
- Les réserves naturelles d'hydrocarbures. **(Piasentin J. et Bergougn A. 2023)**

Nous tenterons d'expliquer plus précisément comment ces émissions se produisent dans le prochain chapitre.

## I.5. Les substances les plus abondantes

Parmi les composés les plus couramment présents dans l'air, on peut citer par exemple :

### I.5.1. Benzène

Le benzène est un liquide aromatique volatil de formule chimique  $C_6H_6$ , qui est détecté par l'odorat à des concentrations comprises entre 1,5 et 4,7 parties par million, sa durée de vie dans l'atmosphère varie de quelques heures à quelques jours, selon les conditions environnementales, le climat et les niveaux de pollution. On le retrouve naturellement dans le pétrole brut et l'essence, où sa concentration ne dépasse pas 1 % en volume. Les principales sources d'émissions comprennent :

- Gaz d'échappement des véhicules.
- L'essence s'évapore pendant le stockage, le transport et la distribution.
- La combustion du bois et des combustibles fossiles contribue également à l'augmentation des concentrations de benzène dans l'atmosphère.

### I.5.2. Toluène

Le toluène est un liquide volatile dont la formule chimique est (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-CH<sub>3</sub>). Il n'est pas corrosif et possède une odeur aromatique distinctive, c'est l'un des hydrocarbures les plus courants dans la troposphère et sa décomposition est principalement due à sa réaction avec les radicaux hydroxyles, sa durée dans l'air varie de quelques jours en été à plusieurs mois en hiver.

### I.5.3. Xylène

C'est un composé chimique qui existe en trois isomères : méta, ortho et para le comme présente la figure 2, il se caractérise par sa facilité d'évaporation et de combustion, ainsi que par sa faible solubilité dans l'eau, le xylène se décompose dans l'atmosphère par photooxydation, et sa demi-vie est estimée entre 0,4 et 1 jour en présence de radicaux hydroxyles, tandis qu'elle peut dépasser 5 000 jours en réaction avec l'ozone. Le xylène n'est pas présent naturellement dans l'environnement, sauf sous forme d'incendies de forêt, ses principales sources humaines comprennent le raffinage du pétrole et l'utilisation de solvants. Il est également présent dans les émissions d'échappement des automobiles et est libéré dans l'air par évaporation lors du transport et de la consommation de l'essence de plus, le biogaz produit à partir de la décomposition des déchets industriels et municipaux peuvent contenir des traces de xylène. (Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 2004, p. 5 sur 26)

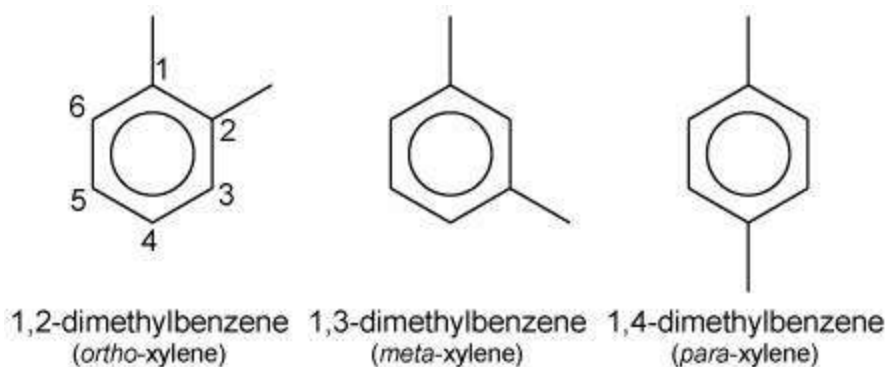


Figure 2 : structure chimique du xylène.

#### I.5.4. Formaldéhyde

Le formaldéhyde est un gaz incolore et inflammable avec une odeur piquante. Son nom chimique est ( $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$ ). Il est hautement réactif et polymérise facilement à température et pression ambiantes, il est soluble dans l'eau, l'éthanol et l'éther éthylique, le formaldéhyde se forme naturellement dans la troposphère par l'oxydation des hydrocarbures. C'est également un intermédiaire dans le cycle du méthane et l'un des composés volatils produits au cours des premières étapes de la décomposition des matières végétales dans le sol, quant au côté humain, comme la colle et les planches de bois. (**Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 2004, p. 7 sur 31**)

#### I.5.5. Terpène

Les terpènes ou terpénoïdes sont des composés produits à partir de sources naturelles et sont largement présents dans divers organismes, notamment les bactéries, les champignons, les animaux et les plantes. (**Simonsen H T, Peramuna A V., 2019**).

Sa formule moléculaire est basée sur la base isoprène, en tant que multiple de ( $\text{C}_5\text{H}_8$ ), où la valeur de n est déterminée par le nombre d'unités isoprène liées ensemble (**Mondal S., 2018**), ils sont classés en différentes catégories selon leur structure et le nombre d'unités isoprène qu'ils contiennent et le tableau IV cela montre.

**Tableau IV** : différentes classifications des terpènes selon leur nombre n.

Numéro de série	Nombre de carbones atomes	Valeur de n	Classe
1	10	2	<b>Monoterpenoids (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>)</b>
2	15	3	<b>Sesquiterpenoids (C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>)</b>
3	20	4	<b>Diterpenoids (C<sub>20</sub>H<sub>32</sub>)</b>
4	25	5	<b>Sesterpenoids (C<sub>25</sub>H<sub>40</sub>)</b>
5	30	6	<b>Troterpenoids (C<sub>30</sub>H<sub>48</sub>)</b>
6	40	8	<b>Tetraterpinoid (C<sub>40</sub>H<sub>46</sub>)</b>
7	>40	>8	<b>Polyterpinoids (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>) n</b>

### I.5.6. Isoprène

L'isoprène est un liquide incolore et volatil (AIRFOBEP, 2005). Sa formule chimique est  $C_5H_8$  (Malecky M., s.d.). C'est l'un des terpènes naturels les plus abondants libérés par les feuilles des arbres forestiers, l'isoprène appartient à la famille des terpènes, un groupe d'hydrocarbures insaturés hautement volatils produits naturellement par divers types de plantes, les conifères, en particulier, produisent de grandes quantités de ces molécules. La présence d'isoprène dans l'environnement est principalement liée à ses émissions par les plantes, ainsi qu'à la production d'éthylène via le processus de séparation des vapeurs de naphta. (AIRFOBEP, 2005).

### I.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes concentrés sur le concept des composés organiques volatils et leurs caractéristiques, en plus de leur toxicité pour l'environnement et l'homme, nous avons également abordé leurs classifications, car elles sont classées selon leur structure chimique ou leur origine, qu'elle soit naturelle ou industrielle. Enfin, nous nous sommes attachés à donner un aperçu des substances les plus Abondantes dans l'air.



***Chapitre II : Origines des émissions des COV***

## II. Introduction

Les composés organiques volatils (COV) sont émis par de nombreuses sources et existent sous deux formes : les COV primaires, qui n'ont subi aucune transformation photochimique et sont émis directement dans l'atmosphère, et les COV secondaires, qui sont produits par des processus physiques et chimiques dans l'atmosphère (**Dufresne M ., 2022**) à partir d'un COV primaire (**Cai M ., 2021**). Parmi les sources primaires, on distingue les sources anthropiques associées aux activités humaines et les sources biogéniques associées aux activités naturelles (**Dufresne M ., 2022**).

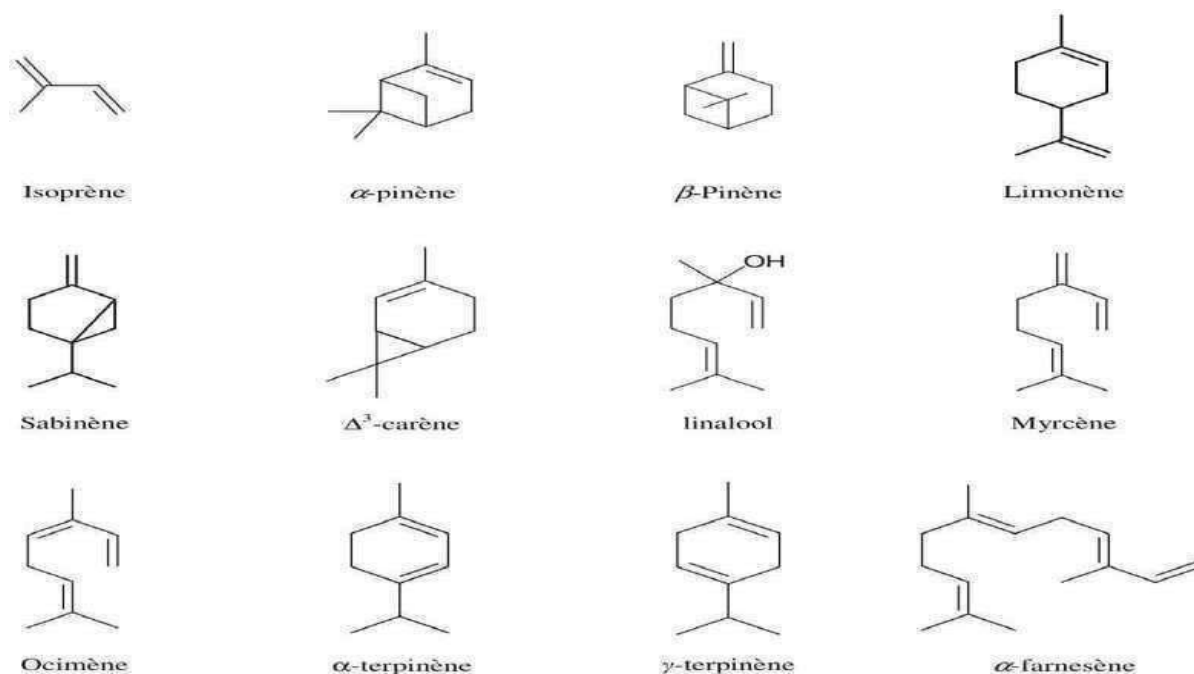
### II.1. Sources naturelle

À l'échelle mondiale, les émissions naturelles, tant marines que terrestres, représentent environ 90 % des émissions de COV, en particulier celles provenant des plantes, les émissions annuelles totales sont estimées à environ 1 300 téragrammes de carbone, dont environ un tiers est de l'isoprène, (**Simon L ., 2023**). Egalement appelés composés organiques volatils biogéniques (COV), comme mentionné au chapitre 1, les émissions provenant de sources naturelles sont plus courantes que celles provenant des activités humaines.

#### II.1.1. Sources biogéniques

Les sources biogéniques sont réparties sur les sources humaines partout dans le monde, et ces émissions biogéniques proviennent de l'activité de toutes les plantes, avec la concentration de leurs émissions estimée comme suit : 71 % proviennent des émissions des arbres, 17 % des arbustes, 10 % des cultures et 0,4 % d'origine océanique (**Bernard F., 2009**) ainsi que des feux de biomasse naturelle. Les composés organiques volatils biogéniques (COVB) libérés par les plantes jouent un rôle important dans la chimie atmosphérique aux niveaux local, régional et mondial, l'émission de ces composés dépend de la température, de l'intensité du rayonnement solaire, de l'humidité et d'autres paramètres physiques et atmosphériques. (**Bernard F., 2009**) Les composés émis par ces sources biogéniques sont principalement des « terpénoïdes » qui comprennent des hydrocarbures insaturés, cycliques ou acycliques et des composés oxydés. Parmi ces composés comme le montre le figure , l'isoprène est le composé dominant, représentant à lui seul plus de la moitié des émissions biogéniques, ce qui en fait un bon indicateur de ces sources, après l'isoprène viennent les monoterpènes, qui représentent entre 10 et 15 % des émissions biogéniques (**Kalogridi, Athina- Cerise ,2014**) les monoterpènes sont en fait des combinaisons de deux molécules

d'isoprène. Mais les monoterpènes principalement émis sont l'alpha-pinène, le bêta-pinène et le limonène. Enfin, les sesquiterpènes, qui sont des combinaisons de plus de deux molécules d'isopropyle, sont des composés hautement réactifs qui sont émis en plus petites quantités que les monoterpènes et représentent environ 5 % des émissions biogéniques. (Kalogridi, Athina-Cerise .2014).



**Figure 3** :les terpènes et leurs dérivés sont quelques exemples de COV. (Kalalian C., 2018)

D'autres composés peuvent également être émis par les plantes, Ces composés représentent 20% des émissions biogéniques (Dufresne M., 2022), regroupent familles : les alcanes, les alcènes, les composés Oxygénés (COVO) tels que les carbonyles, les alcools, les esters, les éthers et les acides (Méthanol, l'éthanol, le méthylbutenol (MBO), le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, l'acétone...). (Kalalian C., 2018).

Les composés organiques volatils biogènes (COVB) sont généralement des composés plus réactifs et ont donc une courte durée de conservation, ils présentent également d'importantes sources primaires d'ozone (O1) et d'aérosols organiques secondaires (Dufresne M., 2022) parmi les différentes émissions biologiques, on peut citer par exemple :

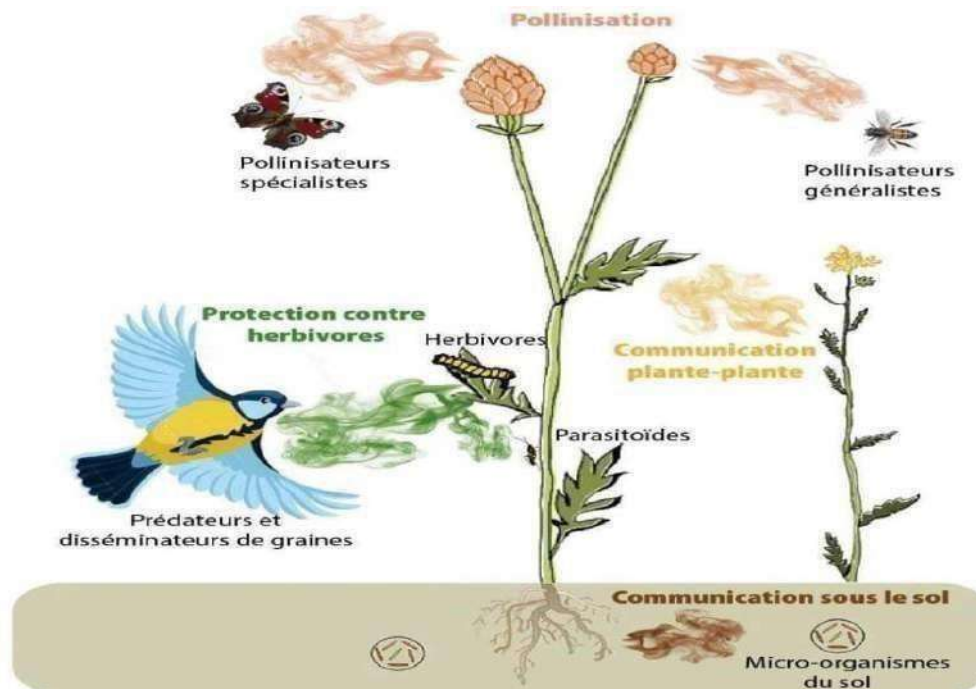
### II.1.1.1. Composés organiques volatils émis par les plantes

L'émission des composés organiques volatils provenant de la végétation est bien connue, largement répandue et reflète une variété de processus. Une partie de la production est due à la réponse adaptative des plantes suite aux transformations biotiques et abiotiques de leur environnement et du milieu dans lequel elles vivent. Grâce à cela, la plante libère des molécules organiques volatils pour coordonner et organiser ses fonctions physiologiques face aux changements climatiques qui se produisent. À titre d'exemple, il a été démontré que les températures élevées conduisent au stockage de l'isoprène dans les feuilles du chêne *Quercus alba*, ce qui réduit l'émission foliaire de ces derniers.

Cependant, l'augmentation de la concentration foliaire en terpènes, comme l'isoprène, conduit à une meilleure protection de la plante contre les dommages causés par les températures élevées. Les plantes émettent également des composés organiques volatils pour créer une relation de communication entre elles ou avec d'autres organismes. (Potard K., 2017)

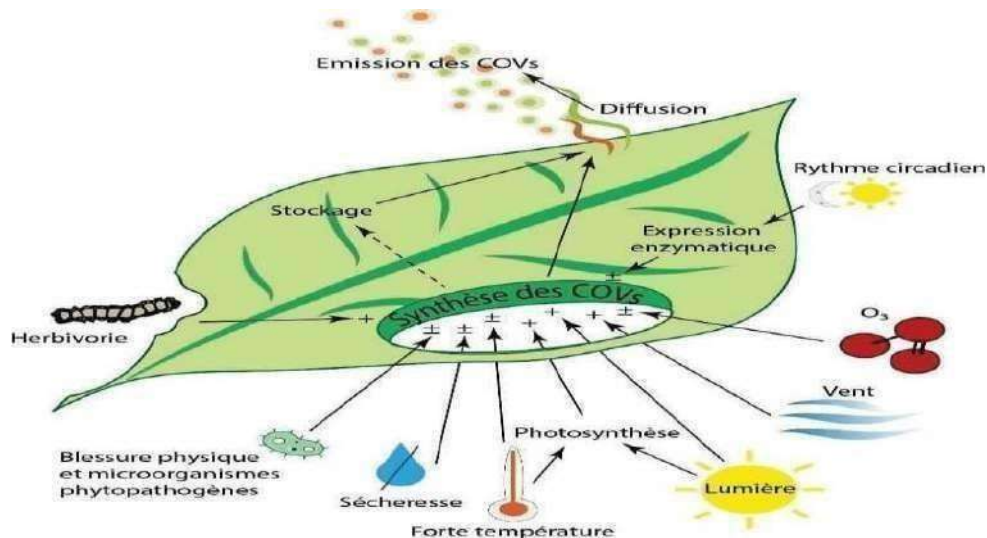
Ainsi, les composés organiques volatils qu'ils produisent attirent les insectes pollinisateurs, dont l'orchidée *Ophrys sphegodes* en est un exemple illustratif. Les alcanes et les alcènes émettent des odeurs spécifiques pour attirer les hyménoptères mâles, *Andrena nigroaenea* pour augmenter le processus de faux accouplement, comme méthode de pollinisation pour cette plante. Inversement, Les plantes produisent des composés organiques volatils, également appelés composés volatils verts, pour repousser et se défendre contre les insectes phytophages en attirant les prédateurs. L'ensemble des processus d'exportation des composés organiques volatils des plantes représente environ 10 % du carbone fixé par la photosynthèse. Les plantes libèrent des composés organiques volatils par leurs parties aériennes, et leurs systèmes racinaires produisent également ces types de molécules. Les plantes du sol communiquent entre elles ou avec d'autres organismes par le biais d'émissions de composés organiques volatils provenant des racines, notamment dans des conditions de stress, par exemple : certaines plantes peuvent libérer des composés organiques volatils par leurs racines qui inhibent la croissance des plantes voisines, comme l'*échinacée*, qui produit des composés organiques volatils radicaux ayant un effet allelopathique sur de nombreuses espèces végétales. Les plantes peuvent communiquer avec les micro-organismes du sol pour stimuler la croissance de ceux qu'elles soutiennent ou pour inhiber la croissance des agents pathogènes, par exemple, il a été démontré que les COV radicaux exercent un effet

antimicrobien qui inhibe la croissance des agents pathogènes. (Potard K., 2017) La figure 4 quelque de relation entre le plante et autres espèce et le rôle de COV de chaque relation.



**Figure 4** : relation entre la plante et son environnement et les manières COV. (Dubuisson C., 2022)

La concentration de COV dans les plantes varie en fonction de leur volatilité, de leur pression de vapeur, de leur résistance à la diffusion dans l'atmosphère et surtout de leur émission, leur système de régulation repose sur deux critères : internes (génétiques ou biochimiques), et des facteurs externes, qui peuvent être d'origine biologique (appelés facteurs biotiques), comme les attaques d'herbivores ou de parasites. Ou bien des facteurs physiques et chimiques (appelés aussi facteurs abiotiques) comme les températures extrêmes, l'humus, la sécheresse et la pollution environnementale, entraînent des variations dans l'émission de COV existants, ce qui peut provoquer un problème dans les signaux chimiques autour de la plante, entraînant un problème dans la réponse des insectes, compris ou non (Figure 5) . (Dubuisson, C., 2022)



**Figure 5 :** Facteurs influençant l'émission et la diffusion des COVs par la plante. (Dubuisson C., 2022)

### II.1.2. Source microbienne

Les composés organiques volatils microbiens (COVm) sont l'un des types de métabolites produits au cours de la croissance microbienne par le métabolisme primaire, en raison de la génération d'acides gras, d'acides aminés, d'acide citrique et de métabolites secondaires à partir d'intermédiaires et de sous produits obtenus par le métabolisme primaire. De nombreux facteurs influencent la production des COV microbiens tels que les espèces microbiennes, le stade de croissance, la température, l'humidité, le pH et les nutriments. Ces composés comprennent une large gamme d'alcools, d'aldéhydes, de cétones, de composés soufrés et azotés, d'esters et de terpènes (Tabbal S *et al*, 2024), composés azotés et soufrés produits par de nombreux organismes, notamment les champignons.

Leur émission permet la communication entre différentes espèces fongiques telles que les moisissures qui se développent en présence de nutriments, d'humidité et de température appropriée, l'émission de COV hétérogènes peut varier en fonction de l'espèce de moisissure, du substrat de croissance, de la température et de certains facteurs environnementaux.

Il peut être d'une grande importance en raison de ses propriétés telles que l'odeur et la volatilité où indicateur qui permet de suspecter la présence d'une infection fongique est la présence de l'odeur caractéristique des composés organiques moyennement volatils, cette

odeur peut aider à détecter la moisissure dans les environnements intérieurs et les bâtiments insalubres, une légère odeur de moisi peut être perçue lorsque les concentrations de COV en

suspension dans l'air varient de 50 à 1720 ng/m<sup>3</sup>, tandis qu'une forte odeur de Moisi peut être perçue lorsque les concentrations sont présentes entre 160 et 12 300 ng/m<sup>3</sup>. (Tabbal, Sarah.2023)

## **II.2. Source anthropique**

Les émissions des composés organiques volatils provenant des sources humaines sont faibles à l'échelle mondiale par rapport à celles provenant de sources naturelles, mais elles sont encore répandues localement dans les zones urbaines. Elles sont divisées en trois types d'émissions : les émissions provenant des transports routier et non routier, les émissions provenant des activités industrielles et les émissions provenant des activités domestiques. (Dufresne M., 2022)

### **II.2.1. Activités industrielles et domestique**

Parmi les principales activités responsables de l'émission des composés organiques volatils sont produits lors l'activité industrielle et domestique, notamment lors de l'utilisation des solvants, notamment lors de l'application de peintures ou de dégraissage et de nettoyage, en plus des processus de production (industries chimiques organiques et pétrolières) et combustion (fabrication, conversion d'énergie et chauffage domestique). Parmi les principales activités émettrices de COV, on trouve :

#### **II.2.1.1. Utilisation de solvants :**

L'utilisation de solvants est la principale source de COV dans le secteur industriel, en outre, le secteur résidentiel est également responsable de la plupart des émissions résultant de l'utilisation de solvants. Il existe environ un millier de solvants différents, dont une centaine est couramment utilisés. On distingue huit groupes, à savoir : les hydrocarbures aromatiques, les solvants pétroliers, les alcools, les cétones, les esters, les éthers, les éthers de glycol et les hydrocarbures halogénés. Certains solvants ont de nombreuses applications : ils peuvent être utilisés en fonction de leurs propriétés. Ils peuvent être utilisés en fonction de leurs propriétés, ils sont utilisés comme dégraissants (nettoyage des métaux, textiles, etc) ou détergents (parfums, médicaments). Ou des matériaux auxiliaires et diluants tels que des peintures, encres, adhésifs, pesticides) ou décapants (peinture, adhésifs, etc.) mais couramment utilisé

dans l'industrie de la peinture revêtements, lorsqu'ils sont utilisés, les solvants sont brûlés (récupération d'énergie) ou recyclés.

#### **II.2.1.2. Technique de production :**

L'industrie pétrolière joue un rôle majeur dans les émissions des COV provenant des raffineries, du réseau de distribution, du transport, du stockage et de la distribution dans les stations-service. L'évaporation du carburant à la pompe, en plus des stations-service, contribue également aux émissions des COV. En ce qui concerne l'industrie de la chimie organique, les composés organiques volatils émis varient en raison de la variété des produits et des procédés de construction utilisés, les émissions se produisent en raison du processus de réaction, de l'oxydation de l'air, de la distillation, d'autres processus de séparation ou de fuites pendant le stockage et le transport du produit (chargement/déchargement), les COV sont également émis par d'autres secteurs industriels, comme l'industrie alimentaire ou l'industrie du bois. Par exemple, dans l'industrie alimentaire, les COV sont émis lors de la production de boissons alcoolisées, de la boulangerie, de l'extraction d'huiles végétales et de graisses animales, ainsi que lors de la friture (frites, chips, etc.), de la préparation de plats cuisinés, etc.

#### **II.2.1.3. Autres activités :**

D'autres activités peuvent libérer des COV en plus petites quantités, notamment le traitement et l'élimination des déchets et l'agriculture. Des composés organiques volatils sont émis par la plupart des sites de traitement et d'élimination des déchets, qu'il s'agisse d'incinérateurs, d'usines de compostage, d'usines de transformation des déchets en méthane liquide ou de centres de stockage, mais les quantités émises sont généralement très faibles, parmi ces installations, on trouve par exemple des décharges qui émettent de grandes quantités d'émissions de véhicules.

En agriculture, les COV sont émis lors de la combustion des déchets agricoles, notamment de la paille et des résidus de récolte, de l'utilisation de solvants organiques dans la préparation des pesticides et de la décomposition anaérobie des aliments du bétail et des déchets animaux. **(Grange, D. 2007)**

## II.2.2. Transports et combustibles

Les émissions des COV du secteur des transports sont principalement dues à l'utilisation de carburant provient principalement du trafic routier. (Grange, D. 2007)

### II.2.2.1. Trafic routier

Les émissions peuvent provenir des sources mobiles (gaz d'échappement et évaporation des véhicules) et stationnaires (distribution de carburant), en cas de combustion incomplète du carburant, du monoxyde de carbone (CO) est produit, ainsi que certains composés non brûlés, constitués d'alcanes, des composés aromatiques et partiellement oxydés (tel que les carbonyles), parmi les composés organiques volatils produits par les réactions de combustion, tels que les alcènes ou les alcynes, les émissions issues de la combustion varient en fonction du type de moteur, du mode de conduite et du type de carburant utilisé. Le trafic émet de manière significative des composés tels que l'éthylène, le propylène et l'acétylène, isopentane, pentane, toluène, xylène. Les émissions dues au trafic sont répandues dans les zones urbaines car elles sont associées aux activités quotidiennes des personnes. (Dufresne M., 2022)

### II.2.2.2. Trafic maritime

Ce secteur émet de nombreux polluants, notamment des composés organiques volatils, les émissions du trafic maritime dépendent de l'atmosphère et la plupart des polluants sont émis près des côtes, polluant ainsi considérablement l'air environnant. Le bassin méditerranéen est une zone particulièrement touchée par le trafic maritime en raison de la présence de nombreuses villes côtières qui l'entourent. (Dufresne M., 2022)

### II.2.2.3. Les émissions comptabilisées en fonction du type de carburant

Ils sont présentés comme suit :

**a. Benzène:** Des composés aromatiques sont émis, notamment du toluène, la combustion incomplète du benzène peut donner des alcènes et des alcanes. Les composés oxydants émis par ce type de moteur sont souvent des aldéhydes, le formaldéhyde représente 1,7 % du total des composés organiques volatils non méthaniques émis par ce type de véhicule.

**b. Diesel (véhicules légers) :** on estime que les COVO représentent environ 35 % du total des COVNM émis par ce type de moteur, du formaldéhyde est émis, suivi d'acétaldéhyde,

à 12 % et 6,5%, progressivement. Les COVO restants sont des aldéhydes contenant environ 3 à 7 atomes de carbone et 2 cétones : l'acétone (3 %) et la 2-butanone (1,2 %).

**c. Diesel (véhicules lourds) :** Les composés organiques volatils (COV) émis sont souvent des aldéhydes, dont les plus courants et les plus importants sont le formaldéhyde (8,5 %) et l'acétaldéhyde (4,6 %). On estime que l'acroléine, le 1-propanal, le benzaldéhyde, le croton aldéhyde et le 1-hexanal ne représentent que 1 % du total des COV non méthaniques émis par ce type de véhicule.

**d. Le carburant E85,** qui est un carburant composé à 85 % d'éthanol et à 15 % d'essence sans plomb à indice d'octane 95, est principalement destiné aux moteurs à essence, les études sur l'impact de ce carburant sur la qualité de l'air ont été fragmentées, ce carburant permet de réduire les émissions de benzène et de 1,3- butanedione, mais il augmente les émissions d'autres composés tels que l'acétaldéhyde et le formaldéhyde. **(Roukos J., 2010)**

### **II.3. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons classé les sources d'émission des COV en deux catégories : naturelles et anthropiques, nous avons commencé par la partie naturelle, en donnant une définition générale, puis expliqué que ses sources sont diverses (végétales, environnementales, microbiennes). Nous avons apporté une compréhension de chacun d'entre eux. Nous sommes ensuite passés à la partie industrielle, où nous avons présenté un concept général et expliqué ses sources qui incluent l'industrie et le domestique, pour atteindre les moyens de transport et le carburant.

A decorative graphic of a scroll with a blue outline and grey rollers at the top and bottom corners. The text is centered within the scroll.

***Chapitre III : Impacts des COV sur  
l'environnement et sur la santé***

### **III. Introduction**

Les composés organiques volatils (COV) sont reconnus comme l'un des polluants atmosphériques les plus importants, l'étendue et la nature de leurs effets sur la santé dépendent de nombreux facteurs, notamment du niveau et de la durée de l'exposition, le spectacle affecte directement la santé humaine et indirectement l'environnement. (**Abou Serhal C., 2018**), à travers ce qui suit, nous allons clarifier certains des effets qui en découlent, que ce soit sur l'environnement ou sur la santé humaine.

#### **III.1. Effets sur l'environnement**

##### **III.1.1. La formation de l'ozone troposphérique**

L'ozone est une molécule gazeuse essentielle à la vie sur terre, mais ses effets varient selon l'altitude. Dans la stratosphère (entre 10 et 60 km d'altitude), il forme une couche protectrice qui filtre les rayons ultraviolets dangereux, dans la troposphère (de 0 à 10 km, là où vivent les êtres vivants). L'ozone agit comme un gaz à effet de serre qui est un polluant nocif pour la santé, provoquant environ 15 000 décès par an en Europe (**GREC-SUD et Air Paca, 2024**). C'est un polluant secondaire, formé par des réactions chimiques dans l'atmosphère à partir de précurseurs (comme les oxydes d'azote NO<sub>x</sub> et les composés organiques volatils COV) sous l'effet de la lumière, c'est pourquoi sa concentration est plus élevée le jour, surtout au printemps et en été lorsque l'ensoleillement et les températures sont plus importants, le climat méditerranéen, avec son fort ensoleillement et ses températures élevées, favorise donc sa formation (**Airparif., 2022**). L'ozone se forme à la suite de l'apport des composés organiques volatils, mais cet apport n'est pas le même, car il varie d'un composé à l'autre en fonction de sa capacité à réagir avec les radicaux libres, autrement dit, les hydrocarbures très peu réactifs tels que le méthane, le méthanol, l'éthane et certains hydrocarbures chlorés n'interfèrent pas dans ce processus. Bien qu'il y en ait d'autres, comme les alcènes (éthylène, propylène, etc.), ou certains alcanes, et les composés aromatiques contribuent de manière significative à la formation d'ozone.

De plus, selon le tableau V, les espèces présentant le taux de formation d'O<sub>3</sub> le plus élevé sont les alcènes, les TEX (toluène, éthylbenzène et xylènes), les terpénoïdes et les aldéhydes. Ces espèces sont considérées comme étant les molécules les plus réactives, à la fois photochimiquement et photolytiquement (cas du formaldéhyde).

Tableau V : taux de formation de l'ozone (O<sub>3</sub>) à partir des COV.

		Capacité de former de l'O <sub>2</sub>	
		PCOP ( $\alpha$ )	MIR( $\beta$ ) (gmO <sub>3</sub> /gmVOC)
Alcanes	Ethan	35.9	0.26
	Propane	10	0.46
	n-butane	17.4	1.08
	Isobutane	28.4	1.17
	2,2-dimethylbutane	33.6	1.11
	Isopentane	22.9	1.36
	n-undécane	36.3	0.55
	n-dodécane	34.7	0.63
Alcènes	Ethène	100	8.76
	Propène	111.6	11.37
	Isopropylène	64.1	5.03

	Isoprène	107.5	10.28
<b>Alcynes</b>	Ethyne	8.5	1.12
<b>Aromatiques</b>	Benzène	13.9	0.69
	Toluène	51	3.88
	Ethylbenzène	5.4	2.93
	m-xylène	95.1	9.52
	p-xylène	8.6	5.69
	Isopropylbenzène	39.1	2.33
<b>monoterpènes</b>	$\alpha$ -pinène	65.4	4.38
<b>Aldéhydes et Cétones</b>	Formaldéhyde (photolysé en Sn)	47	9.34
	Acétaldéhyde	58.9	6.34
	Acétone	7	0.85

Les composés organiques volatiles influencent considérablement sur le cycle de l'ozone dans la troposphère. Lorsqu'ils sont exposés au rayonnement solaire, ces composés libèrent

des espèces oxydantes qui perturbent le cycle naturel de Chapman, qui contrôle l'équilibre de l'ozone et du dioxyde d'azote. Les radicaux libres résultant de l'oxydation des composés organiques réduisent la consommation de monoxyde d'azote par l'ozone, conduisant à l'accumulation d'ozone dans l'atmosphère. (Tannous M., 2023)

### **III.1.2. La formation du smog photochimique**

Les COV sont les composants essentiels à la formation du « smog » qui est la contraction des mots anglais « smoke » et « fog » signifiant respectivement « fumée » et « brouillard ». Il correspond à un nuage de pollution atmosphérique qui résulte de la condensation de l'eau de la troposphère sur laquelle se fixe les particules de polluants en présence d'O<sub>3</sub>, de NO<sub>x</sub> et parfois de SO<sub>x</sub> (Bouguelmouna T., 2022). Nous observons depuis longtemps que la combinaison des COV, des NO<sub>x</sub> et de l'énergie solaire au même endroit contribue au développement du smog photochimique, qui entraîne la formation d'ozone ainsi que de divers composés hydrocarbonés oxydés et nitrés, le phénomène du smog photochimique semble être répandu non seulement dans les zones urbaines mais aussi dans les zones rurales, en raison de polluants primaires ou précurseurs (NO<sub>x</sub> et COV) provenant des mêmes zones (forêts, élevage et agriculture), les polluants primaires réagissent sous l'influence du rayonnement ultraviolet solaire et conduisent à la formation de polluants secondaires, dont le dioxyde d'azote, en effet, ces corps, également appelés matières premières, peuvent être transportés et traités en fonction des conditions climatiques et subissent même temps des transformations chimiques et physiques, cela forme une classe de corps appelés « oxydants photochimiques », qui sont essentiellement de l'ozone (Ghandour H., 1997), l'épisode de smog le plus connu s'est produit en décembre 1952 à Londres, l'usage d'un charbon de mauvaise qualité avait produit de grandes quantités de fumées riches en NO<sub>x</sub> créant ainsi un nuage de pollution au-dessus de la ville qui, combiné à un anticyclone, s'est maintenu durant 5 jours et a provoqué plus de 4000 morts. (Bouguelmouna T., 2022)

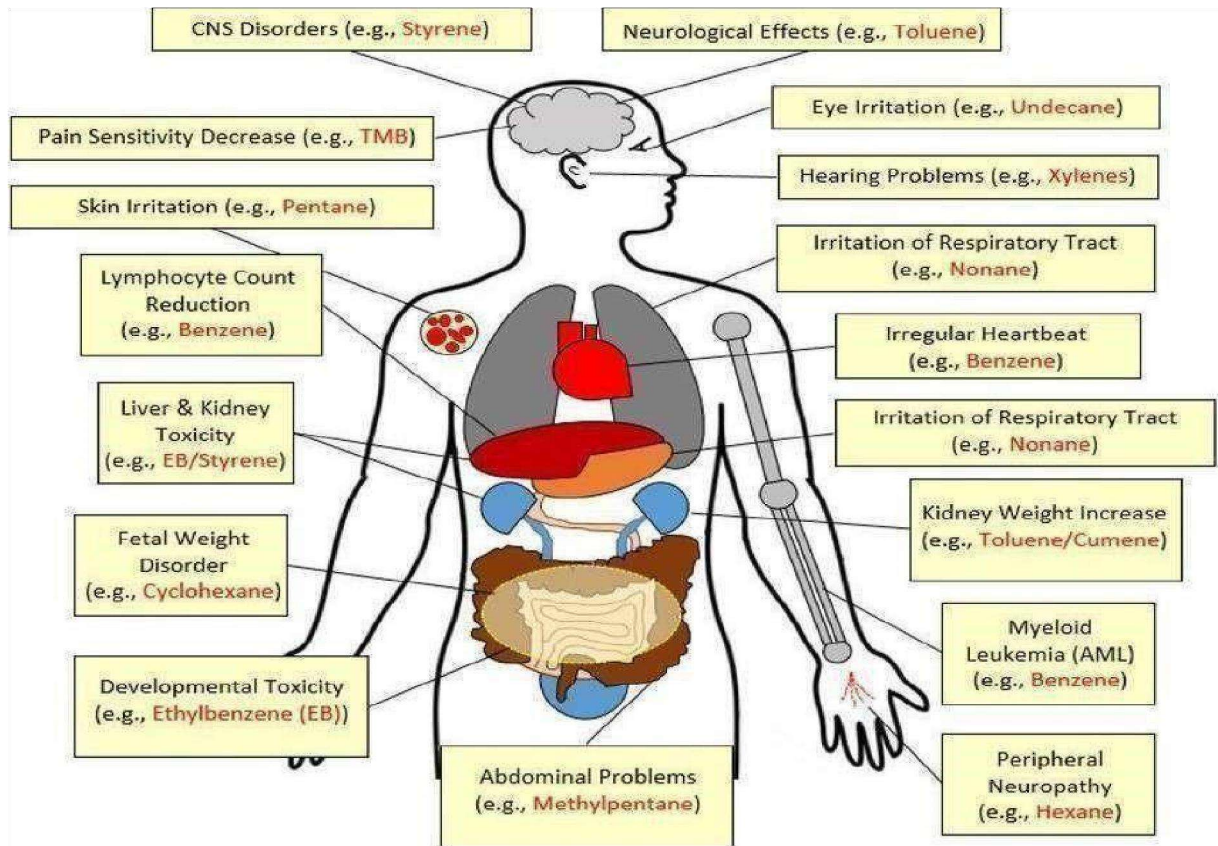
### **III.1.3. Effets sur le climat**

Les COV ont des effets sur le climat en raison de l'effet radiatif qu'ont ces polluants secondaires, à l'échelle globale les COV biogéniques étant grandement majoritaire ce sont l'impact de ces composés sur le climat ainsi que l'impact du changement climatique sur ces composés qui sont majoritairement étudiés, de par leurs réactivités, une augmentation des émissions de ces composés impacte fortement les concentrations en O<sub>3</sub> et AOS.

Les émissions de composés organiques volatils conduisent à l'accumulation d'ozone troposphérique qui, en plus d'être un gaz à effet de serre, nuit aux feuilles des plantes en réduisant la photosynthèse, les rendant moins efficaces, en plus d'une capture moins efficace du dioxyde de carbone, ce qui affecte positivement le pouvoir radiatif et donc Cet effet positif conduit au réchauffement climatique, qui à son tour entraîne une plus grande émission de composés organiques volatils biogéniques. **(Dufresne M., 2022)**

### **III. 2. Effets sur la santé humaine**

En 1926, le premier article sur les effets cliniques de l'exposition aux composés organiques volatils a été discuté. Depuis lors, de nombreuses études toxicologiques ont été menées pour déterminer les effets de ces molécules sur la santé humaine, là où l'on se concentre sur la structure de la molécule, ainsi que sur sa réactivité. Pour cette raison, les effets toxiques sont nombreux et affectent la plupart des fonctions de l'organisme, que ce soit lors d'une exposition aiguë ou chronique (Méausoone C., 2019) mais cela ne concerne pas tous les composés, car il existe des composés qui n'ont pas encore été étudiés et dont les effets n'ont pas été identifiés comme le montre la figure 6 centres d'effets des composés organiques volatils dans divers organes du corps.



**Figure 6 :** certains composés organiques volatils(COV) et leurs effets sur le corps. (Rajabi *et al.*, 2020)

Les composés organiques volatils les plus importants qui ont été étudiés en premier lieu et mis en évidence en raison de leurs effets significatifs sur la santé humaine sont le benzène, l'éthylbenzène, le toluène, le xylène, le styrène, le trichloréthylène, le tétrachloréthylène et le formaldéhyde. (Grange D *et al.*, 2007)

Tableau VI : Principaux effets des COV sur la santé humaine BTEX. (Azalim S., 2011)

Troubles	COV concernés
Maux de tête	La plupart des COV
Irritations cutanées	Hydrocarbures halogénés ou aromatiques
Irritation des yeux	BTEX*, noyaux benzéniques substitués, aldéhydes
Irritation des organes respiratoires	Hydrocarbures aromatiques, disocyanates
Troubles cardiaques	Toluène, chloroforme, méthylchloroforme
Troubles digestifs	Benzène, toluène, hydrocarbures halogénés
Troubles rénaux	BTEX*, cumène, hydrocarbures halogénés
Troubles du système nerveux	Hydrocarbures aromatiques et halogénés
Actions cancérogènes et mutagènes	BTEX*, styrène, alcènes, hydrocarbure halogénés, formaldéhyde

### III.2.1. L'évolution des COV dans l'organisme

#### III.2.1.1. L'adsorption

Qui est la première étape, correspond au processus de pénétration de molécules étrangères dans l'organisme, le risque dépend de la substance toxique et de la voie d'exposition, la substance toxique pénètre dans l'organisme principalement par trois voies principales : la voie pulmonaire, la voie digestive et la voie cutanée. (Méausoone C., 2019) Les taux d'absorption varient d'un composé à l'autre, par exemple environ 50 % pour le benzène et le toluène, entre 62 et 64 % pour les xylènes et entre 49 et 64 % pour l'éthylbenzène. De plus, les COV sont généralement absorbés rapidement, par exemple 10 à 15 minutes après le début de l'exposition, le tableau montre le taux d'absorption et les organes ciblent de certains composés organiques volatils. (Grange D., 2007)

Tableau VII : Taux d'absorption et organes cible pour les principaux COV. (Grange D., 2007)

COV	Voies D'exposition	Taux d'absorption		Organes cibles	
		Homme	Animal	Principal	Secondaire
<b>Benzène</b>	Inhalation	50%	Non determine	Système Hématopoïétique	système nerveux central et système immunitaire
	Ingestion	Non determine	97%	système hématopoïétique	système immunitaire
<b>Toluène</b>	Inhalation	50%	Non determine	Non determine	
	Ingestion	100%	Non determine	système nerveux central.	Foie, rein, fœtus, lait, maternel
<b>Xylènes</b>	Inhalation	62-64%	Non determine	Système nerveux central, foie, sang, poumons	Peau, rate, rein
	Ingestion	Non determine	Non determine	Aucun	
<b>Éthylbenzène</b>	Inhalation	49-64%	44%	Foie, rein	Système hématopoïétique
	Ingestion	Non determine	Non determine	Non determine	

**III.2.1.2. Distribution**

Après l'absorption et la pénétration des cellules épithéliales de la peau et atteinte de la circulation sanguine, les molécules sont transportées dans tout le corps et distribuées à de nombreux organes et tissus cibles, c'est ce qu'on appelle (la phase de distribution tissulaire), les phases d'absorption et de distribution partagent les propriétés physiques et chimiques des cellules granulaires (masse moléculaire, réactivité, volatilité, solubilité, etc.) et la nature de la barrière à franchir affecte les mécanismes de diffusion moléculaire. Les membranes cellulaires, composées d'une bicouche de phospholipides et de protéines, sont sélectivement perméables, autrement dit, les molécules de faible masse molaire ou les molécules liposolubles pénètrent passivement dans les membranes cellulaires et s'accumulent dans la phase lipidique de la cellule, à l'inverse, les molécules hydrophiles sont retenues en aval des pores de la membrane, de même, pour les toxines, lipophiles qui sont absorbées par inhalation ou par la peau sont d'abord distribués dans tout le corps avant d'atteindre les organes hépatiques, tandis que si elles sont ingérées, ces toxines atteignent directement le foie. (Méausoone C., 2019)

**III.2.1.3. Elimination**

Pour éliminer les substances étrangères des cellules, le corps utilise deux méthodes différentes : la première est l'utilisation immédiate de transporteurs membranaires, dont la tâche est d'éliminer les toxines de la cellule. alors que le second sert à l'utilisation de la phase de transformation métabolique.

Il s'agit d'un système de détoxification enzymatique qui modifie les molécules lipophiles en molécules plus hydrophiles en stimulant les enzymes métabolisant les xénobiotiques (XME), l'induction enzymatique est une augmentation de la synthèse de ces EMX, initiée par la présence de substances étrangères. Chez les vertébrés, les EMX sont présents dans tout le corps, mais en concentrations élevées dans le foie. Deux étapes de réactions métaboliques sont décrites : la première a une activité fonctionnelle sur des substances étrangères par des réactions d'oxydation, de réduction ou d'hydrolyse, parmi les principales enzymes impliquées dans cette étape figurent le cytochrome P450 mono oxygénase (CYP450), l'alcool déshydrogénase (ADH) ou l'aldéhyde déshydrogénase (ALDH). Ensuite, les enzymes de phase II, telles que la glutathion S-transférase (GST) ou les NAD(P) H-quinone oxydoréductases, fixent les métabolites fonctionnels aux substrats hydrophiles pour faciliter

leur élimination, bien que l'objectif du métabolisme soit d'augmenter l'hydrophilie des substances toxiques en vue de leur élimination, la biotransformation de première étape crée souvent des composés plus réactifs et toxiques que les molécules initiales. (Méausoone C., 2019)

#### **III.2.1.4. L'excrétion**

Est l'étape finale du devenir des composés organiques volatils dans l'organisme, correspondant à l'élimination de la molécule inchangée ou de ses métabolites de l'organisme par des protéines de transport ou d'efflux (P-glycoprotéine ou protéines associées à la multi-résistance aux médicaments (MRP)). Cette étape est très importante pour déterminer la toxicité des substances, ce qui signifie que plus vite elles sont éliminées, moins elles ont d'impact sur les cellules, l'excrétion se fait principalement par voie rénale. Le corps utilise également les systèmes digestifs, pulmonaire et cutané. Les COV sont éliminés par diverses méthodes, ces composés sont d'abord excrétés sans aucune modification métabolique préalable, soit dans l'air expiré, soit dans les urines.

Cependant, ces deux voies d'excrétion des COV non modifiés représentent un faible pourcentage de l'excrétion totale, le processus d'élimination des matières organiques s'effectue plutôt principalement par l'excrétion de métabolites urinaires obtenus au cours de la phase métabolique. Ces métabolites, qui ne sont pas aussi volatils que leurs composés parents, sont régulièrement utilisés comme biomarqueurs d'exposition car ils ont l'avantage d'une demi-vie plus longue que les composés présents dans le sang ou l'air ont expiré, mais ne sont pas suffisamment persistants pour relier leur présence à des expositions particulières (Méausoone C., 2019)

### **III.2.2. Maladies causées par des composés organiques volatils**

#### **III.2.2.1. Les maladies aiguës**

La toxicité aiguë peut entraîner la mort immédiate ou des signes cliniques graves dans un court laps de temps après l'absorption d'une dose importante de la substance toxique. Cela peut se produire après une seule exposition ou après plusieurs expositions. (Pinasseau M., 2016) par exemples :

A. Irritations des voies respiratoires des yeux et de la peau

Les composés organiques volatils sont parmi les responsables les plus probables de l'irritation des muqueuses des yeux, comme la sécheresse oculaire, ainsi que la sécheresse de la peau et de la gorge. (Wolkoff et Kjærsgaard .2007). La plupart des COV sont considérés comme irritants, une relation dose-effet a été rapportée dans ce cas. L'irritation oculaire associée à des expositions surveillées à des mélanges de composés organiques. Parmi les composés organiques volatils qui provoquent de l'inconfort, on trouve le formaldéhyde. Alors que Les yeux, le nez et la gorge sont sensibles même à de très faibles concentrations, comme il a été noté dans l'une des études a été enregistrée Légère oculaire à partir de 1 ppm et irritation respiratoire à partir de 2 ppm, le formaldéhyde peut également provoquer une irritation nasale, des démangeaisons et des éternuements. L'exposition continue au formaldéhyde entraîne : Irritation accrue des yeux, de la gorge et de la peau, l'effet principal des vapeurs d'éthylbenzène est l'irritation des yeux, du nez, des voies respiratoires et des muqueuses à des concentrations estimées à environ 200 parties par million, L'exposition à un mélange de xylène provoque également une irritation de la gorge et du nez ainsi qu'une légère irritation des yeux, en plus d'une irritation cutanée temporaire, d'une sécheresse et d'une desquamation. (Grange D., 2007)

### **III.2.2.2. Les malades chroniques**

Il s'agit d'une toxicité à long terme qui représente les effets de l'exposition d'individus à de petites quantités de substances toxiques de manière répétée et sur une longue période. Il est difficile de le déterminer car cela provoque des effets qui ne sont pas visibles au premier coup d'œil, mais qui commencent à apparaître sur une longue période. (Pinasseau M., 2016) par exemples :

#### **A. Les maladies neurologiques**

Système nerveux central est l'une des principales cibles des COV après inhalation , le système nerveux central comprend le cerveau, le tronc cérébral et le cervelet et contrôle les activités corporelles de base telles que l'équilibre, le comportement, les émotions et les fonctions intellectuelles (Méausoone C., 2019) la plupart des composés organiques volatils, lorsqu'ils sont exposés à des niveaux aigus, peuvent entraîner une inhibition, système nerveux central, ses symptômes comprennent par exemple des maux de tête, des nausées et des vomissements. Etourdissements, etc.

Ces symptômes peuvent être temporaires, il a été noté après avoir étudié une intoxication légère à l'essence peut provoquer des troubles de la parole, des maux de tête, des étourdissements, de l'insomnie, des nausées et de la fatigue, inhalation 50 à 100 ppm . L'exposition à l'essence pendant 30 minutes provoque de la fatigue et des maux de tête, 250 à 500 ppm sont responsables d'Étourdissements, maux de tête, malaise et nausées. Cela se produit par inhalation et exposition au toluène, entre 80 et 150 ppm, il peut également provoquer des maux de tête, des étourdissements et de la somnolence, à faibles concentrations (inférieures ou égales à 40 ppm), on observe une diminution de la fréquence des symptômes. **(Grange D., 2007)**

### **B. Les maladies cancérogènes**

Des relations ont été observées entre les émissions locales de COV et les taux d'incidence de certains cancers, notamment les cancers du cerveau, du système nerveux, du système endocrinien et de la peau , une relation a également été découverte entre l'exposition prénatale aux COV et le risque de divers types de cancer, dont la leucémie, le potentiel cancérogène spécifique de chaque COV est inconnu.

Les données disponibles varient considérablement d'un COV à l'autre, alors que les effets cancérogènes de certains composés sont largement étudiés et reconnus, comme le benzène et le formaldéhyde, quant à d'autres substances, encore inconnues. Elles sont classées selon leur potentiel cancérogène par divers organismes, dont l'Union Européenne et le centre international de recherche sur le cancer (CIRC) tableau IX, pour chaque composé organique volatil, il a été classé selon l'Union Européenne en trois catégories, le tableau VIII suivant les présentes : **(Grange D., 2007)**

**Tableau VIII** : classification des principaux COV en fonction de leurs effets cancérigènes.

Catégorie	Définition
1	Substance que l'on sait cancérigènes pour l'homme on dispose de suffisamment d'éléments pour établir l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition et l'apparition
2	Substance devant être assimilées à des substances cancérigènes pour l'homme on dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition peut provoquer un cancer
3	Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérigènes possible mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante (preuves insuffisantes)

Le centre international de recherche sur le cancer classe les substances en quatre groupes, qui sont présentés dans le tableau suivant CIRC: (**Grange, D. 2007**)

**Tableau IX** : Les classifications cancérigènes des substances.

Groupe	Définition
1	Pour les agents cancérigènes pour l'homme
2	pour les agents probablement cancérigènes (2a) ou (2b) pour l'homme,
3	pour les agents qui ne Substances préoccupantes pour l'homme en raison de leurs effets cancérigènes potentiels mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante (preuves insuffisantes).peuvent pas être classés quant à leur potentiel cancérigène,
4	pour les agents qui ne sont probablement pas cancérigènes.

**III.3. Conclusion**

Dans ce chapitre, avons discuté de l'impact des composés organiques volatils sur l'environnement et la santé humaine, les composés organiques volatils s'évaporent facilement, contribuant à la pollution de l'air, à la formation de smog, à la formation d'ozone, à la pollution de l'eau et du sol au niveau environnemental, et provoquant plusieurs maladies pour la santé humaine, notamment des maladies des systèmes respiratoire et nerveux, et des cancers dans divers systèmes.



***Chapitre IV : Solutions pour réduire les  
émissions des COV***

## **IV. Introduction**

Les évolutions juridiques à différents niveaux à l'échelle mondiale ont conduit à l'adoption de nombreuses décisions et lois dont l'objectif premier est de réduire les émissions de composés organiques volatils dans l'atmosphère. Récemment, de gros efforts ont été faits pour minimiser le danger de ces derniers, (**Gillet Sébastien. 2005**) dans ce chapitre, nous sommes concentrés sur les approches technologiques et l'utilisation des plantes comme bioindicateurs, en plus des démarches de sensibilisation et d'éducation pour trouver des solutions à ce problème qui préoccupe le monde entier.

### **IV.1. Approches technologiques et industrielles**

#### **IV.1.1. Technologies de contrôle des émissions**

Les émissions des composés organiques volatils ainsi que leurs contrôles et leurs régulations constituent une préoccupation majeure, notamment en ce qui concerne l'engagement des industries envers l'environnement, une meilleure solution consiste donc à mettre en œuvre des technologies et des procédés qui réduisent les émissions polluantes afin de respecter les différentes lois internationales, ces méthodes sont divisées en deux groupes :

- Technologies primaires (amélioration des technologies existantes).
- Technologies secondaires (traitement). (**Tannous M., 2023**)

##### **IV.1.1.1. Techniques primaires**

La technologie de réduction des déchets à la source est généralement privilégiée pour réduire le risque de fuite de COV dans l'environnement (**Tannous M.,2023**). Il est nécessaire de connaître les sources d'émissions et les types de déchets afin de pouvoir envisager des mesures pour les réduire et les atténuer, en améliorant le confinement des activités ou en réduisant l'utilisation de solvants et/ou en les remplaçant par de nouveaux produits ou procédés moins émetteurs, tels que : améliorer les procédés utilisant des solvants. Réduire la teneur en solvants des produits ; éliminer les solvants des produits ou de la fabrication, (**Tatin Romuald., 2008**). Toutefois, la réduction à la source peut être difficile à mettre en œuvre en raison du coût élevé de la mise en place de nouvelles installations, ou elle peut être plus coûteuse que le traitement post-production. Lorsque cela se produit actuellement, il est important de recourir à des traitements secondaires. (**Tannous M., 2023**)

#### **IV.1.1.2. Techniques secondaires**

Cette technique se divise en deux groupes : les techniques restauratrices et les techniques destructives. Ces technologies présentent l'avantage de récupérer les COV et de permettre le recyclage de ces polluants. : Destruction et récupération. (Azalim S., 2011)

#### **1. Système récupération**

##### **1.1. Absorption :**

Cela dépend de la concentration en composés organiques volatils. Si leur concentration dans un flux gazeux chargé de polluants est comprise entre 500 et 5000 parties par million, les polluants organiques sont éliminés par le procédé d'absorption en exposant l'air pollué à un solvant liquide approprié. Par exemple H<sub>2</sub>O dans le cas d'un solvant hydrosoluble, quant aux composés organiques volatils qui n'ont pas une grande solubilité dans l'eau, on utilise des solvants lourds, comme les huiles de silicone, l'inconvénient de ce procédé est la séparation des composés organiques volatils dissous dans le solvant utilisé. (Tannous M., 2023)

##### **1.2. Condensation :**

Cette méthode est utilisée à de faibles débits (1000 m<sup>3</sup>/h) et à des concentrations élevées, permettant ainsi la récupération de composés sans modifier leur composition, en permettant aux COV de passer de l'état gazeux à l'état liquide. En congelant ou en comprimant le flux de gaz résiduaire, la condensation est un procédé très efficace pour les composés organiques volatils dont le point d'ébullition est supérieur à 38 °C et la concentration est supérieure à 5 000 ppm, les coûts d'exploitation des COV à bas point d'ébullition nécessitent une réfrigération ou une pression très élevée. (Tannous M., 2023)

##### **1.3. Technique membranaires :**

Les membranes utilisées dans les technologies membranaires sont coûteuses, instables et ne fournissent pas de résultats garantis. Les techniques mentionnées ci-dessus ne peuvent pas être réalisées seules, mais sont combinées avec d'autres procédés tels que la condensation cryogénique et l'adsorption. Là où les contaminants entrent en contact avec une membrane polymère semi- perméable soumise à une force de poussée, alors que le côté opposé est exposé à une basse pression, la membrane permet aux COV de la traverser et la séparation se

produit en fonction de la différence de résistance au transport résultant de la différence de concentration ou de pression entre les zones opposées de la membrane. (Tannous M., 2023)

#### **1.4. Adsorption :**

Il s'agit d'un processus physique dans lequel les molécules organiques interagissent avec des adsorbants solides à grande surface, tels que le charbon actif, les zéolites et les résines, et restent à la surface dans les pores de l'adsorbant, cette méthode est la mieux adaptée pour éliminer les COV à faible concentration du flux de gaz. Cependant, la méthode d'adsorption présente des avantages mais aussi des inconvénients, notamment la nécessité de renouveler régulièrement le matériau absorbant, et elle n'est pas adaptée aux gaz résiduaux organiques à forte concentration, cela dépend de l'affinité des produits chimiques présents dans les effluents avec le matériau absorbant. (Tannous M., 2023)

### **2. Système de destruction**

#### **2.1. Biofiltration :**

Certains micro-organismes peuvent utiliser des composés organiques volatils comme source d'énergie. Les COV restants sont du dioxyde de carbone et de l'eau, à mesure que la biomasse des organismes utilisés augmente, ces organismes se développent souvent en milieu aquatique, nécessitant une phase initiale d'absorption des COV, l'utilisation de cette méthode nécessite la maintenance du système, il est nécessaire d'assurer les meilleures conditions de vie possibles aux micro-organismes, c'est-à-dire qu'il faut fournir un environnement adapté en plus du contrôle des conditions de température et de concentration des composés organiques volatils. (Guaitella O., 2006)

#### **2.2. Oxydation thermique :**

Actuellement, 80 % des composés organiques volatils sont traités par oxydation thermique, où les molécules organiques sont brûlées dans l'air pour produire du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de l'eau (H<sub>2</sub>O) (Azalim S., 2011) l'oxydation thermique (combustion) est le processus de chauffage d'un gaz à des températures auxquelles les composés organiques volatils sont complètement brûlés, en fonction des COV à traiter et de leur concentration, il est important de réguler la température de fonctionnement (souvent > 800°C) ainsi que le temps de séjour dans l'incinérateur, mais le coût énergétique de ce procédé est très élevé, afin

de réduire la consommation énergétique élevée, il est possible d'utiliser des catalyseurs (Guaitella O., 2006)

### **2.3. Oxydation catalytique :**

L'oxydation catalytique fonctionne sur la base que le catalyseur réduit l'énergie d'activation des réactions d'oxydation de divers composés organiques volatils. selon les COV et les catalyseurs. Utilisés (métaux précieux, oxydes métalliques), les températures de fonctionnement ne sont que de 200 à 500°C (Guaitella O., 2006).

Le principal inconvénient de cette méthode est la courte durée de vie du catalyseur. Au fil du temps, le catalyseur se décompose, il existe cinq raisons responsables de la détérioration des matériaux : L'empoisonnement, la pollution, les dommages mécaniques, la corrosion et la détérioration thermique. (Azalim S., 2011)

## **IV.2. Utilisation des plantes bioindicateurs**

Les biomarqueurs sont des réponses adaptatives des organismes après exposition à des substances étrangères, les organismes exposés présentent alors des changements qui peuvent être histologiques, cellulaires, moléculaires, biochimiques et/ou physiologiques.

Depuis le XVIIe siècle, on a observé que les plantes réagissaient à la pollution de l'environnement. Au XIXe siècle, dans les villes industrielles d'Europe, la rareté des mousses et des lichens était liée à la pollution de l'air, et les recherches ont progressivement confirmé cette relation, cependant, les recherches n'ont pas mis en évidence ce phénomène avant les années 1960, lorsqu'il a été confirmé que les plantes pouvaient être utilisées pour mesurer les concentrations de polluants dans leur environnement de manière quantitative, et ainsi être utilisées comme bioindicateurs, actuellement, les bio-essais utilisant des plantes deviennent populaires et largement utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'environnement, ces bioessais ont été validés et leurs protocoles compilés par le biais du programme international de bioessais végétaux (IPPB) mené par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), l'Agence américaine de protection de l'environnement (USEPA) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) pour valider les résultats obtenus en utilisant des biomarqueurs végétaux comme modèle efficace pour détecter la génotoxicité environnementale.

Ces biomarqueurs sont recommandés pour une utilisation éthique car ils permettent de réaliser des bio-essais sans nuire aux animaux, l'utilisation de plantes supérieures comme bioindicateurs présente de nombreux avantages. Ils sont un élément essentiel des écosystèmes et sont constamment exposés à la pollution, ils peuvent décrire la santé environnementale. Ils peuvent réagir plus rapidement aux substances toxiques que les autres organismes. Permet une surveillance sur site, facile et peu coûteux à entretenir (Souza C P et al., 2016).

#### IV.2.1. Détection des COV

##### IV.2.1.1. Détection des COV dans l'air

L'air est un élément vital de notre planète et tout changement dans sa composition provoque une pollution, c'est-à-dire une augmentation des substances nocives dans l'atmosphère, entraînant une détérioration de la qualité de l'air. Les plantes vertes sont utilisées comme indicateurs de la pollution de l'air depuis de nombreuses années. Ils fournissent de grandes feuilles pour absorber et accumuler les polluants atmosphériques et réduire leurs niveaux. Les réponses des plantes à la pollution atmosphérique varient d'une espèce à l'autre, en fonction du type de polluant, de son mécanisme de réaction, de sa concentration et de la durée de l'exposition, les polluants pénètrent dans les plantes et interagissent de diverses manières avant d'être éliminés ou absorbés, ce qui peut inclure l'accumulation, la transformation chimique et l'incorporation dans le système métabolique, dans ce processus, certaines plantes sont affectées tandis que d'autres présentent des effets minimes, le profil physiologique environnemental peut ne pas fournir une image claire des changements induits par la pollution survenant dans les plantes, de nombreuses études ont utilisé avec succès des plantes comme bioindicateurs de la pollution environnementale, comme les bouleaux en Russie et les feuilles d'olivier dans la province d'Aydin, en Turquie. (Bakrinson, H. 2017), *Arabidopsis thaliana* peut être utilisé pour tester la phytotoxicité des standards synthétiques pour les COV (Lee S et al. 2016), l'utilisation des plantes comme biomoniteurs offre plusieurs avantages, dont les plus importants sont un coût moindre, la facilité d'échantillonnage, l'étude de la relation entre les polluants atmosphériques et leurs effets sur les plantes, la détermination des tendances spatiales et temporelles et l'analyse des polluants accumulés dans les plantes. (Bakrinson H., 2017)

#### **IV.2.1.2. Détection des COV dans le sol**

La contamination du sol prend beaucoup de temps à se détoxifier, par conséquent, les stratégies d'assainissement actuelles, telles que l'excavation, les traitements thermiques, le lavage chimique des sols ou l'enlèvement/remplacement des sols, sont coûteuses et dommageables pour le site, parmi les stratégies de remédiation des COV, les plantes vertes et les processus de remédiation naturels ont été largement utilisés, la phytoremédiation est l'utilisation de plantes pour extraire, séquestrer ou détoxifier les contaminants environnementaux. Les plantes absorbent des composés organiques et excrètent ou diffusent des polluants ou des formes modifiées de ceux-ci à partir des racines, des feuilles ou des tiges. (Valori F., 2006)

#### **IV.2.2. Contribution des plantes à la purification de l'air et des sols**

Les plantes jouent un rôle dans l'absorption des polluants et la purification de l'air, cette étude a été faite par les chercheurs (Mestayer P G & Brunet Y., 2015), Dont ils ont qu'il existe deux voies principales : la voie racinaire et la voie foliaire :

En cas de contamination du sol, le polluant se retrouve principalement dans les racines qui absorbent les polluants organiques puis pénètrent dans les cellules. Dans le cas de la pollution de l'air, (Khelil R., 2016) la pénétration se fait par les processus suivants : les stomates, qui sont des ouvertures situées sur la face inférieure des feuilles, reliant les cavités internes de la plante à l'air extérieur. Grâce à elle, l'échange d'oxygène et de dioxyde de carbone a lieu dans le processus de photosynthèse et de respiration des plantes. Mais par cette voie, d'autres gaz et d'autres polluants peuvent pénétrer directement dans la plante, ils fonctionnent selon un processus alterné, se fermant la nuit et s'ouvrant pendant la journée, en fonction de la quantité de soleil, en plus de la température et de l'humidité de l'air et du sol, les échanges gazeux entre les plantes et l'atmosphère, qui sont en grande partie diurnes, dépendent des saisons et des conditions météorologiques, il est plus élevée pour les arbres denses à feuilles larges, plates et caduques dont les stomates sont situés directement à la surface, le processus d'adsorption se déroule ensuite à travers l'épiderme des feuilles, une structure huileuse qui recouvre les surfaces des feuilles et les protège du dessèchement, Pour de nombreux composés organiques volatils tels que les diphenyles polychlorés (PCB), les dioxines et les furanes, la voie de pénétration la plus importante est l'adsorption. Ces

substances ne sont souvent pas solubles dans l'eau mais sont solubles dans les lipides présents dans la peau.

### IV.3. Sensibilisation et éducation

#### IV.3.1. Pratiques domestique durables

Les sources de pollution intérieure sont diverses et variées : les habitants et leurs activités (fumée de tabac, cuisine et travaux ménagers), les produits de construction, de décoration, de mobilier et de bureau, ainsi que les désodorisants d'intérieur et les produits d'entretien, les produits de consommation qui émettent les polluants les plus volatils, tels que les déodorants, les produits de nettoyage et les produits ménagers, sont une source de polluants de l'air intérieur, l'exposition à ces polluants augmente car elle se produit dans des environnements fermés, L'amélioration de la qualité de l'air intérieur nécessite **ADEME. (2015) :**

- ❖ Sensibilisation à la pollution de l'air domestique et à ses effets sur la santé.
- ❖ Normalisation des données nationales sur la pollution atmosphérique locale. Les causes de la pollution varient selon les régions, tout comme les stratégies de mise en œuvre des changements nécessaires pour atténuer cette menace croissante.
- ❖ Les gouvernements doivent formuler des politiques visant à apporter des changements positifs par le biais d'interventions comportementales et trouver des alternatives moins chères et économiques pour améliorer les types de combustibles utilisés pour la cuisine et le chauffage. Par exemple, dans les pays développés, l'utilisation du PentaPBDE de formule brute ( $C_{12}H_5 Br_5O$ ), dans les meubles et les appareils électroniques contenant de la mousse ignifuge est désormais interdite, ce qui a permis de réduire les niveaux de PentaPBDE dans les habitations.
- ❖ Les médias peuvent jouer un rôle important en aidant le gouvernement et les professionnels de la santé à sensibiliser à la pollution de l'air intérieur.
- ❖ utilisation de carburants alternatifs plus propres contribuent dans une certaine mesure à réduire cette menace.
- ❖ Améliorer la ventilation dans les maisons.

❖ Interdire de brûler de l'encens. Encouragez l'utilisation de moustiquaires plutôt que de brûler des spirales anti-moustiques ou d'utiliser des insectifuges en suspension dans l'air.

Assurez l'efficacité énergétique et changez les matériaux de construction, et fournissez un environnement sec, chaud et bien ventilé pour réduire l'humidité intérieure.

❖ Utilisez des purificateurs d'air comme mesure d'amélioration pour réduire la pollution de l'air.

❖ Utilisez des plantes d'intérieur, évitez les sols humides et fumez dans les environnements domestiques exigus (Meddour, M, R, 2020)

### **IV.3.2. Réglementations environnementales relatives aux COV**

Le nombre de composés organiques volatils résultant des activités humaines augmente, mais avec des degrés de toxicité variables.

Afin de protéger la santé humaine et l'environnement de ses effets nocifs, un ensemble de textes réglementaires a été adopté aux niveaux national, régional et international. **(Koeta O., 2025)**

#### **IV.3.2.1. Engagements internationaux**

Les réglementations internationales comprennent la plupart des textes adoptés sous les auspices d'organisations internationales, telles que l'Organisation des Nations Unies et ses différents programmes, parmi ces textes relatifs aux émissions de composés organiques volatils, que ce soit directement ou indirectement, nous citons les suivants. **(Koeta O., 2015)**

##### **a) La convention de Genève**

Le premier accord international sur la protection de l'environnement est la Convention de Genève de 1979, adoptée en 1979 sous les auspices des Nations Unies et de la commission économique pour l'Europe, il s'agit de la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, cet accord est né après que l'acidification des lacs due aux émissions de soufre a été constatée, cet accord ne fixe toutefois pas de limites aux émissions polluantes, mais il constitue le premier cadre international d'échange de vues sur la question de la pollution régionale. Dans ce cadre, des textes plus contraignants et plus précis ont émergé. **(Koeta O., 2015)**

**b) Le Protocole de Genève**

De 1991 sur la réduction des composés organiques volatils non méthaniques est le plus restrictif. Elle a été adoptée le 18 novembre 1991, entrée en vigueur en 1997 et ratifiée par la France le 12 juin 1997. Depuis, la France s'est engagée à réduire ses émissions de composés organiques volatils non méthaniques de 30 % entre 1988 et 1999. **(Koeta O., 2015)**

**c) Protocole de Montréal**

Signé par 24 pays et la Communauté économique européenne en septembre 1987, il s'agit d'un accord international visant à réduire de moitié les substances appauvrissant la couche d'ozone, cela se fait en éliminant l'utilisation de chlorofluorocarbures, de halons et de tous les autres produits chimiques synthétiques qui appauvrissent la couche d'ozone. **(Tatin R., 2008)**

**d) Protocole de Kyoto**

En décembre 1997, 38 pays industrialisés se sont engagés à réduire les émissions de six principaux gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux, les hydrofluorocarbures, les per fluorocarbures et l'hexafluorure de soufre, de 5,2 % en moyenne entre 2008 et 2012, par rapport aux niveaux de 1990. **(Tatin R., 2008)**

**e) Protocole de Göteborg**

Le 1<sup>er</sup> décembre 1999, la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU) a obtenu de la France et de 25 autres pays européens l'engagement de respecter des plafonds d'émission afin de réduire les effets de la pollution atmosphérique sur la santé et l'environnement, les principaux impacts sont les émissions de dioxyde de soufre, d'oxydes d'azote et d'ammoniac, Qui sont responsables de l'acidification et de la perte excessive de nutriments, sont également Concernées les émissions de composés organiques volatils qui, en présence d'oxyde d'azote, contribuent à la formation d'ozone troposphérique, la France s'est engagée à réduire ses émissions de composés organiques volatils non méthaniques de 1 200 kilotonnes entre 1998 et 2010. **(Tatin R., 2008)**

**f) Autres accords internationaux**

La protection de la couche d'ozone (dans la stratosphère ) contre les rayons ultraviolets nocifs du soleil est l'objectif de la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone (adoptée en 1985 et entrée en vigueur en 1988), cet accord est renforcé par le Protocole de Montréal (signé en 1987) qui vise à réduire ou à éliminer les substances qui appauvrissent la couche d'ozone, la question du changement climatique fait l'objet de la Convention de Rio du 9 mai 1992, suivie du Protocole de Kyoto du 11 décembre 1997 (entré en vigueur en 2005), Pour que ces réglementations internationales soient efficaces et utiles, elles doivent être diffusées et mises en œuvre aux niveaux régional et national. **(Koeta O., (2015))**

**IV.4. Conclusion**

Enfin, dans ce chapitre, nous avons discuté de certaines solutions pour réduire les émissions de COV, notamment les technologies de traitement accordées. La principale technologie permettant de réduire l'utilisation de produits et de matériaux contenant des COV. La seconde concerne les technologies secondaires de traitement des composés organiques volatils telles que l'absorption, condensation, technologie membranaire, l'adsorption, oxydation. L'utilisation des plantes comme bioindicateurs de la pollution de l'air et du sol et de leur contribution à leur élimination. Enfin, quelques activités de sensibilisation et d'éducation ont été proposées.

## **Conclusion générale**

Les composés organiques volatils sont une préoccupation qui n'est pas encore comprise. Etant donné l'importance de ce sujet et pour l'éclairer, nous l'avons abordé dans notre recherche et nous avons montré une forme générale de ces polluants et de leurs sources d'émission. En plus de certains effets généralisés résultant de l'augmentation de leur émission au niveau de l'atmosphère et de certaines des solutions appliquées jusqu'à présent, à mesure que les pays se développent, l'utilisation de ces composés au niveau de l'atmosphère augmente et leur menace pour l'humanité s'accroît.

Le traitement des polluants est une étape très importante, soit en utilisant des méthodes technologiques, mais elles peuvent être très coûteuses, par conséquent, une solution plus appropriée serait que l'État édicte et mette en œuvre des réglementations précisant les concentrations maximales autorisée de ces polluants dans l'environnement.

Il est important de sensibiliser et d'éduquer les gens sur l'existence de pratiques durables pour préserver leur sécurité et celle des générations futures en menant des opérations de sensibilisation auprès de spécialistes, notamment des médecins, pour attirer l'attention sur cette question et démontrer sa sensibilité et qu'il s'agit d'une question importante qui nécessite une prise de conscience et un traitement. Encourager les jeunes à développer des méthodes de traitement naturelles et peu coûteuses, y compris la dépollution par les plantes, une approche encore peu utilisée cont rairement à certains pays .

Encourager la plantation de végétaux autour des usines peut être une solution simple et efficace, sachant qu'elle diffère selon les polluants, car chaque plante est un indicateur vital d'un type spécifique de ces composés organiques volatils.

En perspective, il serait peut-être préférable d'appliquer cette recherche sur le terrain et d'adopter la partie relative aux plantes, car elle est considérée comme une application peu coûteuse et efficace, et de mener des expériences sur elles pour connaître le pourcentage de polluants rejetés dans l'air en mesurant la concentration de ceux-ci présents dans les matériaux absorbés par les plantes, qu'elles stockent, en particulier dans l'état de Bordj Bou Arreridj, car c'est une zone industrielle et il y a un pourcentage élevé de pollution résultant des déchets d'usine

## Références

**Abou Serhal Cynthia. (2018).** *Oxydation totale des Composés Organiques Volatils (COV) sur des catalyseurs à base de métaux de transition préparés par voie hydrotalcite : Effet des micro-ondes sur la méthode de synthèse.* Thèse de doctorat en cotutelle, Université Libanaise et Université du Littoral Côte d'Opale.

**ADEME. (2015).** *Un air sain chez soi : des solutions et des pratiques pour améliorer la qualité de l'air intérieur.* Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.

**AIRFOBEP. (2005).** *Les composés organiques volatils de la directive européenne relative à l'ozone.* Association pour la Surveillance de la Qualité de l'Air de la Région de l'Étang de Berre et de l'Ouest de l'Étang de Berre.

**Airparif. (2022).** *L'ozone. L'état des connaissances actuelles sur l'ozone, polluant et gaz à effet de serre, en augmentation dans l'air.* Dossier #06, juillet 2022. Disponible sur : <https://www.airparif.fr> [Consulté le 21 avril 2025].

**Azalim Saïd. (2011).** *Synthèse et caractérisation d'oxydes mixtes à base de zirconium, cérium et manganèse, massiques ou supportés sur monolithe, destinés à l'oxydation catalytique totale du 1-butanol.* Thèse de doctorat, Université de Lille 1 & Université Chouaïb Doukkali.

**Bakrinson Hamza. (2017).** *Biomonitoring of Air Pollution Using Plants.* *MAYFEB Journal of Environmental Science*, Vol. 2, pp. 27–39. Disponible à : <https://www.researchgate.net/publication/33886339>

**Bernard François. (2009).** *Étude du devenir atmosphérique de composés organiques volatils biogéniques : Réactions avec OH, O<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub>.* Thèse de doctorat, Université d'Orléans, France.

**Bouguelmouna Tewfik. (2022).** *Diplôme d'État de docteur en pharmacie.* Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, U.F.R. des Sciences Pharmaceutiques, France, 9 novembre 2022. Thèse n°141.

**Cai, Min. (2021).** *Composés organiques volatils dans l'atmosphère: mesures de terrain et étude en laboratoire de dégradation d'une famille d'esters.* Thèse de doctorat, Université d'Orléans.

**Cicolella, Andre. (2008).** *Les composés organiques volatils (COV): définition, classification et propriétés.* Revue des Maladies Respiratoires 25(2), 155–163.

**Dubuisson, Candice. (2022).** *Impact de la pollution atmosphérique par l'ozone sur la communication chimique plante-pollinisateur : le cas de deux interactions emblématiques en Méditerranée.* Thèse de doctorat, IMT Mines Alès. Disponible à : <https://www.researchgate.net/publication/360560782>

**Dufresne Marvin. (2022).** *Sources et déterminants des composés organiques volatils à Marseille.* Thèse de doctorat, École nationale supérieure Mines-Télécom Lille Douai, Université de Lille. Disponible à : <https://theses.hal.science/tel-04018229v1>

**Ghandour Houda. (1997).** *Analyse et quantification des émissions polluantes de composés organiques volatils d'origine industrielle par mesures directes aux sources.* Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille.

**Gillet Sébastien. (2009).** *Traitement ou recyclage... Les réacteurs biphasiques au service du traitement de l'air.* Le Journal des Ingénieurs, no. 126, décembre.

**Grange Dorothee, Host Sabine & Grémy Isabelle. (2007).** *Les composés organiques volatils (COV) : État des lieux.* Observatoire Régional de Santé d'Île-de-France (ORS Île de France).

**GREC-SUD & Air Paca. (2024).** *La pollution atmosphérique à l'ozone et le changement climatique en région Provence-Alpes- Côte d'Azur. Marseille : GREC-SUD.*

**Guaitella Olivier. (2006).** *Nature de la synergie plasma-photocatalyseur pour la destruction d'un composé organique volatil type : l'acétylène.* Thèse de doctorat, École Polytechnique. Disponible sur : <https://pastel.hal.science/pastel-00002918v1> (Consulté le 30 avril 2025)

**Kalalian Carmen. (2018).** *Réactivité atmosphérique des composés organiques volatils oxygénés biogéniques (aldéhydes et alcools insaturés). Études cinétiques de la réaction entre*

*les radicaux peroxy et le radical nitrate*. Thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne.

**Kalogridis Athina-Cerise. (2014).***Caractérisation des composés organiques volatils biogéniques en région méditerranéenne*. Thèse de doctorat, Université Paris-Sud.

**Khelil Rahma. (2016).***Bioindication et bioaccumulation : Deux modèles biologiques pour la détection de la pollution atmosphérique par les hydrocarbures dans la région de Ouargla*. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, option Agronomie Saharienne, Université Kasdi Merbah - Ouargla.

**Koeta Ouya. (2015).***Élimination des polluants par plasmas froids et association à la catalyse : acétaldéhyde et phénol*. Thèse de doctorat, Université Paris-Sud. Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/281499525> (Consulté le 5 mai 2025)

**Labadie Cécile. (2015).***Analyse fine et stabilisation des hydrolats de rose et de fleur d'oranger*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier. Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/317704250>

**Lee, Samantha, Hung, Richard, Yin, Guohua, Klich, Maren A., Grimm, Casey & Bennett, Joan W. (2016).** Arabidopsis thaliana as bioindicator of fungal VOCs in indoor air. *Mycobiology*, 44(3), pp. 162–170. Disponible sur : <https://doi.org/10.5941/MYCO.2016.44.3.162>

**Malecky Mostafa. (2008).***Métabolisme des terpénoïdes chez les caprins*. Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech), Paris. Consulté le 7 mars 2025.

**Méausoone, Clémence. (2019).***Étude en Interface Air-Liquide de la toxicité des Composés Organiques Volatils lors d'expositions répétées. Cas du toluène, de ses homologues et des émissions issues de son traitement catalytique*. Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale.

**Meddour, M.R. (2020).***La pollution de l'air intérieur issue des activités domestiques. Présentation*, Université de Blida. Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/345202752> [Consulté le 21 mai 2025].

**Mestayer, Patrice Guy & Brunet, Yves. (2015).** *Impact de la végétation urbaine sur la qualité de l'air.* Innovations Agronomiques, 45, pp. 35–45. Disponible sur <https://www.researchgate.net/publication/34172321>.

**Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD). (2004).** *Exposition par inhalation au benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes (BTEX) dans l'air : Sources, mesures et concentrations.* Service de l'Environnement Industriel, Bureau de la Pollution Atmosphérique, des Équipements Industriels Énergétiques et des Transports, INERIS DRC0456770-AIRE-n°1057-IZd, p. 5.

**Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD). (2004).** *Exposition par inhalation au formaldéhyde dans l'air : Sources, mesures et concentrations.* Service de l'Environnement Industriel, Bureau de la Pollution Atmosphérique, des Équipements Industriels Énergétiques et des Transports, INERIS - DRC-04-56770-AIRE-n°1057-IZd, p. 7.

**Mondal, Sumanta. (2018).** UNIT - II Terpenes. ResearchGate. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/325069089> [Consulté le 8 mars 2025].

**Petit Lionel. (2003).** *Bilan des données disponibles et proposition pour évaluer le risque dans des zones de fortes émissions de composés organiques volatils (COV).* Mémoire de l'École Nationale de la Santé Publique, Rennes.

**Pham, Huu. Thien. (2014)** *Contribution à l'étude de la dépollution de l'air chargé en composés organiques volatils par un procédé associant un plasma de décharge à barrière diélectrique impulsionnelle et des catalyseurs.* Thèse de doctorat, Université d'Orléans.

**Piasentin, Joséphine., & Bergoend, Annabelle. (2023).** *Composés organiques volatils des plantes : définitions et fonctions chez les plantes, valorisation en protection des cultures.* ITEIPMAI, rapport dans le cadre du projet ABAPIC.

**Pinasseau Marie. (2016).** *Les intoxications des rapaces dues aux activités humaines en France.* Thèse de doctorat vétérinaire, École Nationale Vétérinaire de Toulouse, Université de Toulouse.

**Potard Kevin. (2017).** *Les émissions de Composés Organiques Volatils (COVs) par les sols dans les paysages agricoles. Identification des sources et incidences sur la qualité de l'air.* Thèse de doctorat, Université de Rennes 1.

**Praznocy Corinne & Grémy Isabelle. (2009).** *Dynamiques territoriales de santé en ÎledeFrance*. Observatoire régional de santé d'Île-de-France, octobre 2009.

**Rajabi, Hamid, Mosleh, Mojgan Hadi, Mandal, Parthasarathi, Lea-Langton, Amanda & Sedighi, Majid. (2020).** *Emissions of volatile organic compounds from crude oil processing – Global emission inventory and environmental release*. *Science of the Total Environment*, 727, 138654. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138654>

**Roukos Joelle. (2010).** *Caractérisation des composés organiques volatils dans une zone urbaine multiinfluencée : Développement de méthodes chromatographiques, de capteurs et campagnes de mesures*. Thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, École Doctorale : Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement. Thèse soutenue le 12 mars 2010, Lille, France.

**Simon Leila. (2023).** *Détermination des sources de composés organiques (gazeux et particulaires) en Île-de-France : Source apportionment of organic compound (gaseous and particulate) in the Île-deFrance region*. Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay, École doctorale n°129 Sciences de l'environnement d'Île-de-France (SEIF).

**Simonsen, Henrik Toft & Peramuna, Anantha Vithakshana,( 2019).** *Production of terpenes and terpenoids*. Patent No. WO2019057258.

**SOLTYS, Nadia. (s.d.).** *Procédés de traitement des COV ou composés organiques volatils*. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, Réf. J 3 928. [Consulté le 05 mars 2025].

**Souza Cleiton Pereira, Guedes Thays de Andrade & Fontanetti Carmem Silvia. (2016).** *Evaluation of herbicides action on plant bioindicators by genetic biomarkers: à review*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(694), pp.1–12. Springer International Publishing. Disponible à : <https://www.researchgate.net/publication/310839597>

**Tabbal Sarah, El Aroussi Badr, Haddad Sami & Marchand Geneviève. (2024).** *Microbial volatile organic compound measured in the air of a waste sorting plant and à university by thermal desorption-gas chromatography-tandem mass spectrometry*. Research Square Disponible à : <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4572059/v1>

**Tabbal, Sarah. (2023).** *Les composés organiques volatils d'origine microbienne comme potentiels biomarqueurs d'exposition aux moisissures en milieux professionnels :*

*développement de méthodes de quantification*. Thèse de doctorat, Université de Montréal, École de santé publique.

**Tannous Mariebelle. (2023).** *Étude de l'oxydation catalytique des Composés Organiques Volatils Oxygénés*. Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale. Disponible sur : <https://theses.hal.science/tel-04555730v1> (Consulté le 20 avril 2025)

**Tatin, Romuald. (2008).** *Absorption Physique de Composés Organiques Volatils par Pulvérisation d'Émulsion d'Huile dans l'Eau : Étude thermodynamique et hydrodynamique - Application au calcul des efficacités d'abattement de COV sur effluents synthétiques et réels*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, INSA de Toulouse.

**Valori, Federico. (2006).** *Effects of root exudates on cadmium bioavailability in the rhizosphere. Assessment of cadmium toxicity to plants and microorganisms, and soil remediation*. Thèse de doctorat, Université Bordeaux I & Università degli Studi di Firenze.

**Wolkoff Peder & Kjærgaard Søren K. (2007).** *The dichotomy of relative humidity on indoor air quality*. *Environment International*, 33, pp. 850–857. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.04.004>

## Résumé

Notre étude contribue à la recherche bibliographique sur la problématique de pollution de l'air par certains polluants appelés composés organiques volatils (COV), en essayant de répondre à des questions qui tournent autour de nos connaissances sur l'impact des COV sur l'environnement en se basant sur des recherches et des références antérieures. Les composés organiques volatils (COV) sont présents partout dans notre environnement et proviennent de diverses sources, notamment des produits ménagers courants et des processus industriels. Les effets sur la santé résultant de l'exposition aux COV et leur contribution à la pollution de l'air et à la dégradation de l'environnement ne peuvent être ignorés, grâce à des mesures de surveillance et de contrôle efficaces, nous pouvons atténuer les risques associés aux COV et améliorer les environnements intérieurs et extérieurs afin de garantir la santé des personnes et de l'environnement.

**Mots clés :** COV, environnement, air, pollution,

## ملخص

تساهم دراستنا في البحث البيئيوجرافي حول مشاكل تلوث الهواء ببعض الملوثات والتي تسمى المركبات العضوية المتطايرة، وذلك من خلال محاولة الإجابة على تساؤلات تتمحور حول معرفة تأثير المركبات العضوية المتطايرة على البيئة؟ استنادا إلى الأبحاث والمراجع السابقة. تتواجد المركبات العضوية المتطايرة (VOCs) في كل مكان في بيئتنا، وتنشأ من مجموعة متنوعة من المصادر، بما في ذلك المنتجات المنزلية الشائعة والعمليات الصناعية، لا يمكن تجاهل التأثيرات الصحية الناجمة عن التعرض للمركبات العضوية المتطايرة ومساهمتها في تلوث الهواء والتدهور البيئي، ومن خلال تدابير الرصد والتحكم الفعالة، يمكننا التخفيف من المخاطر المرتبطة بالمركبات العضوية المتطايرة وتعزيز البيئات الداخلية والخارجية من أجل ضمان صحة الناس والمحيط .

**كلمات مفتاحية :** المركبات العضوية المتطايرة، البيئة، الهواء، التلوث

## Abstract

Our study contributes to the bibliographic research on the problems of air pollution by some pollutants called volatile organic compounds (VOCs), by trying to answer questions that revolve around knowing the impact of VOCs on the environment based on previous research and references. Volatile organic compounds (VOCs) are present everywhere in our environment, and they arise from a variety of sources, including common household products and industrial processes. The health effects resulting from exposure to VOCs and their contribution to air pollution and environmental degradation cannot be ignored. Through effective monitoring and control measures, we can mitigate the risks associated with VOCs and enhance indoor and outdoor environments to ensure the health of people and the environment.

**Keywords:** VOCs, environment, air, pollution,