

N° Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2022

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département Chimie

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :
TOUHAMI Selma

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : CHIMIE
Option : CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

Thème :

**EXPOSITION AUX POLLUANTS ATMOSPÉRIQUES PENDANT
L'ACTIVITÉ PHYSIQUE**

Devant le jury composé de :

Aoudjit Farid	MCA	UAMOB	Président
Khedidji Sid Ali	MCA	UAMOB	Encadreur
Berriche Lakhdar	MCB	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Au terme de cette étude, je tiens tout d'abord à remercier Dieu pour m'avoir donné la santé, la patience, les moyens et l'aide afin que je puisse accomplir ce travail.

Je tiens particulièrement à remercier mon encadreur monsieur **Khedidji Sidali** pour sa disponibilité et à me prodiguer de précieux conseils et moyens.

Je tiens vivement à lui exprimer ma profonde reconnaissance et gratitude pour sa patience, sa compréhension, ses qualités humaines et ses intérêts portés pour mon sujet de mémoire en master.

Mes remerciements vont également à **Mr. Aoudjit** Maître de conférence à l'université de Bouira pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire de Master.

Je remercie également **Mr. Berriche**, Maître de conférence à l'Université de Bouira, d'avoir accepté d'examiner ce travail..

Je remercie également Madame **Halem**, cheffe département de chimie, pour l'aide et l'atmosphère amicale qui a créé au département de chimie.

Un grand remerciement à l'ensemble des enseignants et des ingénieurs de labo du département de Chimie.

Je tiens à remercier aussi *les directions* des salles de sport qui mon permet d'effectuer la campagne d'échantillonnage.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents, pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements ;

A mon cher frère Djamel, sa femme et ses filles ;

A mes chères sœurs, leurs maris et leurs enfants ;

A ma chère petite sœur Hadjer ;

A toute ma famille, surtout mes cousines, qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours scolaire, Lyliya, Imen et Fatima ;

A tous mes amies et collègues du département de chimie ;

A tous ceux qui ont contribué à ce travail de près ou de loin.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
SOMMAIRE	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
ABREVIATIONS	
INTRODUCTION GENERALE	1
REFERENCES	4

Chapitre I :

GENERALITE SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

I.1. Introduction	4
I.2. Définition de la pollution atmosphérique selon la réglementation Algérienne	4
I.3. Sources de pollution.....	4
I.4. Les principaux polluants et leurs effets sur la santé.....	5
I.4.1. Dioxyde de soufre (SO ₂).....	5
I.4.2. Oxydes d'azote (NO _x).....	5
I.4.3. Monoxyde de carbone (CO).....	6
I.4.4. Composés Organiques Volatils (COVs).....	6
I.4.5. Poussières ou particules en suspension (PS).....	6
I.4.6. Métaux lourds « Pb, Cd et V).....	7
I.5. Classification des polluants atmosphériques.....	8
I.5.1. Selon leurs sources.....	8
I.5.1.1. Source naturelle	8
I.5.1.2. Source anthropique	8
I.5.2. Selon leurs caractéristiques chimiques et physiques	9
I.5.2.1. Les polluants gazeux	9
I.5.2.2. Les polluantes particulaires	9
I.5.3. Selon leurs origines	9

I.5.3.1.	Polluants primaires	9
I.5.3.2.	Polluants secondaires	9
I.6.	L'activité physique	10
I.6.1.	Définition.....	10
I.6.2.	Les bienfaits de l'activité physique.....	10
I.6.3.	Les risques liés à la sédentarité	11
I.7.	Qualité de l'air intérieur	11
I.7.1.	Qualité de l'air intérieur dans les salles de sport.....	12
I.7.2.	Les conditions influent sur l'air intérieur des salles	12
I.7.2.1.	La température et l'humidité	12
I.7.2.2.	La ventilation.....	13
I.8.	L'exposition des polluants pendant l'activité physique	13
I.9.	Le danger de faire du sport dans les salles à cause de la pollution.....	14
I.10	Impact de la pollution de l'air sur le comportement en matière d'activité physique.....	15
I.11.	La relation entre la taille des aérosols et leur pénétration dans le système respiratoire.....	15
I.12.	Rapport bénéfice/risque de l'activité physique et l'exposition aux polluants atmosphériques.....	16
I.13	Définition et valeurs réglementaires des quelques polluants.....	17
	Références	19

Chapitre II :
Partie Expérimentale

II.1.	Méthode de prélèvement.....	22
II.1.1.	Choix des types des filtre.....	23
II.1.2.	Préparation de filtres	23
II.1.3	L'échantillonnage.....	24
II.2.	Mesure de la température et l'humidité.....	24
II.3.	Description des sites.....	25
II.3.1.	Salle de gymnastique (Gym) et fitness (Fit).....	25
II.3.2.	Salle Omni sport (SOS).....	26
II.4.	Mesure des concentrations en PM ₁₀ et PM _{2,5} par la gravimétrie	28
II.5.	Méthodes analytiques.....	29

II.5.1.	Extraction au Soxhlet.....	29
II.5.2.	Concentration	31
II.5.2.1.	Concentration par évaporation rotative.....	31
II.5.2.2.	Concentration par Kuderna-Danish.....	33
II.5.3.	Purification	33
II.5.4.	Analyses par CG/SM.....	34
	Références.....	36

Chapitre III :

Résultats et discussion

III.1.	Variations des concentrations journalières de PM ₁₀ et PM _{2,5} dans les différents sites....	38
III.1.1.	Variations journalières en PM ₁₀ dans la salle de gymnasium et fitness.....	38
III.1.2.	Variations journalières en PM ₁₀ et PM _{2,5} dans la salle Omni Sport (SOS).....	39
III.1.3.	Variations journalières en PM ₁₀ et PM _{2,5} dans la salle de musculation (MUS)	41
III.1.4.	Variations journalières en PM ₁₀ et PM _{2,5} dans la salle d'aérobie (AER).....	42
III.1.5.	Comparaison entre les concentrations moyennes journalières des PM ₁₀ et PM _{2,5} enregistrés dans les différents sites.....	43
III.2.	Les conditions météorologiques.....	44
III.2.1.	Variations journalière de la température	44
III.2.2.	Variation journalière de l'humidité	46
III.3.	Analyse qualitative des n-alcanes et HAPs dans les sites étudiés	48
III.3.1.	Les n-alcanes.....	48
III.3.2.	Les HAPs.....	50
	Référence	54
	CONCLUSION GENERALE.....	55

Liste des tableaux

Tableau I.1	Concentrations moyennes en ppb de différents polluants dans une atmosphère dite propre ou naturelle et une atmosphère polluée.....	7
Tableau I.2	Définitions des valeurs réglementaires des polluants.....	17
Tableau I.3	Moyennes des valeurs réglementaires des polluants (sur une durée).....	18
Tableau II.1	fiche technique des sites d'échantillonnage	27
Tableau II.2	caractéristiques de l'échantillonnage dans les sites d'étude.....	28
Tableau II.3	Conditions d'analyse par CG/SM.....	35
Tableau III.1	Variation journalière en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} dans salle de gymnasium et fitness.....	38
Tableau III.2	Variation journalière en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ dans salle omni sport.....	39
Tableau III.3	Variations journalières en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ dans la salle de musculation.....	41
Tableau III.4	Variations journalières en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ dans salle d'aérobic.....	42
Tableau III.5	Concentration moyenne totale en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de tous les sites d'échantillonnage.....	44
Tableau III.6	Les n-alcanes identifiés dans des échantillons d'air.....	49
Tableau III.7	Les HAPs identifiés dans des échantillons d'air.....	51

Liste des figures

Figure I. 1	Sources naturelle et anthropique des polluants atmosphériques.....	8
Figure I. 2	Origines primaire et secondaire des polluants atmosphériques.....	9
Figure I.3	Niveau de déposition des particules inhalées dans l'appareil respiratoire selon leurs tailles	16
Figure II.1	montage de prélèvement des particules.....	23
Figure II.2	Four utilisé pour la préparation des filtres (marque nabertherm).....	24
Figure II.3	pompe à volume moyen(MVS).....	24
Figure II.4	pompe à volume faible(LVS).....	24
Figure II.5	Thermomètre et hygromètre numérique utilisé pendant la période d'étude.....	25
Figure II.6	Localisation satellitaire de site de mesure présentant la salle de gymnastique et fitness.....	25
Figure II.7	Le différent matériel utilisé à l'intérieur de la salle de gymnastique et fitness.....	26
Figure II.8	Image satellitaire présentant le site de l'échantillonnage de SOS.....	26
Figure II.9	Image présentant l'endroit exact de l'échantillonnage (à l'intérieur de la salle).....	27
Figure II.10	Une microbalance.....	28
Figure II.11	Filtre avant et après le piégeage des particules.....	29
Figure II.12	Organigramme de la procédure pré-analytique.....	29
Figure II.13	Représentation schématique d'un extracteur de Soxhlet.....	30
Figure II.14	L'appareillage d'extraction au soxhlet.....	31
Figure II.15	Dispositif de l'évaporation rotative pour la concentration	32
Figure II.16	Paramètres expérimentales de vide, rotation et de température dans l'évaporateur rotatif	32
Figure II.17	Dispositif de la concentration par Kuderna-Danish.....	33
Figure. II.18	Le fonctionnement de système CG/SM.....	34
Figure III. 1	Variations journalières en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} dans la salle de gymnasium et fitness.....	39
Figure III. 2	Variation journalière en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ dans salle omni sport.....	40
Figure III.3	Variations journalières en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ dans salle de musculation.....	42
Figure III. 4	Variation journalière en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ dans salle d'aérobie.....	43
Figure III. 5	Concentration moyenne en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de tous les sites d'échantillonnage.....	44

Liste des figures

Figure III. 6	Variations de la température dans les salles gymnasium, fitness, omni sport, musculation et aérobic.	46
Figure III. 7	Variations de l'humidité dans les salles gymnasium, fitness, omni sport, musculation et aérobic.....	47
Figure III. 8	Chromatogramme des n-alcane particuliers identifiée en mode SIM.....	48
Figure III.9	Spectre de masse de l' hexadécane.....	49
Figure III.10	Quelques mécanismes de fragmentation de l'hexadecane.....	50
Figure III.11	Spectres de masse montrant les pics caractéristiques des HAPs (anthracène, benzo(a)pyrène et Indeno [1, 2, 3, c-d] Pyrène.....	53

Liste des abréviations

µg/m³ : Microgramme par mètre cube

ACE : Acétone

Al₂O₃ : oxyde d'aluminium

AP : Activité physique

ASHRAE : La société américaine des ingénieurs en chauffage, réfrigération et climatisation

CG/SM : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse

COVs : Composés organiques volatils

DCM : Dichlorométhane

ESC : Société Européenne de Cardiologie.

eV : électronvolt

Fit : Fitness

Gym : Gymnasium

H : Humidité

HAPs : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

LVS : Low Volume Sampler (Echantillonnage à faible volume)

m³ : Mètre cube

m³/h : Mètre cube par heure

mbar : Millibar

MET : Tâches métaboliques équivalentes

MVS : Medium Volume Sampler (Echantillonnage à moyen volume)

NEC : National Emission Ceilings

NMHC : Hydrocarbure non méthanique

OMS : Organisation mondiale de la santé

PAN : Péroxyacétylnitrate

PM : Particulate Matter (Matière particulaire)

PM1 : Matière particulaire de taille inférieure à 1 µm

PM10 : Matière particulaire de taille inférieure à 10 µm

PM2.5 : Matière particulaire de taille inférieure à 2.5 µm

ppb : particule par billion

PS : particules en suspension

QAI : Qualité de l'air intérieur

rpm : Rotation par minute

SIM : Selected Ion Mass

Liste des abréviations

T : Température

TSP : Total Suspended Particulate

UV : Ultra-violet

µm : Micromètre

INTRODUCTION

GENERALE

L'environnement est l'ensemble des éléments naturels (biophysique) et culturels (humain). La culture humaine en rupture avec l'environnement naturel résulte la pollution globale et locale planétaire [1].

Les polluants que l'on retrouve dans l'atmosphère peuvent être d'origine anthropique, c'est-à-dire produits par les activités humaines ou d'origine naturelle (émissions par la végétation, l'érosion du sol, les volcans, les océans, etc.). Tous les secteurs d'activité humaine sont susceptibles d'émettre des polluants atmosphériques : les activités industrielles, les transports (routiers et non routiers), les activités domestiques (chauffage en particulier), l'agriculture, la sylviculture...etc. [2]. Les polluants observés dans l'atmosphère ne sont pas tous émis directement par ces sources. Ils résultent aussi de réactions physico-chimiques entre composants chimiques (polluants primaires et autres constituants de l'atmosphère) régies par les conditions météorologiques.

L'exposition à la pollution de l'air ambiant peut avoir des effets néfastes sur la santé. Elle peut entraîner le développement et/ou l'exacerbation de maladies pulmonaires telles que la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) et l'asthme [3]. De plus, c'est un facteur important dans la pathogenèse des maladies cardiovasculaires et même du diabète, et peut augmenter le risque de mortalité. Les particules en suspension dans l'air ont été définies comme cancérogènes potentiels par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) [4]. Les matières particulaires (PM) sont des mélanges complexes de particules extrêmement petites et de gouttelettes liquides, constituées d'acides, de produits chimiques, de métaux, de particules de terre ou de poussière.

Il est indéniable que de nombreux bienfaits découlent de l'activité physique. Les gens font de l'exercice dans des centres de fitness pour améliorer leur santé et leur bien-être, prévenir les maladies et augmenter leur attrait physique. Cependant, ces installations rejoignent les conditions qui entraînent une mauvaise qualité de l'air intérieur [5]. De plus, l'augmentation des taux d'inhalation pendant l'exercice a une influence sur les doses inhalées de pollution atmosphérique.

Ce travail vise à estimer la dose inhalée de polluants atmosphériques pendant l'activité physique, en mesurant les concentrations de polluants atmosphériques dans les centres de fitness.

Comme dans la plupart des lieux accueillant du public, la qualité de l'air dans les salles de sport est influencée par l'entretien des bâtiments, les matériaux de construction, le type de ventilation mais également par le taux d'occupation et le type d'activités pratiquées. Certains polluants, comme le formaldéhyde (CH_2O), sont même libérés par les meubles, les produits nettoyants, les peintures et les équipements (tapis, machines...) [6].

Des concentrations élevées, qui peuvent persister sur de longue durée, sont parfois le signe d'une ventilation insuffisante des locaux. Elles s'expliquent aussi par la dispersion de la poussière remuée par les mouvements des sportifs.

Ce manuscrit est constitué de trois chapitres. Le premier chapitre présente une généralité sur la pollution atmosphérique (les principaux polluants, leurs classifications et leurs effets sur la santé), suivi par des notions sur l'activité physique (quelques définitions, les conditions influent sur la qualité de l'air intérieur et quelques valeurs réglementaires des polluants). Dans le deuxième chapitre qui concerné à la partie expérimentale, j'ai mentionné la méthode à choisir pour le prélèvement, le type des appareille et des filtres utilisés, un petit aperçu sur les sites d'études et aussi les procédures de pré-analytique (extraction, concentration, purification...). Le dernier chapitre (résultat et discussion), est consacré à la variation journalière de la matière particulaire en suspension PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ ainsi l'influence des conditions météorologie dans tous les sites étudiées, et aussi à l'analyse qualitative des HAPs et des n-Alcanes par la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM) dans les quatre sites étudiés.

Références

- [1] Ben-medjahed M (2008) mémoire Magister : Gisement éolien de la région côtière de Béni Saf et son impact sur l'environnement, Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen, Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelable URMER_Tlemcen.
- [2] McDonald R. D., Zielinska B., Fujita E. M., Sagebiel J. C., Chow J. C., Watson J. G (2000) Fine particle and gaseous emission rates from residential wood combustion. Environ. Sci. Technol. 34, 2080-2091.
- [3] Dockery D.W., Stone P.H (2007) Cardiovascular Risks from Fine Particulate Air Pollution. The New England journal of medicine 356:511.
- [4] World health statistics (2016) World health statistics 2016: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. World Health Organization, Geneva
- [5] Bralewska K., Rogula-Kozłowska W (2020) Environmental Science, Building and Environment Health exposure of users of indoor sports centers related to the physico-chemical properties of particulate matter, 01/08/2020.
- [6] Grotto I., Hassan O.A., Evander M., Disaster-Med P (2017) Physical activity and sport competitions under air pollution conditions.

CHAPITRE I :
GENERALITE SUR LA
POLLUTION ATMOSPHERIQUE

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

I.1. Introduction

On définit la pollution de l'air comme l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives. [1]

En pratique, il peut s'agir de l'introduction de substances nouvelles ou, cas le plus fréquent, du rejet de composés déjà présent à l'état naturel mais dont nous modifions par nos activités les concentrations dans le milieu aérien. La composition chimique de l'air ambiant résulte en effet essentiellement de processus naturels et ceux-ci peuvent émettre également des substances « polluantes » telles que du dioxyde de soufre et des particules fines (volcanisme, activité biologique des océans et embruns marins, poussières désertiques, etc.), des oxydes d'azote (activité biologique des sols, production lors des orages, etc.), des hydrocarbures (émissions par la végétation, les océans, etc.), de l'ozone (apports d'air en provenance de la stratosphère et réactions photochimiques entre oxydes d'azote et hydrocarbures d'origine naturelle). Les principaux polluants sont le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les particules, les métaux lourds, les hydrocarbures et les composés organiques volatils, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, le monoxyde de carbone, l'ammoniac, l'ozone et les polluants photochimiques. [2]

I.2. Définition de la pollution atmosphérique selon la réglementation Algérienne

On entend par pollution de l'atmosphère au sens de la présente loi, l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumées ou de particules solides ou liquides, corrosifs, toxiques ou odorantes, de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites. [3]

I.3. Sources de pollution

La pollution de l'air est un mélange complexe, en évolution constante, de polluants qui peuvent être :

- **Chimiques**: comme par exemple l'ozone, le dioxyde et les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, les métaux (arsenic, plomb), certains composés organiques volatils (COVs) comme le butane, l'éthanol ou le benzène, ou encore des hydrocarbures (hydrocarbures

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

aromatiques polycycliques – HAPs) présents dans le charbon, le pétrole, ou provenant de la combustion des carburants ou du bois; [4]

- **Physiques** : comme les particules fines, des poussières constituées d'une multitude de composants chimiques ;
- **Biologiques** : tels que les pollens et les moisissures.

Ces polluants de l'air proviennent en minorité de phénomènes d'origine naturel (vents de sable du Sahara, érosion des sols, éruptions volcaniques...) et en majorité des activités humaines. [5]

I.4. Les principaux polluants et leurs effets sur la santé

I.4.1. Dioxyde de soufre (SO₂)

Il provient essentiellement de la combustion de combustibles fossiles contenant du soufre tel que le fioul et le charbon.

Le dioxyde de soufre provenant lors de développements du nucléaire, de l'utilisation de combustibles moins chargés en soufre et des systèmes de dépollution des cheminées d'évacuation des fumées, des économies d'énergie, les concentrations ambiantes ont diminué de plus de 50 % depuis 15 ans.

En présence d'humidité (H₂O), le dioxyde de soufre forme de l'acide de sulfurique (H₂SO₄) qui contribue au phénomène de pluies acides et à la dégradation de la pierre et des matériaux de certaines constructions. [6]

Le SO₂ c'est un gaz irritant. Des expositions courtes à des valeurs élevées (250 µg/m³) peuvent provoquer des affections respiratoires (bronchites,...) surtout chez les personnes sensibles.

Le mélange acido-particulaire peut, selon les concentrations des différents polluants, déclencher des effets broncho spastique chez l'asthmatique, augmenté les symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire), altérer la fonction respiratoire chez l'enfant (baisse de la capacité respiratoire, excès de toux ou de crise d'asthme).

I.4.2. Oxydes d'azote (NO_x)

Ils proviennent surtout des véhicules (environ 75%) et des installations de combustions (centrales énergétiques,...).

Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) font l'objet d'une surveillance attentive dans les centres urbains. Le pot catalytique permet une diminution des émissions de chaque véhicule.

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

Les NO_x interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère, ils contribuent également au phénomène des pluies acides.

Le NO₂ pénètre dans les pluies fines ramifications des voies respiratoires. Il peut, dès 200 µg/m³ (microgrammes par m³ d'air), entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyperréactivité bronchique chez l'asthmatique et chez les enfants, augmenter la sensibilité des bronches aux.

I.4.3. Monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone provient de la combustion incomplète des combustibles et carburants. Des taux importants de CO peuvent être rencontrés quand le moteur tourne dans un espace clos (garage) ou quand il y a une concentration de véhicules qui roulent au ralenti dans des espaces couverts (tunnel, parking), ainsi qu'en cas de mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage.

Le CO se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur, des vaisseaux sanguins. A des taux importants, et à doses répétées, il peut être à l'origine d'intoxication chronique avec céphalées, vertiges, asthénie, vomissements. En cas d'exposition très élevée et prolongée, il peut être mortel ou laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles.

I.4.4. Composés Organiques Volatils (COVs)

Les COVs sont multiples, il s'agit d'hydrocarbures émis par évaporation des bacs de stockage pétroliers et remplissage des réservoirs automobiles, de composés organiques provenant des procédés industriels ou de la combustion incomplète des combustibles, de solvants émis lors de l'application des peintures, des encres, le nettoyage des surfaces métalliques et des vêtements, de composés organiques émis par l'agriculture et par le milieu naturel. [7]

Les COVs interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère.

Les effets sont très divers selon les polluants : ils vont de la simple gêne olfactive à une irritation (aldéhydes), à une diminution de la capacité respiratoire jusqu'à des risques d'effets mutagènes et cancérigènes (benzène).

I.4.5. Poussières ou particules en suspension (PS)

Les particules en suspension constituent un complexe de substances organiques ou minérales. Elles peuvent être d'origine naturelle (volcan) ou anthropique (combustion industrielle ou de chauffage, incinération, véhicules). On distingue: les particules « fines » provenant des fumées

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

des moteurs diesel ou des vapeurs industrielles recondensées et les «grosses» particules provenant des chaussées ou d'effluents industriels (combustion et procédés).

Les particules les plus fines peuvent transporter des composés toxiques dans les voies respiratoires inférieures (sulfates, métaux lourds, hydrocarbures.), peuvent, surtout chez l'enfant, irriter les voies respiratoires ou altérer la fonction respiratoire.

Les particules en suspension les plus grosses sont retenues par les voies aériennes supérieures, certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes : c'est le cas de certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) [8].

I.4.6. Métaux lourds « Pb, Cd et V »

Les métaux lourds ont la propriété de s'accumuler dans l'organisme, engendrant ainsi un risque de toxicité à long terme impliquant d'éventuelles propriétés cancérigènes. [8]

*Le plomb (Pb) a été employé dans l'essence du fait de ses propriétés antidétonantes. Les essences sans plomb ou à teneurs réduites en plomb ont permis d'abaisser depuis quelques années les teneurs dans l'air très en deçà des seuils de nuisances. Le plomb est un toxique neurologique, rénal et du sang.

*Le cadmium (Cd) a des origines très diverses essentiellement, industrielles, et a un effet sur l'appareil rénal, c'est aussi un irritant respiratoire

*Le vanadium (V) est un indicateur de combustible industriel et domestique, est essentiellement un toxique respiratoire qui peut conduire, selon les concentrations, à une simple irritation ou à des lésions pulmonaires plus graves.

Le tableau suivant représente les concentrations moyennes de différents polluants dans une atmosphère dite propre ou naturelle et une atmosphère polluée.

Tableau. I.1 Concentrations moyennes en ppb de différents polluants dans une atmosphère dite propre ou naturelle et une atmosphère polluée. [9]

Polluants	Atmosphère naturelle (ppb)	Atmosphère polluée (ppb)
Dioxyde de soufre(SO₂)	1-10	20-200
Monoxyde de carbone (CO)	120	1000-10000
Monoxyde d'azote (NO)	0.01-0.05	50-750
Dioxyde d'azote(NO₂)	0.1-0.5	50-250
Ozone (O₃)	20-80	100-500
Ammoniac	1	10-25
Formaldéhyde	0.4	10-50
Acide nitreux	0.001	1-8

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

I.5. Classification des polluants atmosphériques

On peut classer les polluants atmosphériques selon :

I.5.1. Leurs sources

I.5.1.1. Source naturelle

Certains polluants atmosphériques peuvent provenir de sources naturelles comme par exemple :

- Les COVs, sont libérés dans l'atmosphère lors des feux de forêts ou par évaporation.
- Les volcans dégagent du dioxyde de soufre et de grandes quantités de cendres volcaniques.
- Particules générées à partir de certains gaz sous l'action de la chaleur des UV et de l'humidité.
- Pollens, bactéries, champignons, spores, insectes, sable fin, poussière du sol....etc.

Cependant, ces polluants naturels ne restent dans l'atmosphère qu'un court laps de temps et n'entraînent pas de modification atmosphérique permanente.

I.5.1.2. Source anthropique

Les principales sources de la pollution atmosphérique liées à l'homme, à son mode de vie et à ses activités sont :

- La production d'énergie à partir de la combustion de combustibles fossiles, qui contribue au réchauffement planétaire (production H₂O et CO₂).
- La fermentation de matières organiques dans les décharges ou dépôts de déchets de l'agriculture et d'élevage moderne.
- Le transport, les activités industrielles, les activités domestiques...etc.



Figure I.1: Sources naturelle et anthropique des polluants atmosphériques.

I.5.2. Leurs caractéristiques chimiques et physiques

I.5.2.1. Les polluants gazeux : composés de molécules très éloignées les unes des autres et libres de se déplacer.

I.5.2.2. Les polluantes particulaires : (solide ou liquide) comme les aérosols qui sont de fines particules (0.001 micron à 1 mm) dispersées dans les gaz, on distingue :

- Les PM_{10} (particules de diamètre < 10 micros)
- Les $PM_{2,5}$ (particules de diamètre $< 2,5$ microns)
- Les PM_1 (particules ultrafines)

I.5.3. Selon leurs origines

I.5.3.1. Polluants primaires

Les polluants primaires émis directement par une source identifiable comme par exemple : les oxydes de carbone, de soufre et d'azote, des COVs (composés organiques volatils), des particules et des métaux lourds...etc.

I.5.3.2. Polluants secondaires

Les polluants secondaires sont des composés (polluant) produits par réactions chimiques entre des polluants primaires et/ou des composés de l'atmosphère, comme l'ozone par exemple, produit par la réaction photochimique entre les oxydes d'azote, les COV et d'autres composants de l'atmosphère. [10]

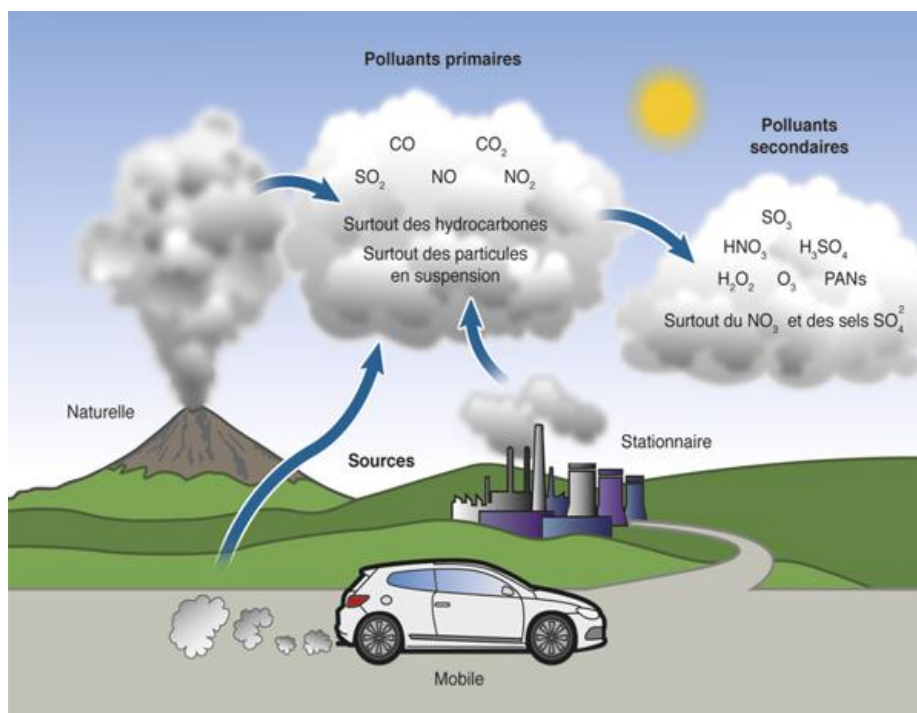


Figure I.2: Origines primaire et secondaire des polluants atmosphériques

I.6. L'activité physique

I.6.1. Définitions

- **Activité physique** : tous les mouvements corporels produits par la contraction des muscles squelettiques entraînant une augmentation de la dépense énergétique au-dessus de la dépense de repos. Elle comprend tous les mouvements de la vie quotidienne, y compris ceux effectués lors des activités de travail, de déplacement ou de loisirs.

L'activité physique a été calculée en minutes de tâches métaboliques équivalentes par semaine (MET-min/semaine). [11]

- **Sport** : sous-ensemble de l'activité physique, spécialisé et organisé, consistant en une activité revêtant la forme d'exercices et/ou de compétitions, facilitées par les organisations sportives.
- **Sédentarité** : la sédentarité ou « comportement sédentaire » est définie comme une situation d'éveil caractérisée par une dépense énergétique inférieure ou égale à la dépense de repos en position assise ou allongée : déplacements en véhicule automobile, position assise sans activité autre, ou à regarder la télévision, la position statique debout, la lecture ou l'écriture en position assise (1,3 MET), le travail de bureau sur ordinateur, toutes les activités réalisées au repos en position allongée (lire, écrire, converser par téléphone, etc.).
- **l'inactivité** : caractérise un niveau insuffisant d'activité physique d'intensité modérée à élevée, ne permettant pas d'atteindre le seuil d'activité physique recommandé de 30 minutes d'AP d'intensité modérée, au moins 5 fois par semaine, ou de 20 minutes d'AP intensité élevée au moins 3 jours par semaine. [12]

I.6.2. Les bienfaits de l'activité physique

Une activité physique régulière (marche, vélo, cabre, sport en général ou détente active, etc.) est très bénéfique pour la santé. Toute activité physique est préférable à l'absence totale d'exercice. On peut atteindre aisément les niveaux d'activité recommandés en augmentant son niveau d'activité par des moyens relativement simples tout au long de la journée.

Une activité physique régulière peut :

- améliorer les aptitudes musculaires et la capacité cardiorespiratoire ;
- améliorer la santé osseuse et les capacités fonctionnelles ;

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

- réduire le risque d'hypertension, de cardiopathie coronarienne, d'accident vasculaire cérébral, de diabète, de divers types de cancer (notamment les cancers du sein et du côlon) et de dépression ;
- réduire le risque de chute ainsi que de fracture du col du fémur ou de fracture vertébrale ; et
- contribuer à maintenir un poids corporel sain.

I.6.3. les risques liés à la sédentarité

La sédentarité représente l'un des principaux facteurs de risque de mortalité liée aux maladies non transmissibles. Les personnes ayant une activité physique insuffisante ont un risque de décès majoré de 20 % à 30 % par rapport à celles qui sont suffisamment actives.

Nos modes de vie deviennent de plus en plus sédentaires, du fait du recours aux transports motorisés et de l'utilisation accrue des écrans dans le cadre du travail, de l'éducation et des loisirs. Les données factuelles montrent qu'une plus forte sédentarité est liée aux mauvais résultats suivants en matière de santé :

- adiposité accrue (gain de poids) ;
- une santé cardio-métabolique, condition physique, et comportement social ou attitude comportementale de moindre qualité ;
- durée de sommeil réduite ;
- mortalité toutes causes confondues, mortalité liée à des maladies cardiovasculaires et mortalité liée au cancer ;
- incidence de maladies cardiovasculaires, de cancer et de diabète de type-2. [13]

I.7. Qualité de l'air intérieur

À la différence de la pollution de l'air extérieur, davantage connue et médiatisée, celle de l'air intérieur est restée relativement méconnue du grand public. Pourtant, les individus passent près de 90 % de leur temps dans des environnements clos : habitats, locaux de travail ou destinés à recevoir du public, moyens de transport, dans lesquels ils peuvent être exposés à de nombreux polluants. Quand le sujet a émergé, on pensait que la pollution intérieure des locaux était uniquement due au transfert de l'air extérieur. Depuis, tous les travaux démontrent que les polluants présents dans l'air intérieur sont bien typiques de cet environnement, qu'ils sont nombreux et doivent être pris en compte dans leur globalité. Les problèmes de santé dus à cette pollution sont multiples et recouvrent des manifestations cliniques très diverses, qui, pour la plupart, ne sont pas spécifiques des polluants détectés.

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

Généralement, on distingue les effets liés à de courtes expositions aux concentrations élevées de polluants, de ceux consécutifs d'expositions de longue durée aux faibles doses.

Les premiers rassemblent notamment des symptômes d'irritations de la peau, des muqueuses ou du tractus respiratoire, des nausées ou des céphalées, pouvant même aller jusqu'à la mort dans certains cas d'intoxication au monoxyde de carbone (CO). Les seconds regroupent des pathologies respiratoires, neurologiques ou cardio-vasculaires par exemple, et peuvent aller jusqu'au développement de certains cancers. [14]

I.7.1. Qualité de l'air intérieur dans les salles de sport

Comme dans la plupart des lieux accueillant du public, la qualité de l'air dans les salles de sports est influencée par l'entretien des bâtiments, les matériaux de construction, le type de ventilation mais également par le taux d'occupation et le type d'activités pratiquées. Certains polluants, comme le formaldéhyde, sont même libérés par les meubles, les produits nettoyants, les peintures et les équipements (tapis, machines...).

Des concentrations élevées, qui peuvent persister sur de longue durée, sont parfois le signe d'une ventilation insuffisante des locaux. Elles s'expliquent aussi par la dispersion de la poussière remuée par les mouvements des sportifs. Par cet enchaînement, le taux de particules en suspension augmente dans l'air, tout comme celui du dioxyde de carbone (CO₂). En effet, pendant l'effort physique, le métabolisme demande plus de dioxygène (O₂), et donc extrait davantage de dioxyde de carbone (CO₂).

I.7.2. Les conditions influent sur l'air intérieur des salles de sport

Les sportifs, en particulier les habitants des grandes villes, essayant d'éviter l'air urbain contaminé choisit généralement les centres de fitness, les gymnases, les sports salles, etc., pour faire de l'exercice. Souvent, ils ne sont pas conscients du pire air qualité à l'intérieur des installations sportives qu'à l'extérieur. Qualité de l'air intérieur (QAI) dans les installations sportives dépend de nombreux facteurs. Les plus importants sont les suivants:

I.7.2.1. Température et l'humidité

La température de l'air ambiant est le paramètre le plus perceptible et offre un confort thermique aux usagers de l'installation. Un centre sportif couvert doit être maintenu à une température qui assure la dissipation de la chaleur sans créer des impressions négatives, par exemple, froides ou chaudes. La température appropriée peut être assurée par des moyens techniques : climatisation, ventilateurs, toits ou murs isolant ou protégeant des sources de

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

chaleur ; réduire la chaleur gains à travers les fenêtres ou les lucarnes à l'aide de films ou de stores réfléchissants ; et évacuer les gaz d'échappement chauds à l'extérieur de l'espace sportif. Selon la société américaine des ingénieurs en chauffage, réfrigération et climatisation (ASHRAE), l'humidité relative de l'air doit être comprise entre 25 % et 60 %, et température de l'air ambiant dans la plage de 24,5 à 28 °C ; la dynamique de ses variations ne doit pas être supérieure à 20 % par heure. Basse température de l'air et une humidité accrue peuvent rendre l'air ambiant vicié et étouffant, tandis que la température élevée réduit la quantité de chaleur donnée loin par le corps. De plus, une faible humidité de l'air ambiant peut provoquer assèchement des muqueuses des voies respiratoires supérieure et remise en suspension des poussières déposées sur le sol ou sur les surfaces d'objets divers. Une humidité élevée peut entraîner des moisissures et des dommages aux bâtiments. [15]

I.7.2.2. La ventilation

La ventilation a pour but d'assurer le renouvellement de l'air dans les bâtiments afin d'évacuer les polluants de l'air intérieur. Elle consiste en l'évacuation de l'air intérieur vicié d'une part et l'alimentation en air neuf extérieurs d'autre part.

Les polluants intérieurs évacués par la ventilation sont notamment : le CO₂ et les bio-effluents émis par les personnes, les polluants chimiques (émis par les matériaux et le mobilier), les agents biologiques (bactéries, virus), les poussières, l'humidité émise par les personnes ou certaines activités, etc. [16]

I.8. L'exposition des polluants pendant l'activité physique

Pendant l'activité physique, la ventilation respiratoire (volume de ventilation par minute) et le volume d'air entrant dans le corps augmentent considérablement, par exemple les athlètes peuvent respirer plus de 150 litres d'air par minute (contre 5-6 litres par minute au repos). De plus, pendant l'exercice aérobic, il y a un passage de la respiration nasale (dans laquelle un filtrage initial des polluants est effectué) à la respiration buccale, ce qui entraîne de grandes quantités d'air non filtré qui pénètrent dans le corps et des polluants qui sont transportés plus profondément vers les poumons. [17] Par conséquent, l'exercice physique dans des conditions de pollution de l'air ambiant peut entraîner une exposition plus élevée aux polluants, par rapport à l'exposition d'une personne non active dans les mêmes conditions environnementales. L'exposition aux polluants atmosphériques est proportionnelle à la durée de l'activité physique, par exemple, la course à pied ou le football dans des conditions de

pollution atmosphérique exposera l'athlète à plus de pollution atmosphérique que la course de 100 mètres dans des conditions similaires.

I.9. Le danger de faire du sport dans les salles à cause de la pollution

À l'arrivée du froid et des longues nuits d'hiver, bien des sportifs abandonnent footing et autres activités de plein air au profit des salles de gymnasium et de fitness. Mais si l'intérêt de pratiquer une activité physique pour préserver sa santé est indéniable, les études qui paraissent dans la revue scientifique «Building and Environnement » soulève [18] des questions quant à la qualité de l'air dans les gymnases: peut-on vraiment pratiquer du sport en salle les yeux fermés et les narines grandes ouvertes? [19]

Beaucoup d'études scientifiques ont examiné les possibles risques de faire du sport en atmosphère confinée et polluée (on sait maintenant que les lieux fermés sont souvent beaucoup plus pollués que dehors, ce « dehors » fût-t-il en pleine ville). [20]

L'air intérieur, notamment dans les salles de sport, est surchargé en particules de taille inférieure à 10 micromètres (PM₁₀), dioxyde d'azote (NO₂), ozone (O₃), dioxyde de soufre (SO₂). [21]

Ces gaz et particules agressent les muqueuses respiratoires, agissent sur les bronches et développent la sensibilité aux allergènes et aux infections virales.

Spécifiquement à propos des salles de gym, des chercheurs des universités de Lisbonne (Portugal) et de Delft (Pays-Bas) ont surveillé la qualité de l'air dans plusieurs salles de sports en mesurant la présence de polluants comme le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), l'ozone (O₃) et les particules en suspension (PS).

Des produits chimiques libérés par les produits de nettoyage, les tapis, les meubles, la peinture. Mais aussi divers produits chimiques libérés par les tapis, produits de nettoyage, meubles ou la peinture, y compris le formaldéhyde», détaillent Carla Ramos, un des auteurs de l'étude.

Cette étude a indiqué des concentrations de produits toxiques supérieures aux valeurs limite, notamment lors des cours d'aérobic, quand il y a une forte affluence et que les gens remuent, produisant beaucoup de CO₂ et remuant la poussière.

C'est la concentration élevée de cette poussière et des produits chimiques (dont formaldéhyde) qui est l'élément le plus préoccupant pour la santé.

En effet, ces substances peuvent développer l'asthme et d'autres problèmes respiratoires.

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

En France, depuis le Grenelle de l'environnement, il devait y avoir des obligations concernant le traitement de l'air mais la mesure a été plus ou moins diluée même s'il y a une obligation avec un débit minimal d'air neuf par pratiquant équivalant à 25m³/h. [22]

Si vous persistez à fréquenter les salles de sport, vérifiez quand même bien la ventilation du bâtiment, les odeurs que vous détectez (« renfermé » et « produits de nettoyage » sont 2 odeurs suspectes pour la qualité de l'air) et aussi la manière dont sont nettoyés les sols. La serpillère permet de nettoyer la poussière beaucoup mieux qu'un balai. [23]

I.10. Impact de la pollution de l'air intérieur sur le comportement en matière d'activité physique

Les effets néfastes de la pollution de l'air sur l'évolution des maladies ont été largement documenté (OMS 2018), mais on en sait moins sur son impact sur le comportement des gens lui-même. La pollution de l'air ambiant peut décourager personne de pratiquer une activité physique régulière grâce à plusieurs mécanismes. Premièrement, la pollution de l'air diminue la fonction pulmonaire, élève tension artérielle et autre symptômes cardiovasculaire et respiratoire entraînant une diminution de la capacité d'exercice et des performances. Seconde, la pollution atmosphérique visible, comme le smog, pourrait décourager les gens de s'engager dans les activités de plein air. Dans ce qui suit, nous résumer les preuves récentes de l'impact de la pollution de l'air sur comportement d'activité pour les populations vivant dans un environnement fortement pollué et sur le comportement d'activité physique pendant les épisodes de grand air la pollution. [24]

I.11. La relation entre la taille des aérosols et leur pénétration dans le système respiratoire

Les aérosols pénètrent à des profondeurs différentes dans le système respiratoire qui est composé de fosse nasale, pharynx, larynx, bronche bronchioles (0.5 à 1 mm de diamètre) et alvéoles. Les poumons contiennent de 3 à 6 10⁸ alvéoles de diamètre d'environ 0.2 mm.

Le diamètre des particules est un paramètre qui détermine lesquelles qui pénètre dans le système respiratoire et à quel endroit elles se localisent ainsi :

- Les grosses particules (diamètre > 10µm), principalement d'origine naturelle, n'ont qu'un faible impact sur la santé : elles se déposent très rapidement sur le sol ou elles sont arrêtées par des poils de nez et par les muqueuses nasales et par la suite sont désorbées par les glaires ou avalées.

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

- Les particules fines (PM_{10}) et très fines ($PM_{2,5}$) pénètrent, quant à elles, plus ou moins profondément dans le système respiratoire selon leur taille. Les particules de la fraction $< 2,5 \mu m$ peuvent pénétrer plus profondément et les plus petites peuvent être acheminées jusque dans les alvéoles pulmonaires, où il y a passage de substances toxiques voire dangereux vers la circulation sanguine. Ces particules ne sont enlevées des poumons que très lentement et incomplètement (des semaines et même des années).

Le danger pour la santé dépend également de la nature chimique et de l'éventuelle association à d'autres polluants (métaux lourds, HAPs). En raison de leur caractère potentiellement mutagène et/ou cancérigène, les suies, HAPs, amiante et particules contenant dans la fraction particulaires fines présentent un grand risque que les particules d'argile et de sable qui appartiennent à la fraction grosse $2,5$ à $10 \mu m$. [25]

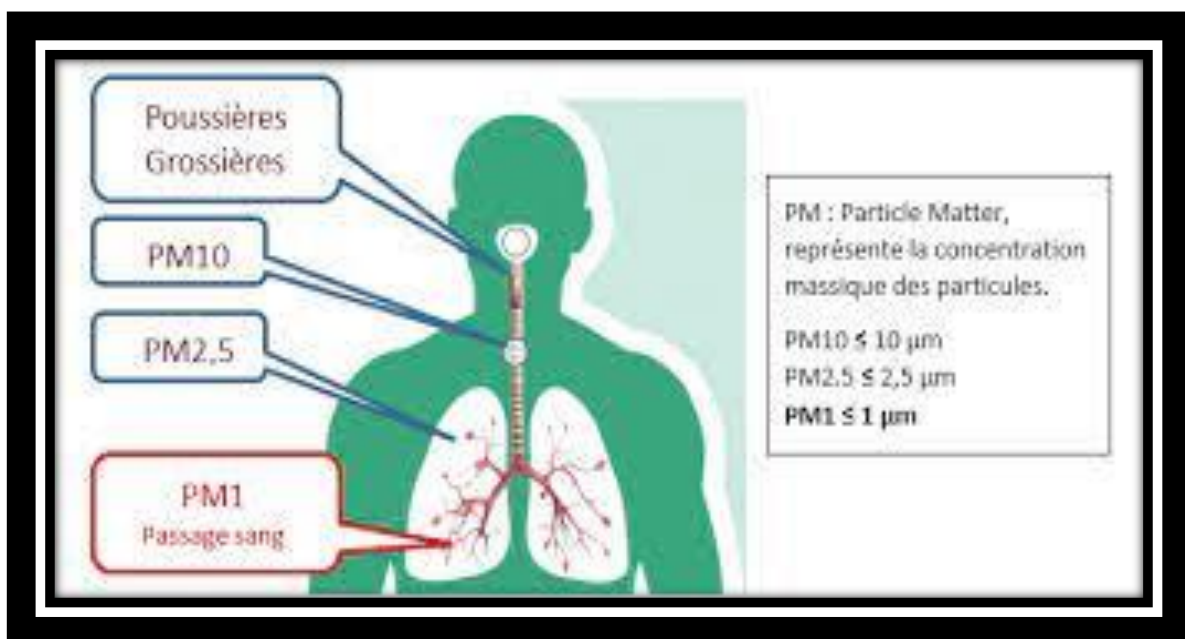


Figure I.3: Niveau de dépôt des particules inhalées dans l'appareil respiratoire selon leur taille.

I.12. Rapport bénéfice/risque de l'activité physique et l'exposition aux polluants atmosphériques

Une étude parue dans le journal européen du cœur (European Heart Journal) se penche sur le sujet du rapport bénéfice/risque entre la pratique d'une activité physique et les risques associés à l'exposition à des polluants atmosphériques pendant celle-ci. [26]

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

Le consensus scientifique actuel sur ce point est qu'en dehors de pics de pollutions caractérisées, les bénéfices en matière de santé apportés par une activité physique en plein air sont supérieurs aux risques dus à l'inhalation de polluants.

L'étude conclut en insistant sur le fait que maintenir une activité physique reste essentiel pour prévenir les risques cardio-vasculaires tant que les niveaux de pollution atmosphérique sont modérés. En 2020, la Société Européenne de Cardiologie (ESC) indique dans ses recommandations que le maintien d'une activité physique de manière régulière (150 à 300 min/semaine d'exercices modérés ou 75 à 150 min/semaine d'exercices intenses) permet de diminuer le risque de développer des maladies cardiovasculaires. [27]

I.13. Définition et valeurs réglementaires des quelques polluants

La réglementation Algérienne du 7 Janvier 2006 pour les particules fines en suspension fixe une valeur guide de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ avec $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ comme valeur limite [28]. La directive européenne 2008/50/CE concernant les PM_{10} stipule une valeur journalière de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$, similaire à celle fixée par la réglementation algérienne, mais une valeur annuelle à ne pas dépasser à partir de 2010 est de seulement $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ [29].

Le tableau suivant représente des définitions de quelques valeurs réglementaires des polluants

Tableau I.2 : Définitions des valeurs réglementaires des polluants

La valeur	Définition	But de protection
Valeur limite	À ne pas dépasser dans un délai donné (basé sur des connaissances scientifiques)	Santé humaine et environnement
Objectif de qualité	À atteindre à long terme	Santé humaine et environnement
Niveau d'information	Pour l'émission d'information à des groupes et de recommandations pour réduire les émissions	Santé humaine de groupes sensibles
Niveau d'alerte	Pour l'intervention de Mesures d'urgence	Santé humaine et environnement

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

D'un point de vue toxicologique, NO est réducteur et peu toxique, mais NO₂ est oxydant et doit être surveillé et contrôlé. Ainsi, la réglementation européenne a fixé pour objectif une moyenne annuelle de concentration inférieure à 40 µg m⁻³ pour l'année 2010. [29]

D'autres définitions plus vagues, ou du moins plus générales, peuvent être retrouvées dans la réglementation. Dans ce sens, d'après la directive NEC (National Emission Ceilings) n° 2001/81/CE [30], les COVs sont tous les composés organiques découlant des activités humaines, autres que le méthane, et capables de produire des oxydants photochimiques par réaction avec des oxydes d'azote en présence de lumière solaire.

Le tableau suivant représente les valeurs réglementaires des polluants

Tableau I.3 : Moyennes des valeurs réglementaires des polluants. [31]

	Valeur limite	Objectif de qualité / à long terme	Seuil d'information	Seuil d'alerte
PM_{2,5}	25 µg/m ³ (an)	10 µg/m ³ (an)		
PM₁₀	40 µg/m ³ (an) 50 µg/m ³ (jour, à ne pas dépasser plus de 35 jours/an)	30 µg/m ³ (an)	50 µg/m ³ (jour)	80 µg/m ³ (jour) ou 50 µg/m ³ (jour, prévue pour le jour même et le lendemain)
NO₂	40 µg/m ³ (an) 200 µg/m ³ (heure, à ne pas dépasser plus de 18 heures/an)		200 µg/m ³ (heure)	400 µg/m ³ (heure, pendant 3 heures consécutives) ou 200 µg/m ³ (heure, si déclenché la veille, le jour même et prévu pour demain)
O₃	Valeur cible pour la protection de la santé : 120 µg/m ³ (sur 8 heures glissantes à ne pas dépasser plus de 25 jours/an)	Protection de la santé : 120 µg/m ³ (sur 8 heures glissantes)	180 µg/m ³ (heure)	<u>Seuil 1</u> : 240 µg/m ³ (heure, sur 3 heures consécutives) <u>Seuil 2</u> : 300 µg/m ³ (heure, sur 3 heures consécutives) <u>Seuil 3</u> : 360 µg/m ³ (heure) ou 180 µg/m ³ (heure, prévu pour le jour même et le lendemain)
SO₂	125 µg/m ³ (jour, à ne pas dépasser plus de 3 jours/an) 350 µg/m ³ (heure, à ne pas dépasser plus de 24 heures/an)	50 µg/m ³ (an)	300 µg/m ³ (heure)	500 µg/m ³ (heure, sur 3 heures consécutives)

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

Références

- [1] Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996.
- [2] Rabhi L(2013) Thèse Magister : Analyse de micropolluants organiques dans l'air, P16, U.S.T.H.B, 29/01/2013.
- [3] Journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire, du 08 février 1983 Loi no 83-03 du 08 février 1983 relative à la protection de l'environnement.
- [4] Cointe R (2006) Prev'air, L'air de la France aujourd'hui et demain, Origine et sources de pollution, 03/06/2006.
- [5] Revelli-Beaumont N (2018), Ministère des solidarités et de la santé Française, Qualité de l'air : Sources de pollution et effets sur la santé.
- [6] Gouvernement du Canada, Pluies acides : causes et effets.
- [7] Orecca « Observatoire Régional Energie Changement Climatique Air » (2015), Composés Organiques Volatils Non Méthaniques.
- [8] IARC Handbooks of Cancer Prevention (2005) International Agency for Research on Cancer : Cervix Cancer Screening. International Agency for Research on Cancer.
- [9] Boris F (2013) Thèse doctorat : Etude de la pollution atmosphérique en Afrique Sub-Saharienne : Cas de Cotonou (Benin) – Caractérisation physicochimique des matières particulaires d'origine urbaine et impact toxicologique sur des cellules épithéliales bronchiques humaines (BEAS-2B) cultivées in vitro, Université du Littoral Côte d'opale.
- [10] Lacour S (2004) «pollution atmosphérique » Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement Atmosphérique. 6-8 Avenue Blaise Pascal, Cité Descartes, 77455 Champs sur Marne.
- [11] Kim S.R., Choi S., Kim K., Chang J., Kim S.M., Cho Y., Oh Y.H., Lee J., Son JS(2021), Association of the combined effects of air pollution and changes in physical activity with cardiovascular disease in young adults. European Heart Journal, 42, 2487–2497.
- [12] Praznocy C (2016) Directrice de l'ONAPS, Faculté de médecine de l'université d'Auvergne, Laboratoire de physiologie et de biologie du sport, pollution atmosphérique N° 231-232 , Décembre 2016.
- [13] Organisation mondiale de la santé (OMS), Activité physique.
- [14] Kopp P et al(2014) Etude exploratoire du coût socio-économique des polluants de l'air intérieur – ANSES Avril 2014 / « Une première estimation des couts sociaux économiques des polluants de l'air intérieur » ADSP n°90, mars 2015 p4-8.

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

- [15] Bralewska K., Rogula-Kozłowska W (2020) Health exposure of users of indoor sports centers related to the physico-chemical properties of particulate matter, *Building and Environment*.
- [16] Service public Fédéral de la Santé publique(2021), de la Sécurité de la Chaîne alimentaire et de l'Environnement, recommandations relatives à la ventilation des bâtiments hors hôpital et institutions de soins pour limiter la transmission de SARS-COV-2 par voie aéroportée, février 2021 CSS N° 9616.
- [17] American College of Sports Medicine (ACSM) (2000), *Guidelines for exercise testing and prescription*. 6th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- [18] Mandin C (2013), *Qualité de l'air et gymnase : état des lieux de la recherche et des risques potentiels*, Février 2013.
- [19] Marie-Noëlle D (2014), *LE FIGARO.fr*, L'air des salles de gym chargé en polluants, 14/11/2014.
- [20] Brunet M (2019), *Faire du sport dans une ville polluée: bonne ou mauvaise idée?*, *Le FIGARO.fr*, 30/11/2019.
- [21] Organisation mondiale de la santé (2021) *Pollution de l'air ambiant (extérieur)*, 22/09/2021.
- [22] Le service de veille en droit de l'environnement santé et sécurité des CCI (2022) *L'aération et l'assainissement des locaux de travail*, Avril 2022.
- [23] Tubbydev(2022) *Bien-être beauté et forme Copyright*, *Le sport en salle est-il dangereux à cause de la pollution ?*, 2022.
- [24] Tainio M., Andersen Z.J., et al (2021), *Air pollution, physical activity and health: A mapping review of the Evidence*, *Environment International* 147 105-954,2021.
- [25] Bernal-Martinez A(2005) *Thèse de doctorat (Elimination des hydrocarbures aromatiques polycycliques présents dans les boues d'épuration par couplage ozonation digestion anaérobie)*, Université sciences et techniques du Languedoc, Montpellier II, 14/09/2005.
- [26] *European Heart Journal*(2017) *Les bénéfiques et les risques de la pratique du vélo*, octobre2017.
- [27] Kim S.R., Choi S., Kim K., et al: *Association of the combined effects of air pollution and changes in physical activity with cardiovascular disease in young adults*, *European Heart Journal*, 2021.
- [28] Décret exécutif n° 06-02 du 7 Janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.

Chapitre I : Généralités sur la pollution atmosphérique

[29] Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 Mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

[30] Directive NEC (National Emission Ceilings) n° 2001/81/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 Octobre 2001 fixant des plafonds d'émission nationaux pour certains polluants atmosphériques.

[31] Organisation mondiale de la santé (OMS) (2021) Pollution de l'air ambiant (extérieur), 22/09/2021.

CHPITRE II :

PARTIE EXPERIMENTALE

II.1. Méthode de prélèvement

La collecte correcte d'un aérosol est toujours une opération difficile, en tout cas beaucoup plus difficile que la collecte d'un gaz. Afin d'obtenir un échantillon représentatif il faut éviter :

- La fractionnement des particules (certaines particules ne sont pas recueillies).
- La présence de coudes dans les canalisations.
- Les artefacts chimiques, c'est-à-dire les réactions catalysées par la surface de collecte des aérosols.

Des pertes peuvent aussi se produire en raison notamment des charges électrostatiques déposées sur le filtre ou du colmatage de celui-ci, si le prélèvement est trop long, etc.

L'efficacité globale de l'échantillonnage est liée [1] :

- La géométrie de l'appareil.
- La vitesse du vent.
- La charge du filtre.
- Au débit de la pompe employée.

Le protocole de prélèvement d'un aérosol doit donc être très précis et tenir compte de tous ces paramètres. À défaut d'un prélèvement strictement exact, on se contente souvent d'un prélèvement contrôlé et reproductible.

On peut prélever soit [2] :

- La totalité des particules (TSP : Total Suspended Particulate) ;
- La fraction inférieure à 10 μm (PM_{10}) ;
- La fraction inférieure à 2,5 μm , ($\text{PM}_{2,5}$) ;
- La fraction inférieure à 1 μm , (PM_1).

Le prélèvement a lieu après l'installation du montage à l'endroit souhaité, Il se compose d'une pompe pour aspirer l'air à l'intérieur du salle, un compteur pour mesurer le volume d'air inhalé, et un porte-filtre qui est installé à une hauteur de 1,5 mètre ou plus, simule approximativement la longueur d'une personne, le porte-filtre est fourni avec l'un des filtres préalablement préparés. Les parties du montage sont reliées les unes aux autres par un tuyau comme indiqué dans la figure II.1. Avant le démarrage, le volume initial du compteur, le temps de fonctionnement et les autres paramètres doivent être notés.



Figure II. 1 : montage de prélèvement des particules.

II.1.1. Choix des types des filtres

Dans notre étude nous avons utilisé deux types de filtres à savoir, le filtre en quartz et le filtre en téflon (PTFE). Durant cette étude, les filtres a été choisi par apport l'adéquation entre les propriétés intrinsèques du filtre tel que la matière, épaisseur et la porosité et le type de particule que l'on souhaite piéger (PM_{10} , $PM_{2,5}$) et la technique d'analyse retenue.

Ce type de filtres permettent d'analyser ensuite les composés organique piégés.

En particulier les filtre en quartz sont résistant à l'action des solvants organiques, il s'utilise directement, il suffit de peser chaque filtre et de le placer dans des boîtes de pitres propres et sèches [3].

II.1.2. Préparation de filtres

Avant de commencer les prélèvements des échantillons, nous préparons du papier filtre en quartz (marque de MUNKTELL FILTRE, SUÈDE), en le découpant en cercles de 47 mm de diamètre, nous les mettons en groupes et les recouvrons de papier d'aluminium. Nous les chauffons au four à une température de $480^{\circ}C$ pendant 48 heures pour se débarrasser de toutes les impuretés présentés (figure II.2). Nous les mettons directement dans un dessiccateur contenant du gel de silice pour éviter l'absorption d'humidité.

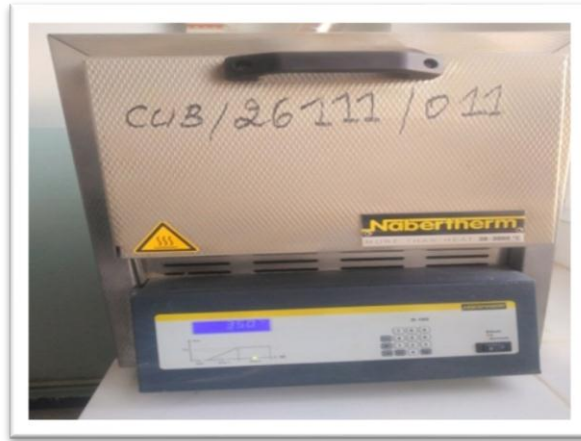


Figure II. 2 : Four utilisé pour la préparation des filtres (marque nabertherm).

II.1.3. L'échantillonnage

Dans le cadre de notre étude, on a utilisé deux types de pompes de prélèvement :

- Une pompe à volume moyen (MVS) de marque « MILLIPORE», avec un débit moyen de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ (figure II.3).
- Une pompe à volume faible (LVS) de marque « LABOPORT», avec un débit moyen de $0,723 \text{ m}^3/\text{h}$ (figure II.4).

La pompe (MVS) est utilisé pour les prélèvements de la matière particulaire de taille inférieures à $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}), alors que, la pompe (LVS) est utilisé pour la collecte de la matière particulaire de taille inférieures à $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) [4].



Figure II. 3 : pompe à volume moyen(MVS)



Figure II. 4 : pompe à volume faible(LVS)

II.2. Mesure de la température et l'humidité

Comme il a été mentionné dans le chapitre précédente, la température (T) et l'humidité (H), ont un effet direct sur la qualité de l'air intérieur dans les espaces clos. A cet effet, nous avons mesuré ces deux variables quotidiennement pendant toute la durée de l'échantillonnage, et ces mesures sont réalisées à l'aide d'un appareil de marque « Digital series » (figure II.5).



Figure II.5 : Thermomètre et hygromètre numérique utilisé pendant la période d'étude

II.3. Description des sites

Nous avons choisi pour évaluer notre étude plusieurs salles de sport dans la région de Bouira, avec différents services tels que la gymnastique, le fitness, la natation, etc..., afin de diversifier et enrichir l'étude et fournir suffisamment d'informations.

L'étude a été réalisée au niveau de quatre sites à savoir :

II.3.1. Salle de gymnastique (Gym) et fitness (Fit)

Le premier site est la salle de gymnastique et de fitness situé dans une quartier commercial.

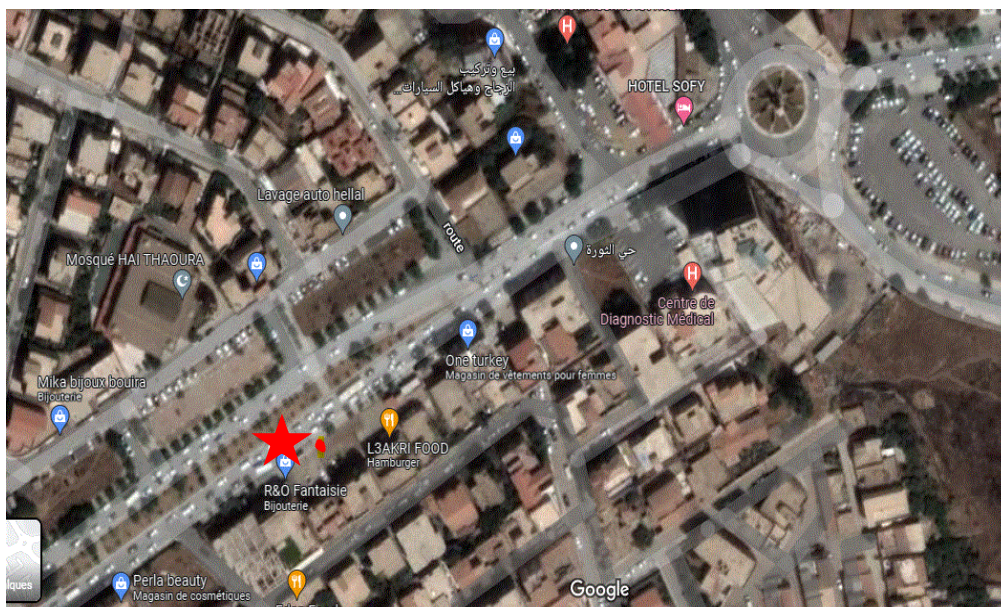


Figure II. 6 : Localisation satellitaire de site de mesure présentant la salle de gymnastique et fitness

Chapitre II : Partie expérimentale

Ce site est considéré comme étant un site urbain à forte densité de population. Ce site compte plus de 500 abonnés pour les Hommes et plus de 250 pour les salles des femmes. Cette salle composée de trois étages, elle a été créée en 2020, et a une capacité d'accueillir plus de 700 personnes, l'image satellitaire et le matériel utilisé à l'intérieur de la salle de ce site est montrée dans les figures II.6 et II.7.



Figure II.7 : Le différent matériel utilisé à l'intérieur de la salle de gymnastique et fitness.

II.3.2. Salle Omni sport (SOS)

Nous avons choisi la salle multisports comme deuxième site d'étude, qui comprend de nombreux sports quotidiens tels que le handball, le basket-ball, et d'autres activités pendant le week-end. Elle a été créée en 2003. Elle compte plus de 1000 abonnés. L'image satellitaire et l'endroit exact de l'échantillonnage de ce site est donnée sur les figures II.8 et II.9.



Figure II.8 : Image satellitaire présentant le site de l'échantillonnage de SOS.



Figure II.9 : Image présentant l'endroit exact de l'échantillonnage (à l'intérieur de la salle)

Les tableaux II.1 et II.2 montrent les différentes caractéristiques des sites d'échantillonnage étudiés.

Tableau II.1 : fiche technique des sites d'échantillonnage

Site	Gym et Fit	SOS
Année de construction	2020	2003
Lieu	Bouira centre	Route Ferme Ecole
Place	Zone commerciale	Zone urbain
Volume (m ³)		22000
Capacité (personne)	1 ^{ère} étage : 418 2 ^{ème} étage : 106 3 ^{ème} étage : 249	Jours de Sumène ≈100 Week-end ≈ 300-1000
Type de sol	Carrelage +tapis	Tapis
Type de mur	Maçonnerie +verre	Maçonnerie
Système de ventilation	naturelle	naturelle

Tableau II.2: caractéristiques de l'échantillonnage dans les sites d'étude.

site	Date	Les échantillons
Gym et Fit	De 28/02/2022 à 21/03/2022	04 échantillons (1 ^{ère} étage) «PM ₁₀ »
		04 échantillons (2 ^{ème} étage) «PM ₁₀ »
		06 échantillons (3 ^{ème} étage) «PM ₁₀ »
SOS	De 23/03/2022 à 04/04/2022	11 échantillons (PM ₁₀)
		11 échantillons (PM _{2,5})
MUS	De 11/04/2022 à 21/04/2022	09 échantillons (PM ₁₀)
		09 échantillons (PM _{2,5})
AERO	De 06/05/2022 à 14/05/2022	07 échantillons (PM ₁₀)
		07 échantillons (PM _{2,5})

II.4. Mesure des concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5} par la gravimétrie

La détermination des masses des particules piégées au niveau des filtres se fait par pesée différentielle des filtres rééquilibrés. Pour cela, les filtres sont séchés à un niveau d'humidité constant pendant 48 heures avant et après le prélèvement et leur masse est déterminée avec une microbalance (figure II.10). La différence de masse correspond à la quantité de poussière collectée.

Le matériau utilisé pour le filtre est fonction du problème à résoudre. Les filtres à base de fibre de PTFE ou de quartz sont bien adaptés pour la mesure des masses de particules par gravimétrie. Pour la détermination de constituants particuliers comme les métaux lourds, les filtres à PTFE ne présentant pas de matière liante en termes de blancs sont préconisés et sont par conséquent utilisés dans ce travail. [5]



Figure II.10 : Une microbalance

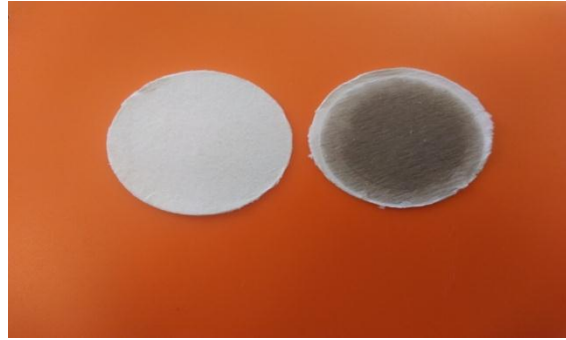


Figure II.11 : Filtre avant (à gauche) et après (à droite) le piégeage des particules.

II.5. Méthodes analytiques

La procédure pré-analytique est constituée de plusieurs étapes qui sont regroupées dans l'organigramme suivant [6] :

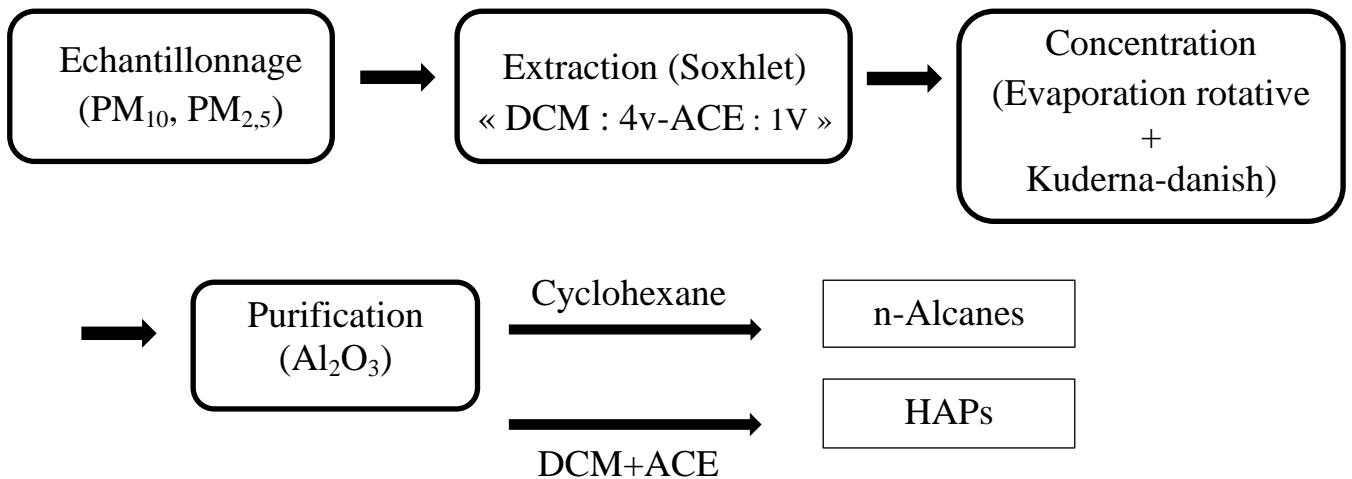


Figure II.12: Organigramme de la procédure pré-analytique.

II.5.1. Extraction au Soxhlet

Il s'agit d'une extraction solide liquide. L'extracteur de Soxhlet permet le traitement de solides de toutes tailles, avec des solvants en phase liquide ou partiellement vaporisés. Cet appareil porte le nom de son inventeur : Franz von Soxhlet [7].

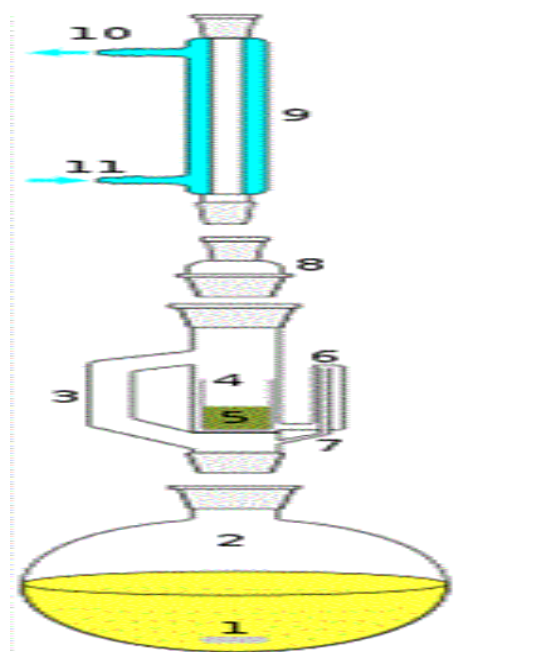


Figure II.13 : Représentation schématique d'un extracteur de Soxhlet.

Il se compose d'un corps en verre (4) dans lequel est placée une cartouche en papier-filtre épais en forme d'un bâtonnet (5), d'un tube siphon (6-7) et d'un tube d'adduction (3). Dans le montage, l'extracteur est placé sur un ballon (2) contenant le solvant d'extraction (1). Dans l'extracteur est insérée une cartouche dans laquelle est placé le filtre contenant l'espèce à extraire ; puis un réfrigérant (9-10-11) est adapté au-dessus de l'extracteur (figure II.13).

Quand le ballon est chauffé, les vapeurs de solvants passent par le tube adducteur, se condensent dans le réfrigérant et retombent dans le corps de l'extracteur, faisant ainsi macérer le solide dans le solvant (chauffé par les vapeurs se trouvant en dessous). Le solvant condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'à atteindre le sommet du tube-siphon, qui provoque alors le retour du liquide dans le ballon, accompagné des substances extraites, et le solvant contenu dans le ballon s'enrichit donc progressivement en composés solubles.

Le solvant continue de s'évaporer, alors que les substances extraites restent dans le ballon (leur température d'ébullition doit être nettement supérieure à celle du solvant extracteur). **[8]**

Dans notre étude, l'extraction a été effectuée en continu durant 16 heures, avec 150 ml de solvant (4 volumes de dichlorométhane (DCM) et 1 volume d'acétone).

Il est également souhaitable d'utiliser un bain polystat, afin d'éviter le gaspillage de l'eau, et aussi dans le cas où l'eau du robinet n'est pas assez disponible, nous le réglons à une température de 10°C pour que l'eau qui traverse le réfrigérant puisse condenser le solvant.

Le montage d'extraction est montré dans la figure II.14.



Figure II.14: L'appareillage d'extraction au Soxhlet.

II.5.2. Concentration

Afin de concentrer (évaporer) le solvant utilisé durant l'extraction, deux techniques complémentaires sont utilisées : l'évaporation rotative et la concentration par Kuderna-Danish.[9]

II.5.2.1. Concentration par évaporation rotative

Le principe d'un évaporateur rotatif est basé sur la distillation sous vide (partiel). Le solvant est mise en rotation pour augmenter la surface d'évaporation puis la pression est diminuée grâce généralement à une pompe à eau. La vitesse de rotation et le vide créés permettent l'évaporation à des températures inférieures aux températures d'évaporation des solvants à évaporer. [10]

Cette appareil est constitué notamment (Figure II.15) :

- d'un ballon (1) dans lequel on place le mélange contenant le solvant à évaporer ;
- d'un bain-marie avec contrôle de température ;
- d'un réfrigérant en forme de serpent, permettant aux vapeurs de solvant de se liquéfier ;
- d'un ballon (2) permettant de récupérer le solvant liquide (après liquéfaction des vapeurs) ;
- d'un moteur permettant de mettre en rotation le ballon contenant le mélange à évaporer, afin d'obtenir une évaporation plus régulière ;

Chapitre II : Partie expérimentale

- d'un bain thermostat pour refroidir l'eau passée à travers le réfrigérant ($T=10^{\circ}\text{C}$).

Il est relié à un système permettant d'abaisser la pression au sein du dispositif (une pompe par exemple).

Le ballon (1) contient le mélange dont on veut évaporer le solvant. Le solvant s'évapore et les vapeurs ainsi formées sont condensées par le réfrigérant dans un récipient différent du ballon (1) : le ballon de récupération (2). [11]



Figure II.15 : Dispositif de l'évaporation rotative pour la concentration.

Nous ajustons les paramètres comme indiqué sur la figure II.16, et surveillons le rota-vapeur jusqu'à obtenir un volume d'environ 10 ml de solvant.



Figure II.16: Paramètres expérimentaux de vide, rotation et de température dans l'évaporateur rotatif.

II.5.2.2. Concentration par Kuderna-Danish

Largement utilisé pour concentrer les échantillons, en particulier les pesticides et autres polluants avant l'analyse instrumentale

Comprends une colonne Snyder à deux ou trois billes, un flacon et un tube de prélèvement monté sur le ressort pour un accès pratique aux échantillons. [12]

Après avoir concentré le solvant préalablement dans le rota-vapeur, on le concentre une autre fois dans le Kuderna-Danish, jusqu'à l'obtention d'un volume de 1 ml [13,14,15].

Le montage de concentration par Kuderna-Danish est montré dans la figure II.17

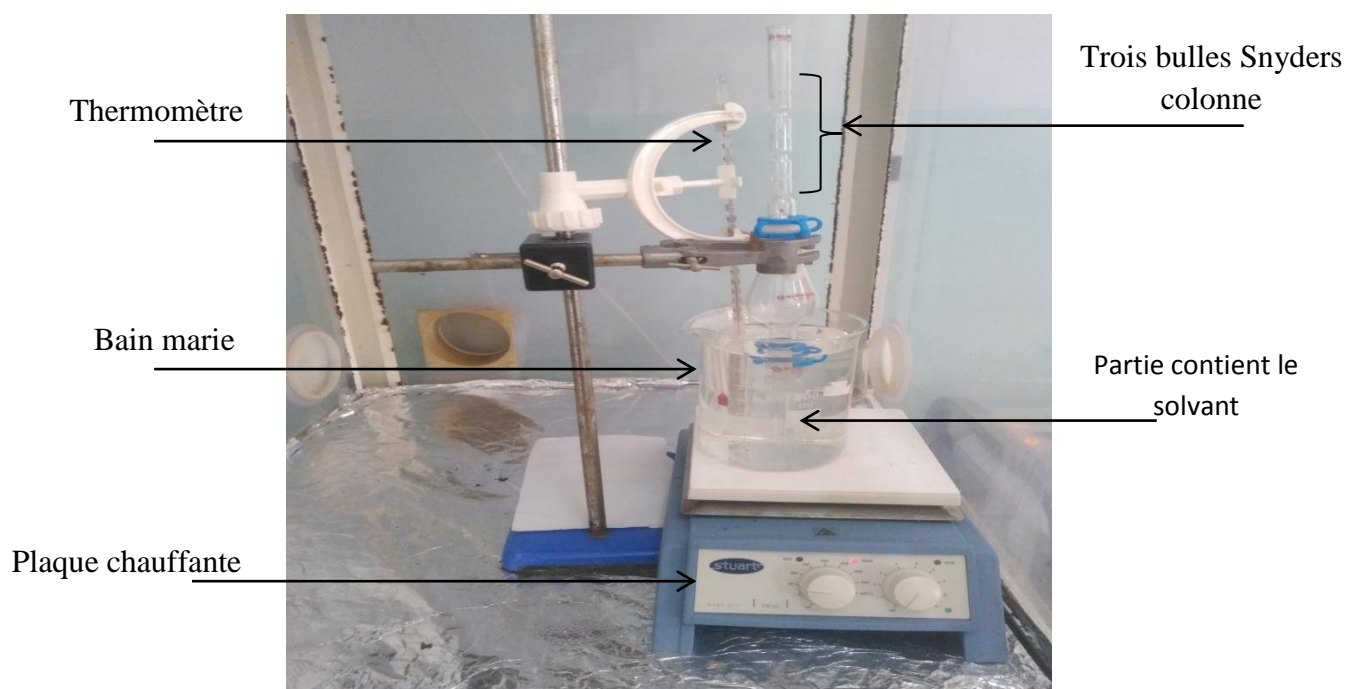


Figure II.17: Dispositif de la concentration par Kuderna-Danish.

II.5.3. Purification

L'extrait obtenu dans la partie précédente est élué à travers une colonne chromatographique, de diamètre interne égal à 1 cm et de 20cm de longueur. La colonne est remplie jusqu'à 10cm d'oxyde d'aluminium neutre (Al_2O_3) partiellement désactivé au laboratoire avec 1,5% d'eau ultra pure pour séparer les composés polaires des espèces aliphatiques apolaires. [13,14,15]

Différents solvants d'élution, d'affinité croissante pour les HAPs et n-alcanes vont passer successivement au travers de la colonne. Les HAPs sont typiquement recueillis par un mélange de solvants du dichlorométhane et acétone (DCM+ACE), alors que les n-alcanes sont récupérés par le cyclohexane.

II.5.4. Analyse par CG/SM

Le principe de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM) repose sur la détermination des masses des composés atomiques ou moléculaires dans la source. Elle permet d'obtenir des informations sur la nature, la composition et la structure des espèces présentes dans l'échantillon analysé. Le couplage de la chromatographie en phase gazeuse à la spectrométrie de masse est une association extrêmement efficace puisqu'il allie les propriétés séparatives exceptionnelles de la chromatographie gazeuse et la grande sensibilité de la spectroscopie de masse [16].

Le principe et formalités opératoires de CG/SM est montré dans la figure II.18.

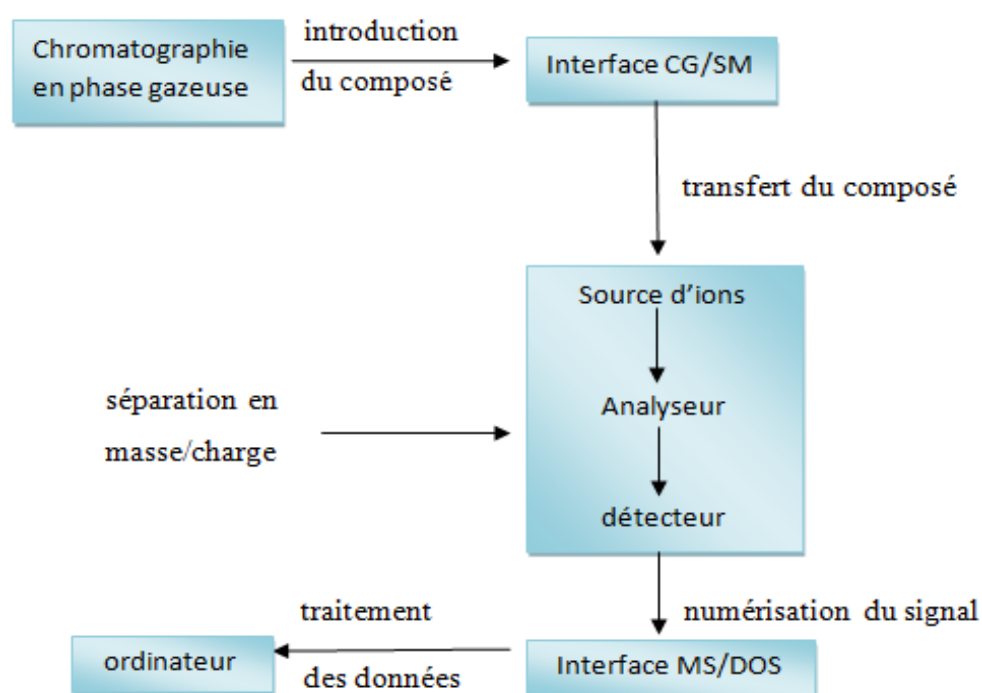


Figure. II.18. Le fonctionnement de système CG/SM

L'analyse des n-alcanes et des HAPs sont effectuées par un chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM) dans le mode impact électronique. Les spectres de masse ont été enregistrés en mode courant ionique total (TIC). L'appareil CG/SM utilisé est de marque Agilent, GC HP 6890 plus MSD HP 5973 A. 1 μL de chaque extrait a été injecté en utilisant un injecteur automatique ALS HP7683 B.

Le tableau suivant regroupe les conditions d'analyse par CG/SM.

Chapitre II : Partie expérimentale

Tableau II.3: Conditions d'analyse par CG/SM

Colonne	(HP5-MS (5% phényle et 95% méthyle polysiloxane) ; 30m x 0.25mm DI x 0.25µm)
Temperature de la colonne:	80 °C (2 min), 20°C/min, 170°C (2 min), 4°C/min, 280°C (15min)
Temperature de l'injecteur °C	250
Mode d'injection	Sans division
Débit du gaz vecteur He (ml/min)	0.7
Energie d'ionisation (eV)	70
Mode d'analyse	TIC (courant ionique total) pour les alcane SIM pour les HAPs
Balayage	40-550 uma

Références

- [1] Khedidji S., Croes K., Yassaa N., Ladj R., Denison M.S., Baeyens W., Elskens M. 2015. Assessment of dioxin-like activity in PM10 air samples from an industrial location in Algeria, using the DRE-CALUX bioassay. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 584, 1-4.
- [2] Claude S (2022) Thèse de doctorat (Evaluation de l'intérêt de l'échantillonnage passif d'aire et des analyses de chevaux dans le bio monitoring de l'exposition humaine aux HAPs et aux pesticides), université de Strasbourg, 21/09/2022.
- [3] Khedidji S, Müller K, Rabhi L, Spindler S, Fomba KW, Van Pinxteren D, Yassaa N, Herrmann H (2020) Chemical Characterization of Marine Aerosols in a South Mediterranean Coastal Area Located in Bou Ismail, Algeria. *Aerosol Air Qual Res* 20:2448–2473. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.09.0458>
- [4] Li X., Liu Z., Ren X., Li X., Wang Y (2012) Characteristics of PM10 and PM2.5 during summer time of 2007 and 2008 at Beijing National Stadium. *Trans. Atmos Sci* 35(2):197–204
- [5] Khedidji S(2017) Thèse de doctorat, Analyse des polluants organiques persistants (POPs) dans l'air, USTHB-Alger, 20/12/2017.
- [6] Khedidji S., Balducci C., Ladj R., Cecinato A., Perilli M., Yassaa N. 2017. Chemical composition of particulate organic matter at industrial, university and forest areas located in Bouira province, Algeria. *Atmos. Pollut. Res.* 8, 474-482.
- [7] Assami. K (2009). Etude comparative de différentes méthodes de piégeage et d'extraction de composés organiques particulaires (aérosols) dans quelques sites caractéristiques urbains et sub/urbains de l'algerois, Thèse de Magister, USTHB-Alger, 2009.
- [8] Buscail H(2015) LVEEM (Laboratoire Vellave sur l'Elaboration et l'Etude des matériaux), Département Chimie, 8 rue Jean-Baptiste Fabre, CS 10219, 43 009 Le Puy-en-Velay, 04 71 09 90 40, 2015.
- [9] Ladj R (2009) Thèse de Doctorat : Analyse qualitative et quantitative des composés organiques volatils, semi-volatils et particulaires dans l'air, USTHB-Alger, 2009.
- [10] Manuels d'instruction de Rota vapor Buchi R220 SE, 108p, 2016.
- [11] Mecquenem CD., Drommi M., Topart C(2018), Utilisation de l'évaporateur rotatif, 20/06/2018.
- [12] Thomas scientific, Kuderna-Danish Concentrator, 2022.
- [13] Yassaa N., Meklati B.Y., Cecinato A (2001), Chemical characteristics of organic aerosols in Algiers city area. Influence of a fat manufacture plant. *Atmos. Environ.* 35, 6003–6013.
- [14] Yassaa N., Meklati B.Y., Cecinato A., Marino F. 2001. Particulate n-alkanes, nalkanoic

Chapitre II : Partie expérimentale

acid and polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere of Algiers City. *Atmos. Environ.* 35, 1843–1851.

[15] Yassaa N., Cecinato A. 2005. Composition of torched crude oil organic particulate emitted by refinery and its similarity to atmospheric aerosol in the surrounding area.

Chemosphere. 60, 1660–1666.

[16] RABHI L(2019), Thèse doctorat ; Etude de la composition chimique des composés organique et inorganique dans l'air ambiant et confiné, université des sciences et de la technologie Houari Boumedién, 15/07/2019.

CHAPITRE III :

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre III : résultats et discussion

Dans cette partie d'étude nous étudions les concentrations de matières particulaires de taille inférieures à 10 μm (PM_{10}) et des particules de taille inférieures à 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) présentent des variations sur les échelles temporelles quotidiennes (journalières). Ces évolutions sont en corrélations directes avec la variabilité des activités physiques au sein de la salle et les variations des paramètres géophysiques et météorologiques [1]. De plus, nous focalisons notre travail sur l'identification des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) et les alcanes à chaîne linéaire.

III.1. Variations des concentrations journalières de PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ dans les différents sites

III.1.1. Variations journalières en PM_{10} dans la salle de gymnasium et fitness

Les variations journalières des concentrations en PM_{10} obtenues dans l'air intérieur de la salle de gymnasium (Gym) et fitness (Fit) sont représentées dans le tableau III.1 et la Figure.III.1.

Tableau III.1 : Variation journalière en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} dans salle de gymnasium et fitness.

Date	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Lun 28/02/2022	7,62
Mar 01/03/2022	12,84
Mer 02/03/2022	26,55
Dim 06/03/2022	22,17
Lun 07/03/2022	217,45
Mar 08/03/2022	66,44
Mer 09/03/2022	31,53
Dim 13/03/2022	21,38
Lun 14/03/2022	16,66
Mar 15/03/2022	17,46
Mer 16/03/2022	83,07
Sam 19/03/2022	11,54
Dim 20/03/2022	5,81
Lun 21/03/2022	5,68
Moyenne	39,01
Maximum	217,45
Minimum	5,68

Chapitre III : résultats et discussion

Nous remarquons que les concentrations en PM_{10} varient entre $5,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au 21/03/2022 (concentration minimale) et $217,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au 07/03/2022 (concentration maximale), avec une teneur moyenne journalière de $39,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durant la période de 28/02/2022 au 21/03/2022. Les concentrations journalières sont dépassées les normes ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) trois fois pour les jours du 07/03, 08/03 et le 16/03/2022 avec une moyenne journalière de 217,45 ; 66,44 et 83,07 respectivement.

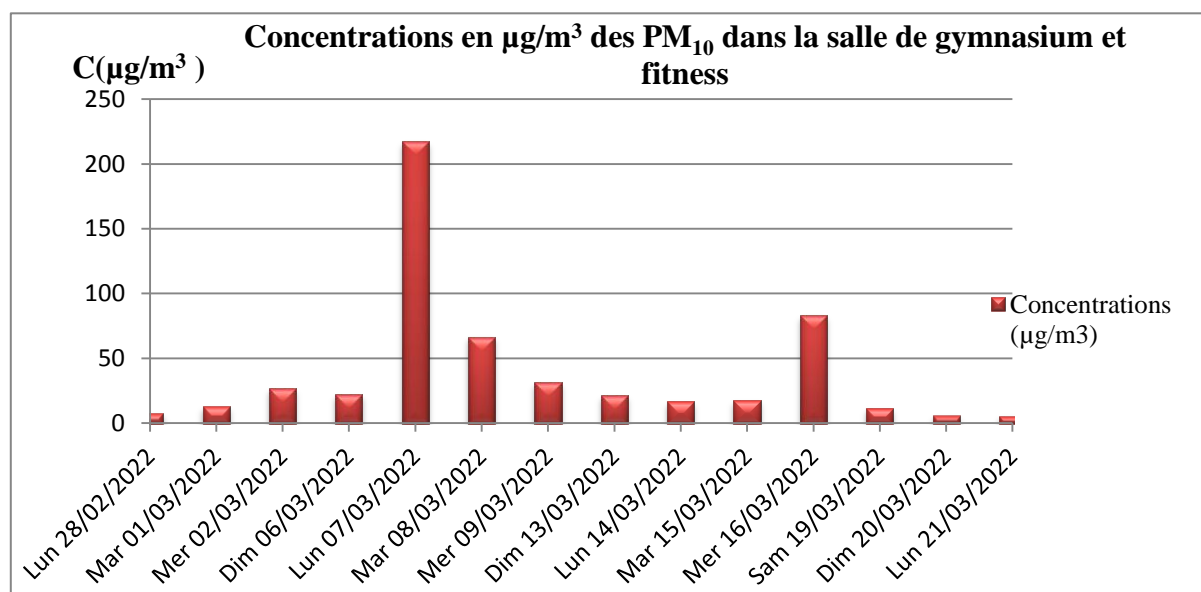


Figure III. 1: Variations journalières en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} dans la salle de gymnasium et fitness.

III.1.2. Variations journalières en PM_{10} et $PM_{2,5}$ dans la salle Omni Sport (SOS)

Les variations journalières des concentrations en PM_{10} et $PM_{2,5}$ obtenus dans la salle polyvalente de Bouira sont représentées par le tableau III. 2 et la figure. III. 2.

Tableau III.2 : Variation journalière en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} et $PM_{2,5}$ dans salle omni sport

Date	$PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{10}/PM_{2,5}$
Mer 23/03/2022	10,68	24,60	2,30
Jeu 24/03/2022	7,64	31,61	4,13
Ven 25/03/2022	18,34	49,55	2,70
Sam 26/03/2022	26,33	115,69	4,39
Dim 27/03/2022	30,42	51,87	1,70
Lun 28/03/2022	17,38	35,31	2,03
Mar 29/03/2022	22,77	45,78	2,01

Chapitre III : résultats et discussion

Mer 30/03/2022	12, 74	16,11	1,26
Jeu 31/03/2022	12,36	23,39	1,89
Dim 03/04/2022	13, 65	17,23	1,26
Lun 04/04/2022	22,82	25, 93	1,13
Moyenne	17,74	39,73	2,25
Maximum	30, 42	115, 69	4,39
Minimum	7, 64	17, 23	1,13

Nous remarquons que les concentrations en $PM_{2,5}$ varient entre 7,64 et 30,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondants le jeudi 24/03/2022 et le dimanche 27/03/2022 respectivement, avec une moyenne journalière de 17,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durant la période étudiée.

Pour les concentrations en PM_{10} , sont variées entre une valeur minimale de 17,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au samedi 26/03/2022, et une valeur maximale de 115,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au dimanche 03/04/2022, avec une moyenne journalière de 39,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Durant cette étude, les normes fixées pour la valeur limite de $PM_{2,5}$ et PM_{10} sont dépassées deux fois au samedi 26/03/2022 et dimanche 27/03/2022.

Nous constatons que les concentrations en PM_{10} sont supérieures de celles de $PM_{2,5}$ tout long de la période d'étude avec un rapport moyen de 2,25.

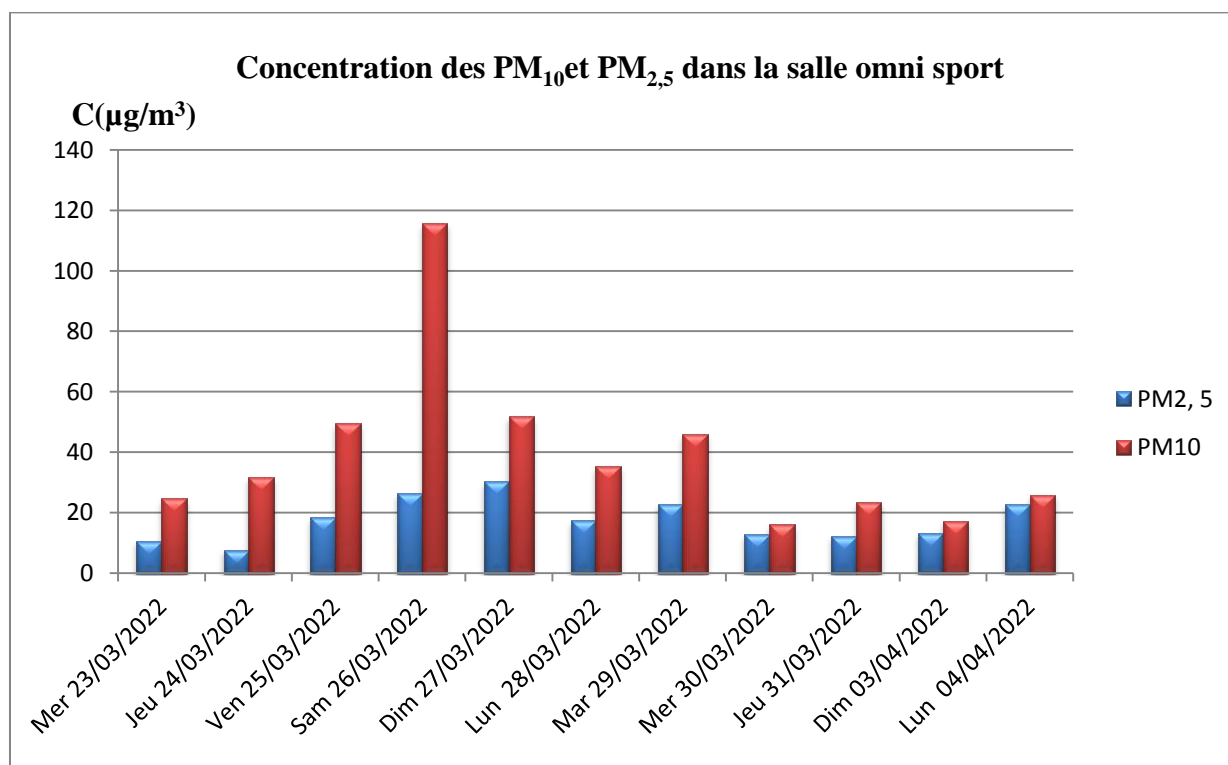


Figure III. 2 : Variation journalière en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} et $PM_{2,5}$ dans salle omni sport.

Chapitre III : résultats et discussion

III.1.3. Variations journalières en PM₁₀ et PM_{2,5} dans la salle de musculation (MUS)

Les variations journalières des concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5} obtenus dans la salle de musculation sont représentées par le tableau III.03 et la Figure.III.03.

Tableau III.3 : Variations journalières en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM₁₀ et PM_{2,5} dans la salle de musculation

Date	PM _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ /PM _{2,5}
Lun 11/04/2022	9,87	17,35	1,76
Mar 12/04/2022	3,54	17,22	3,61
Mer 13/04/2022	3,53	5,76	1,63
Jeu 14/04/2022	3,58	17,29	4,82
Ven 15/04/2022	12,45	64,28	5,16
Lun 18/04/2022	29,77	46,75	1,57
Mar 19/04/2022	15,01	23,37	1,56
Mer 20/04/2022	4,16	5,87	1,41
Jeu 21/04/2022	3,34	15,96	4,78
Moyenne	9,47	23,76	2,92
Maximum	29,77	64,28	5,16
Minimum	3,34	5,76	1,41

Les concentrations en PM_{2,5} sont variées entre une valeur minimale de 3,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et une valeur maximale de 29,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une teneur moyenne journalière de 9,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tandis que, les teneurs en PM₁₀, sont variés entre 5,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au mercredi 13/04/2022, et 64,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au vendredi 15/03/2022, avec une moyenne journalière de 23,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nous remarquons aussi que les teneurs en PM_{2,5} et PM₁₀ dans la salle de musculation sont dépassées les normes, aux jours de lundi 18/04/2022 et vendredi 15/04/2022 avec des concentrations moyennes de 29,77 et 64,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement.

Le rapport PM₁₀/PM_{2,5} est atteint presque à 3, donc les concentrations de PM₁₀ sont trois fois supérieures à celles des PM_{2,5}.

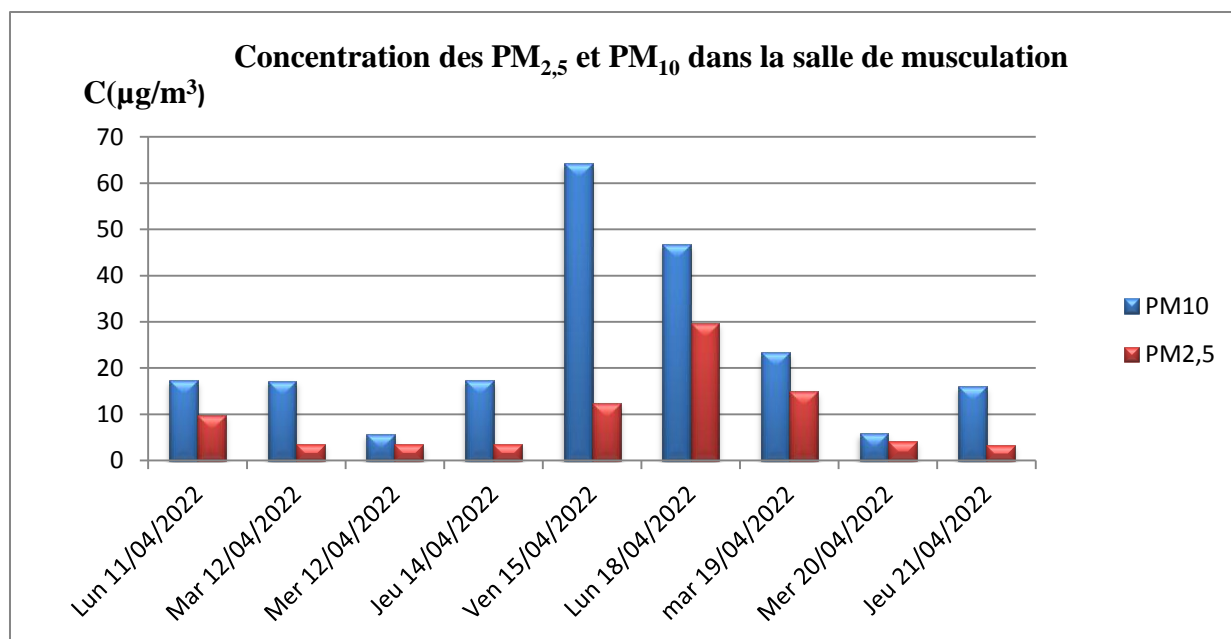


Figure III. 3 : Variations journalières en µg/m³ des PM₁₀ et PM_{2,5} dans salle de musculation

III.1.4. Variations journalières en PM₁₀ et PM_{2,5} dans la salle d'aérobie (AER)

Les variations journalières des concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5} obtenus dans l'air intérieur de la salle d'aérobie sont représentées par le tableau III. 4 et la Figure. III. 4.

Tableau III.4 : Variations journalières en µg/m³ des PM₁₀ et PM_{2,5} dans salle d'aérobie

Date	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM ₁₀ /PM _{2,5}
Ven 06/05/2022	9,94	17,29	1,74
Sam 07/05/2022	6,98	17,47	2,50
Dim 08/05/2022	3,49	16,94	4,85
Lun 09/05/2022	17,27	11,73	0,68
Mar 10/05/2022	6,36	22,81	3,58
Jeu 12/05/2022	9,73	35,57	3,65
Sam 14/05/2022	20,49	69,39	3,38
Moyenne	10,60	27,31	2,91
Maximum	20,49	69,39	4,85
Minimum	3,49	11,73	0,68

Chapitre III : résultats et discussion

Nous remarquons que les concentrations en $PM_{2,5}$ sont variées entre 3,49 et 20,49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une valeurs moyenne de 10,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alors que, les concentrations en PM_{10} varient de 11,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à 69,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une moyenne journalière de 27,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durant la période étudiée.

Les concentrations en $PM_{2,5}$ sont dans les normes, mais pour les PM_{10} sont dépassées une seul fois au samedi 14/05/2022 avec une concentration journalière de 69,39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sauf ça toutes les concentrations sont dans les normes.

Le rapport $PM_{10}/PM_{2,5}$ est de moyenne de 2,91, donc les concentrations en PM_{10} sont toujours supérieurs au $PM_{2,5}$, sauf le rapport correspond au jour 09/05/2022 qui égale à 0,68. Cela peut être dû à l'arrêt de la pompe d'échantillonnage en PM_{10} .

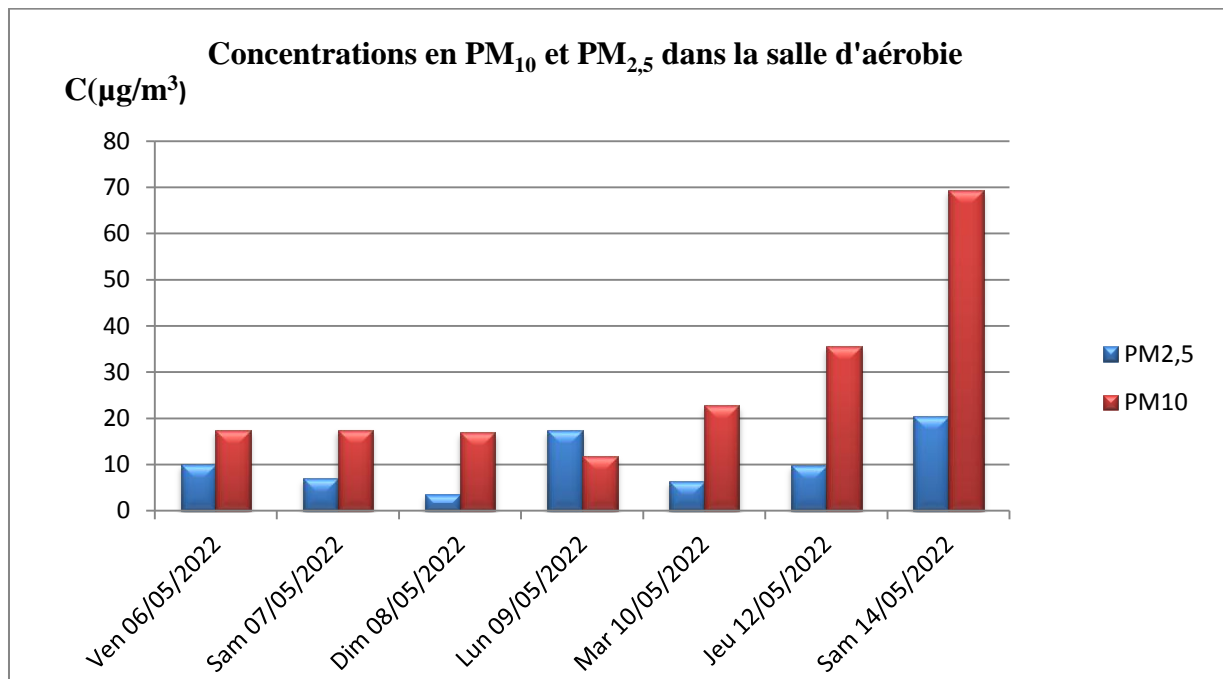


Figure III. 4 : Variation journalière en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} et $PM_{2,5}$ dans salle d'aérobie.

III.1.5. Comparaison entre les concentrations moyennes journalières des PM_{10} et $PM_{2,5}$ enregistrés dans les différents sites

Les concentrations moyennes de tous les sites d'échantillonnage sont représentées par le tableau III. 5 et la figure III.5.

Chapitre III : résultats et discussion

Tableau III.5 : Concentration moyenne totale en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de tous les sites d'échantillonnage

Site	Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	PM _{2,5}	PM ₁₀
Salle de gymnasium et fitness	n.e.	39,01
Salle omni sport	17,74	39,73
Salle de musculation	9,47	23,76
Salle d'aérobie	10,60	27,31

n.e : non étudié

Nous remarquons que les concentrations moyennes en PM₁₀ et PM_{2,5} de tous les sites sont dans les normes ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM₁₀ et $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{2,5}).

La salle qui marquée les plus fortes concentrations est la salle omni sport, alors que les concentrations moyennes les plus basses sont marquées dans la salle de musculation, cette différence de concentrations est due à plusieurs facteurs : système de ventilation, taux d'occupation, type d'activités pratiquées....etc.

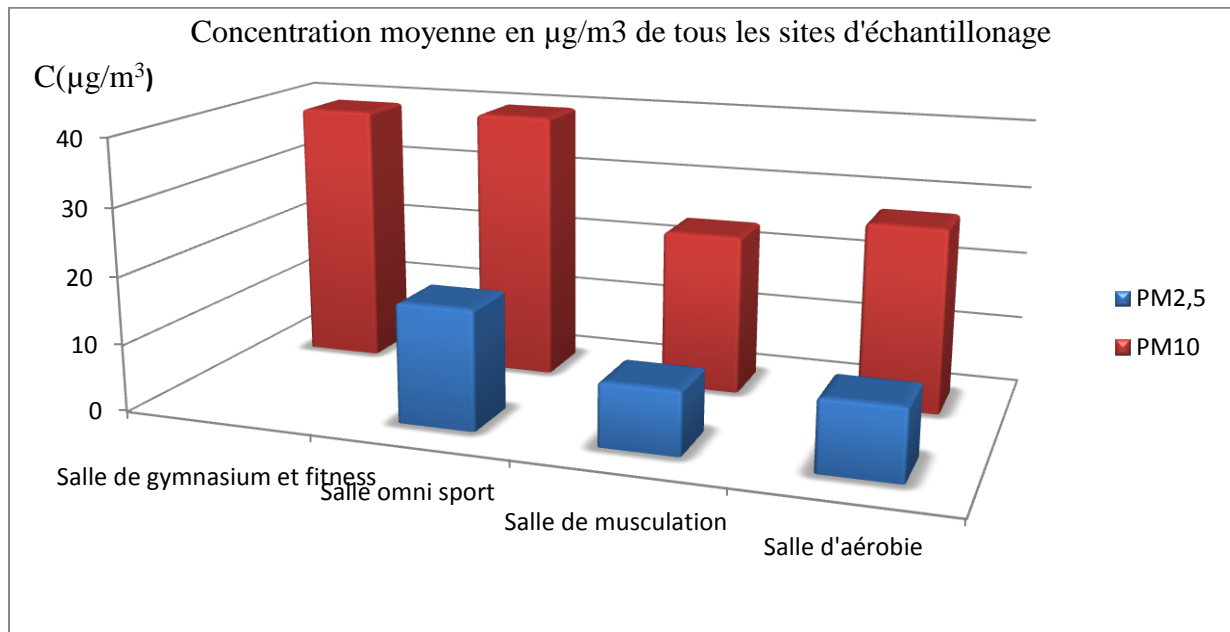


Figure III. 5 : Concentration moyenne en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de tous les sites d'échantillonnage

III.2. Les conditions météorologiques

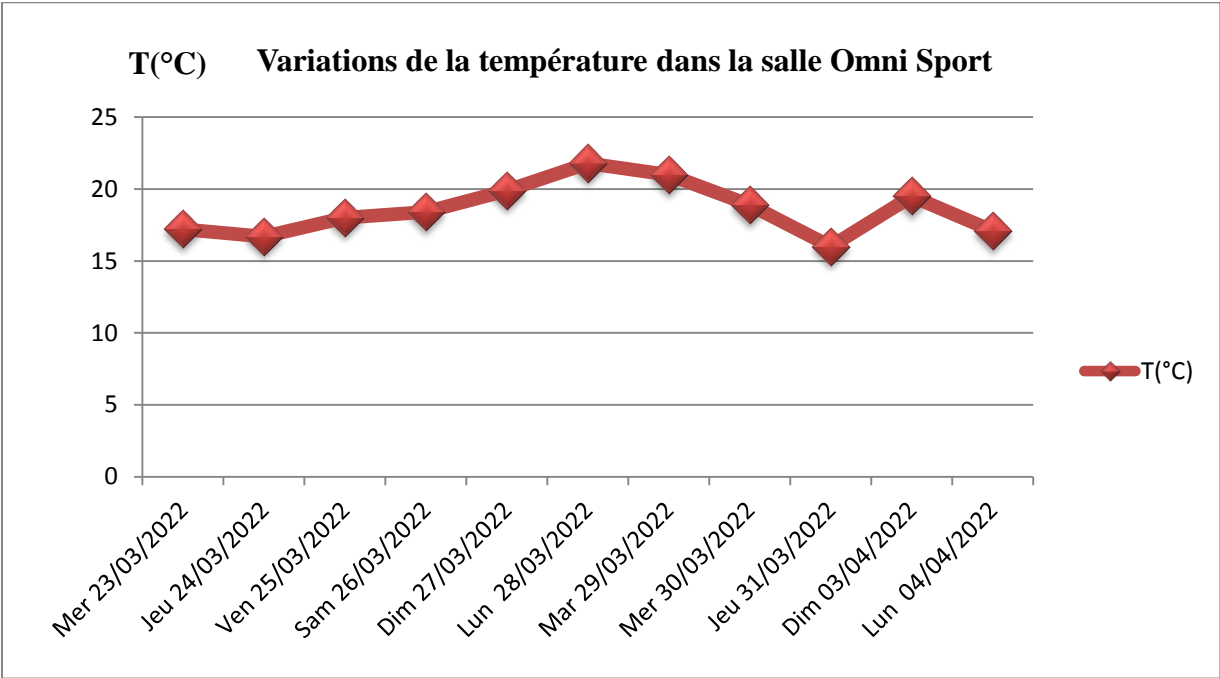
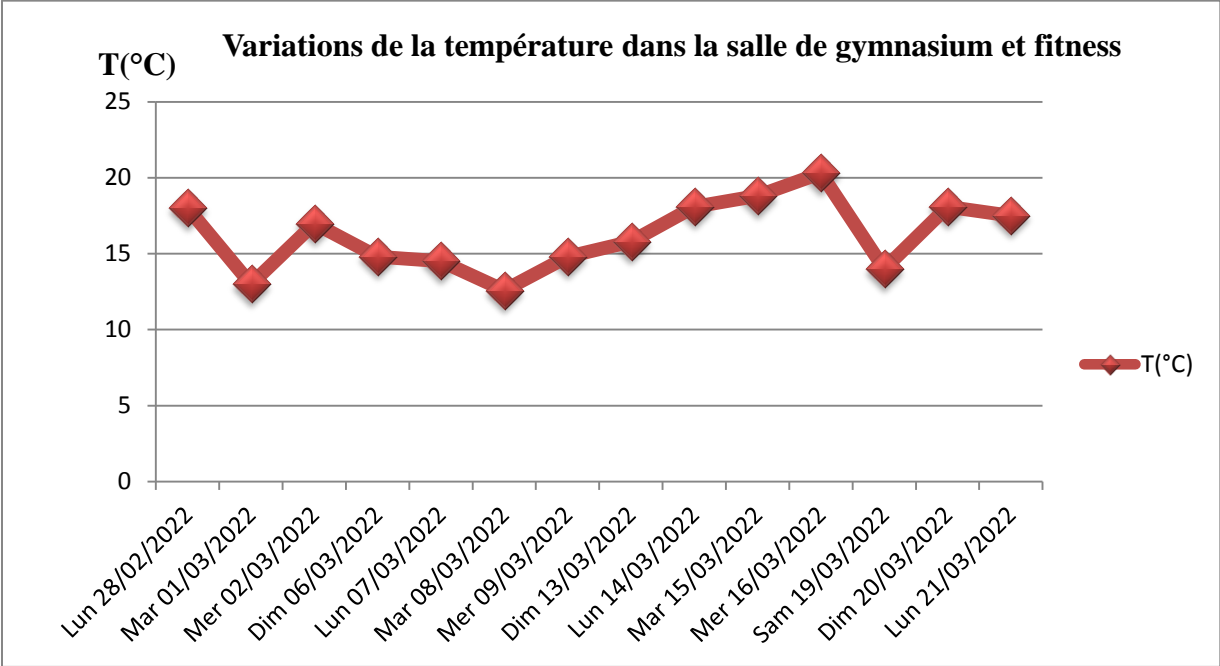
III.2.1. Variations journalière de la température

La température est un facteur d'influence sur la distribution et le déplacement de la matière particulaire [2]. Lorsque la température augmente, les particules se dispersent dans le milieu,

Chapitre III : résultats et discussion

donc la concentration est augmentée, et lorsqu'elle décroît les particules se condensent ce qui engendre un abaissement de la concentration du au phénomène de sédimentation.

La température de l'air ambiant doit être comprise entre 24,5 et 28 °C [3].



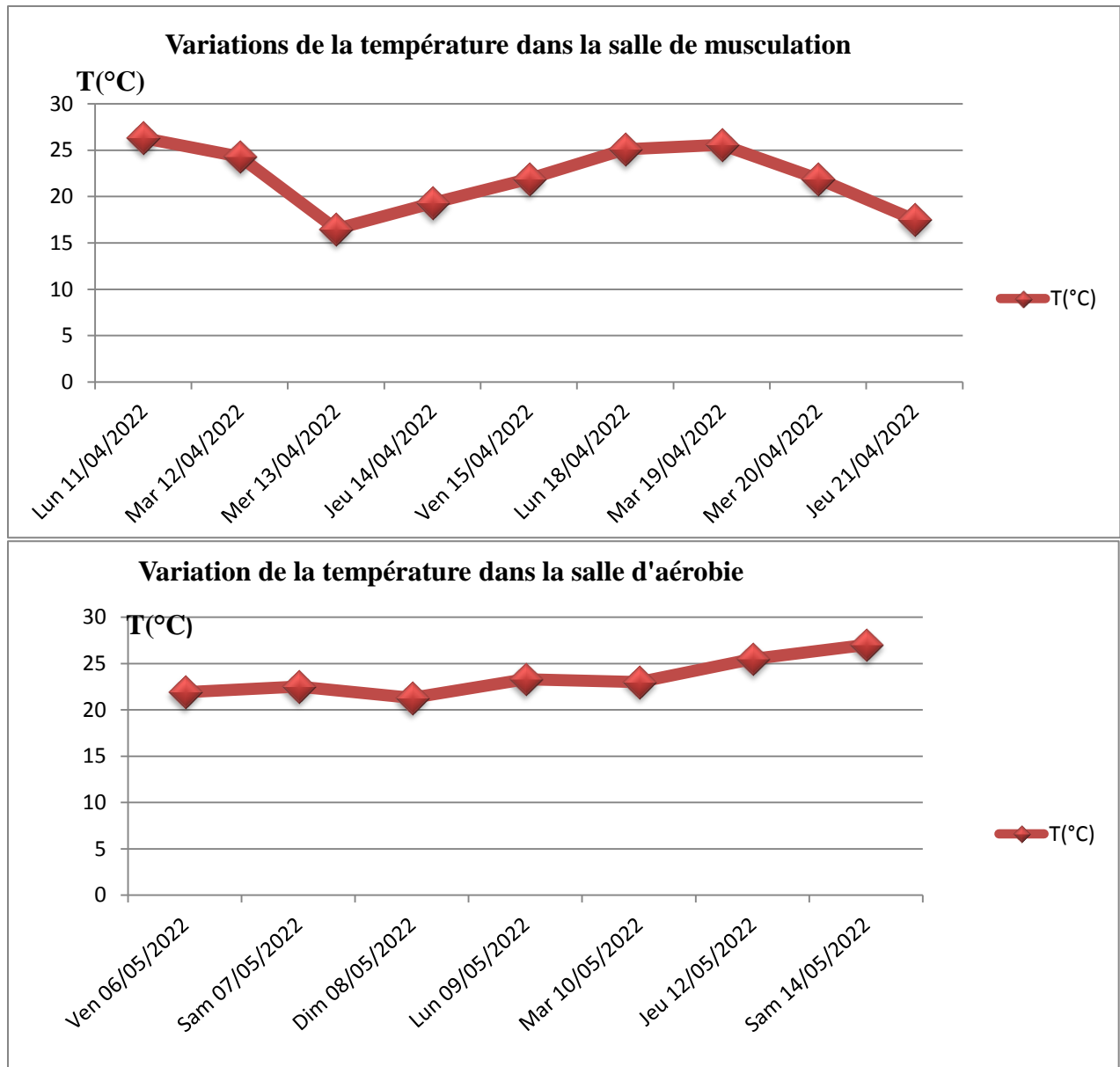
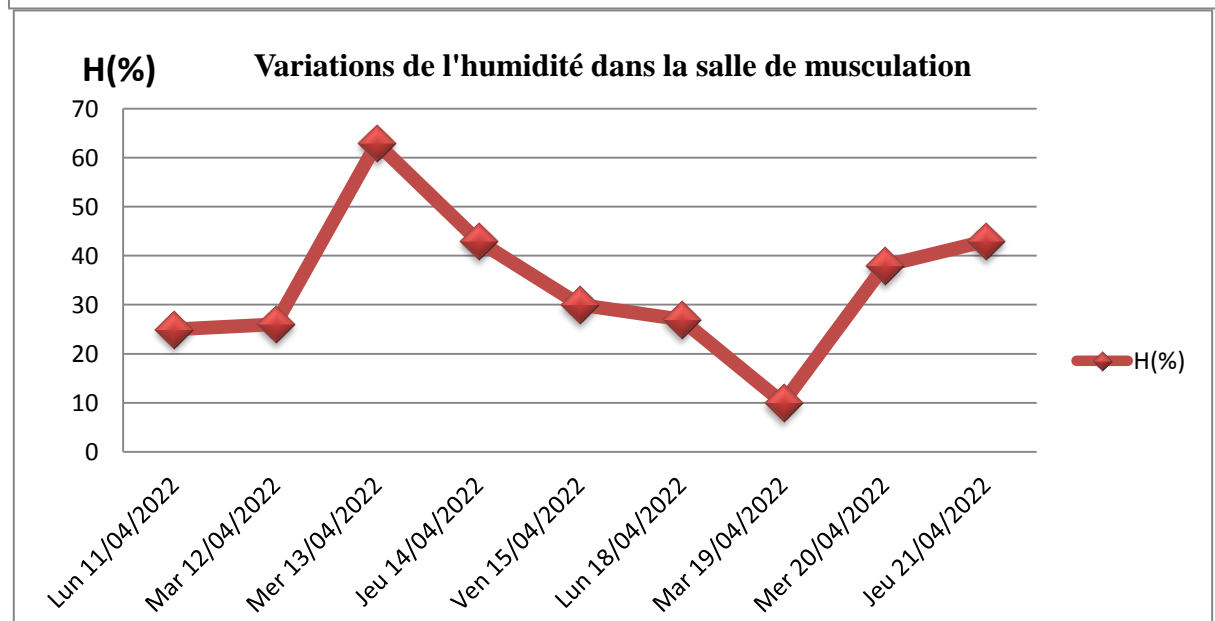
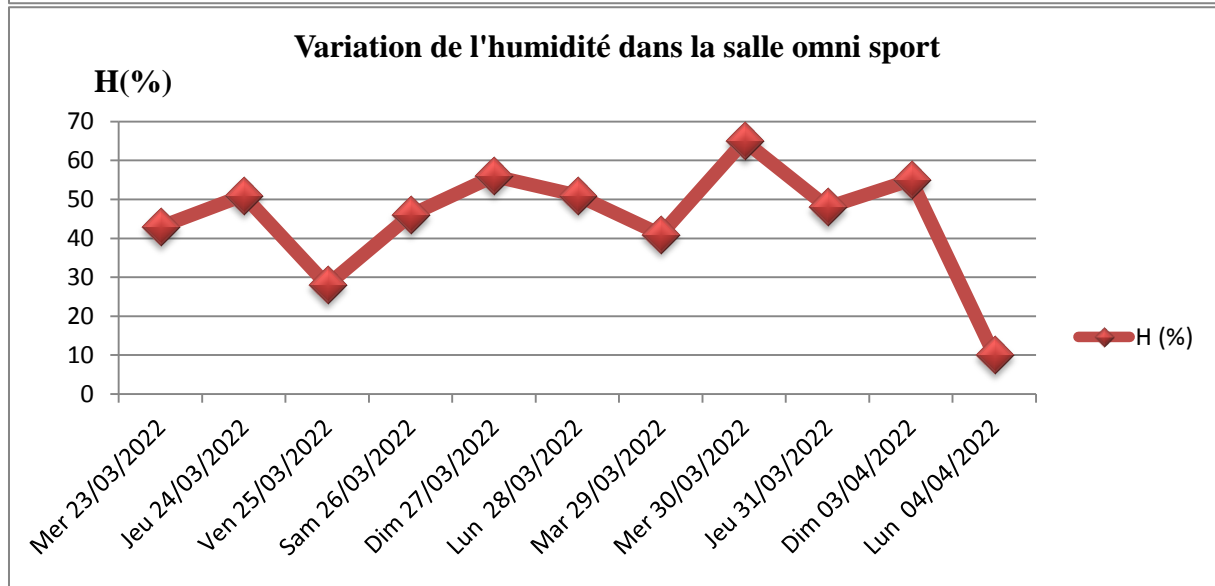
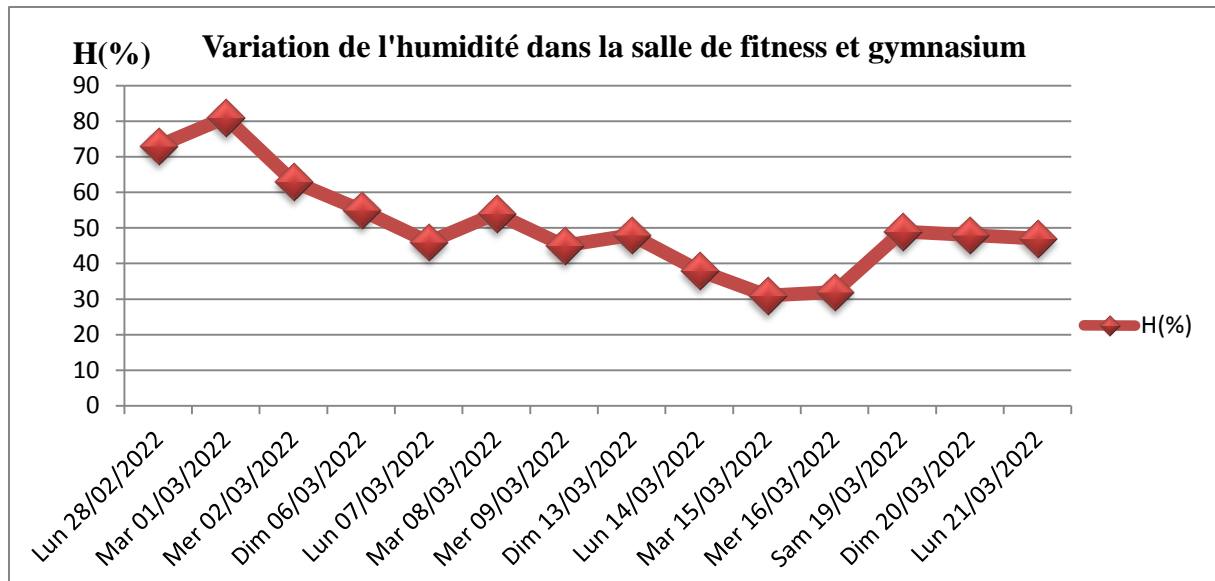


Figure III. 6 : Variations de la température dans les salles gymnasium, fitness, omni sport, musculation et aérobie.

III.2.2. Variation journalière de l'humidité

La variation de l'humidité a aussi une influence sur la concentration de la matière particulaire, l'augmentation de l'humidité permet de condensé les particules, donc l'augmentation de leurs poids, qui engendre en suite leurs sédimentation par la gravité, lors que le milieu est très humide les constituants des particules sont dissociées dans les gouttelettes d'eaux, donc la concentration des polluants est diminuée [2]. L'humidité relative de l'air doit être comprise entre 25 % et 60 % [3].

Chapitre III : résultats et discussion



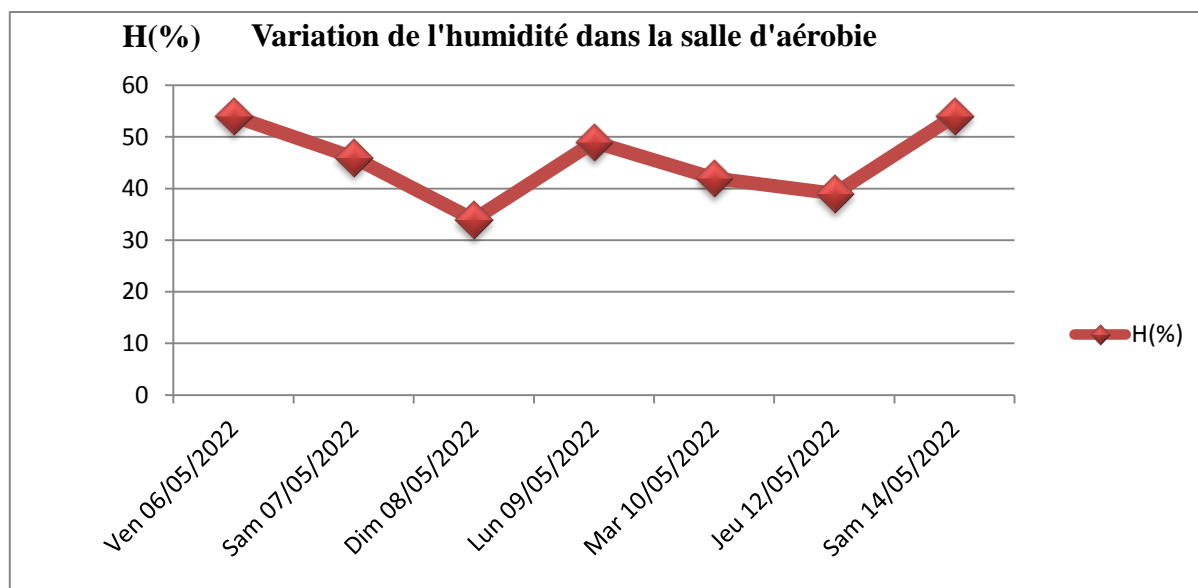


Figure III. 7 : Variations de l'humidité dans les salles gymnasium, fitness, omni sport, musculation et aérobie.

III.3. Analyse qualitative des n-alcane et HAPs dans les sites étudiés

Nous focalisons notre travail sur l'identification des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs), et les alcanes à chaîne linéaire. L'analyse effectuée sur 05 échantillons de matière organique particulaire collectés dans trois sites (salle de gymnasium et fitness (PM₁₀), salle omni sport (PM₁₀ et PM_{2,5}) et la salle de musculation (PM₁₀ et PM_{2,5})), a permis l'identification qualitativement de 32 composés organique (15 n-alcane et 17 HAPs) durant la période février-mai 2022.

III.3.1. Les n-alcane

Quinze n-alcane à chaîne linéaire allant de C₂₀ à C₃₄ sont contenus dans les échantillons d'air, le chromatogramme et les n-alcane identifiés dans les échantillons d'air sont représentés sur la figure III.8 et le tableau III.6.

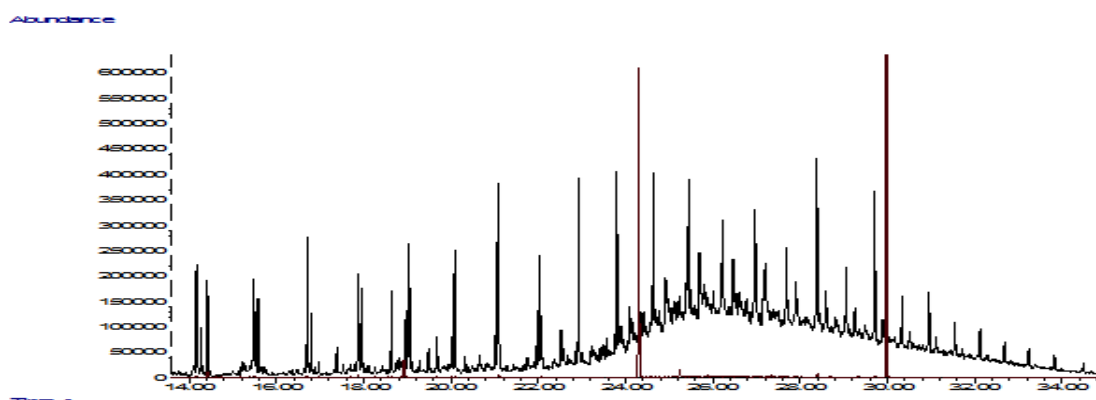


Figure III. 8 : Chromatogramme des n-alcane particulaires identifiée en mode SIM.

Chapitre III : résultats et discussion

Tableau III.6 : Les n-alcanes identifiés dans des échantillons d'air.

n-Alcanes	Symbole	Formule	Pic de base	tr (min)
n-Eicosane	C ₂₀	C ₂₀ H ₄₂	57	21.24
n-Heneicosane	C ₂₁	C ₂₁ H ₄₄	57	23.02
n-Docosane	C ₂₂	C ₂₂ H ₄₆	57	24.76
n-Tricosane	C ₂₃	C ₂₃ H ₄₈	57	26.45
n-Tetracosane	C ₂₄	C ₂₄ H ₅₀	57	28.09
n-Pentacosane	C ₂₅	C ₂₅ H ₅₂	57	29.68
n-Hexacosane	C ₂₆	C ₂₆ H ₅₄	57	31.21
n-Heptacosane	C ₂₇	C ₂₇ H ₅₆	57	32.91
n-Octacosane	C ₂₈	C ₂₈ H ₅₈	57	34.95
n-Nonacosane	C ₂₉	C ₂₉ H ₆₀	57	37.47
n-Triacontane	C ₃₀	C ₃₀ H ₆₂	57	40.65
n-Hentriacontane	C ₃₁	C ₃₁ H ₆₄	57	43.37
n-Dotriacontane	C ₃₂	C ₃₂ H ₆₆	57	45.45
n-Triatriacontane	C ₃₃	C ₃₃ H ₆₈	57	47.92
n-Tetratriacontane	C ₃₄	C ₃₄ H ₇₀	57	50.84

Les n-alcanes ont été identifiés à partir de leurs ions fragments caractéristiques. Le pic de base est à m/z 57. Les autres fragments diffèrent de 14 unités (CH₂) (exemple: 43, 57, 71, 85, etc..).

La figure III.9 montre les spectres de masse de l'héxadécane, et la figure III.10 illustre les mécanismes de fragmentation de l'héxadécane (comme exemple de la famille des n-alcanes).

[4]

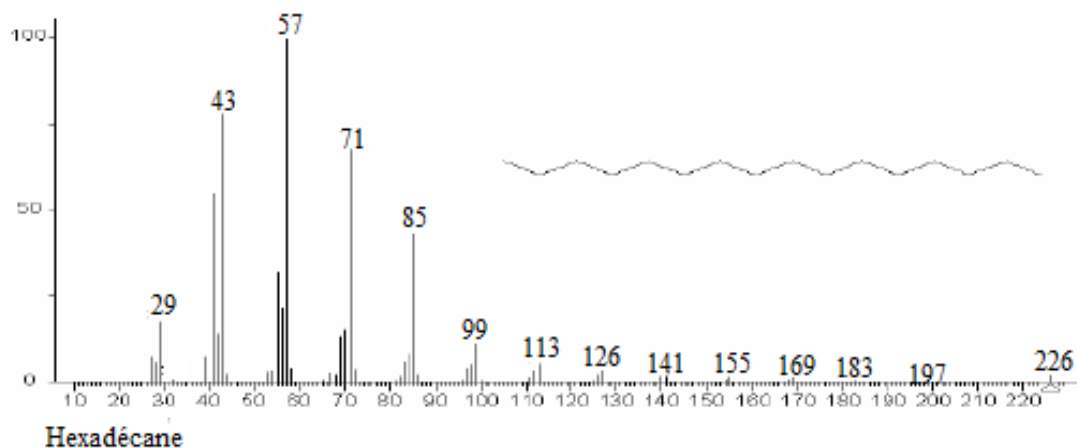


Figure III.9 : Spectre de masse de l' hexadécane.

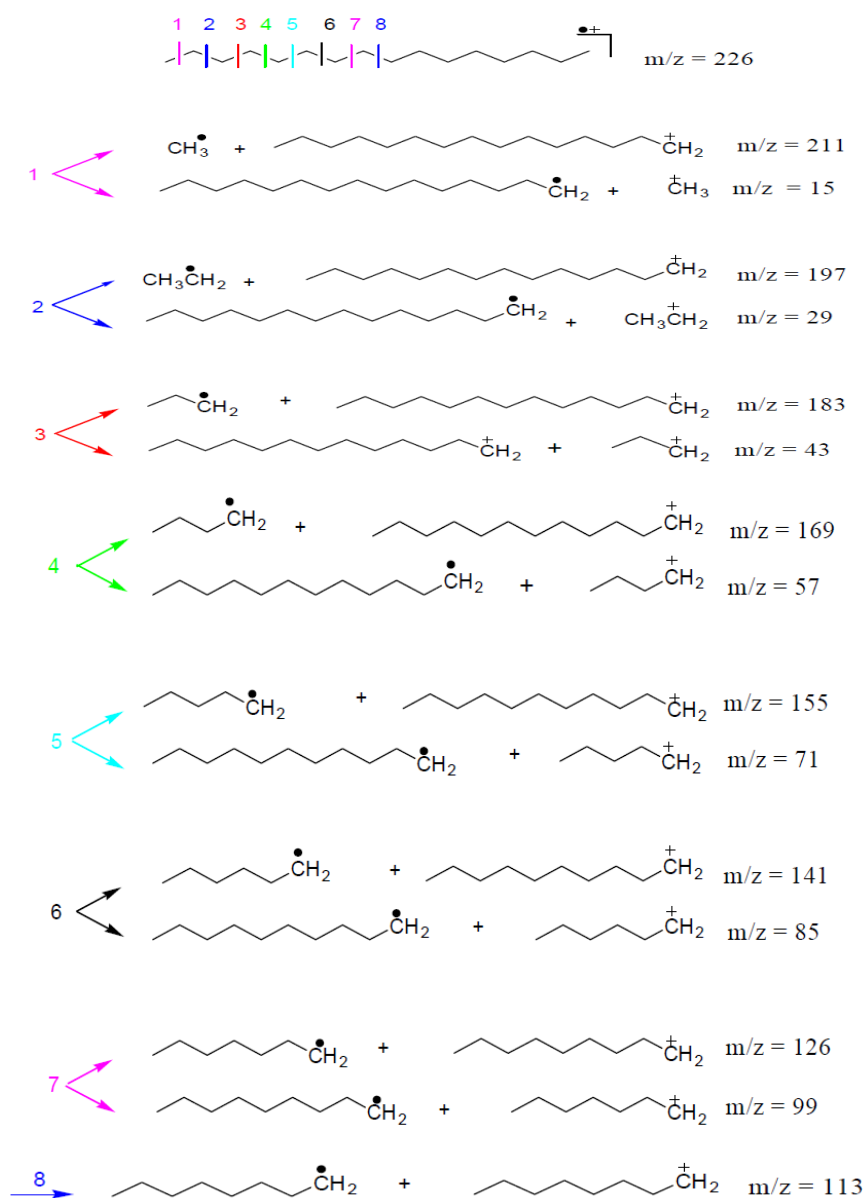


Figure III.10 : Quelques mécanismes de fragmentation de l'hexadecane.

III.3.2. Les HAPs

Les HAPs constituent dans l'environnement, la classe de composés organiques particulières la plus étudiée. Les HAPs présents dans l'atmosphère sont formés au cours de combustions incomplètes ou de pyrosynthèses de la matière organique. Ils sont donc issus majoritairement des combustions des dérivés du pétrole, du charbon et de gaz [5]. En effet, la prévalence de la contribution relative des émissions automobiles, du chauffage domestique et d'autres sources urbaines ont été reliées à différentes compositions de la fraction des HAPs. [6,7]

Chapitre III : résultats et discussion

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques identifiés dans les échantillons d'air sont représentées dans le tableau III.7.

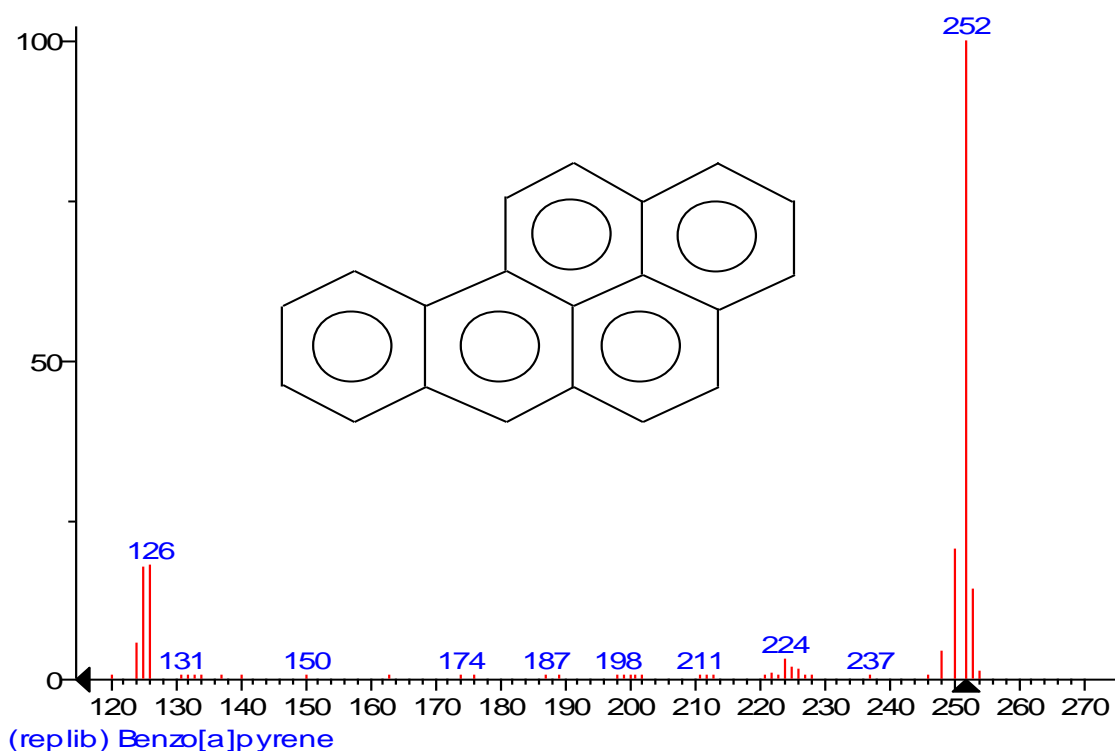
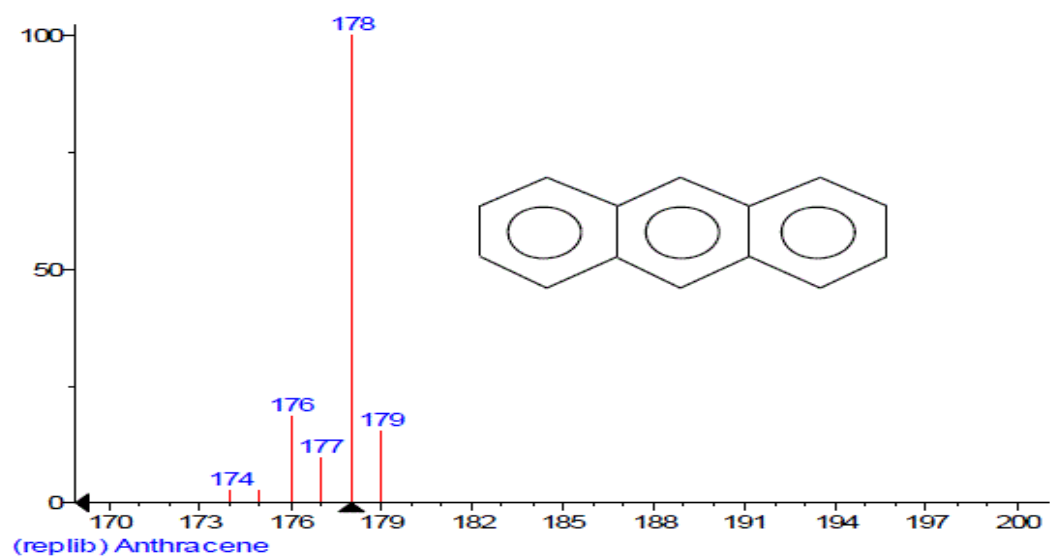
Tableau III.7 : Les HAPs identifiés dans des échantillons d'air

HAPs	Symbole	Formule	Structure	Pic de base	tr (min)
Fluorène	FA	C ₁₃ H ₁₀		166	14.56
Phénanthrène	Phe	C ₁₄ H ₁₀		178	17.69
Anthracène	Ant	C ₁₄ H ₁₀		178	17.88
Fluoranthène	Flu	C ₁₆ H ₁₂		202	18.48
Pyrène	Pyr	C ₁₆ H ₁₂		202	22.51
Retene	Rete	C ₁₈ H ₁₈		219	23.44
Cyclopenta(cd)pyrène	CPcdP	C ₁₈ H ₁₀		226	25.04
Benz(a)anthracène	BaA	C ₁₈ H ₁₂		228	28.22
Chrysène + triphénylène	Chr/Trp	C ₁₈ H ₁₂		228	28.86
2,2-Binaphthyl	BNap	C ₂₀ H ₁₄		254	28.99
Benzo(b)fluoranthène	BbF	C ₂₀ H ₁₂		252	29.11
Benzo(k)fluoranthène	BkF	C ₂₀ H ₁₂		252	31.83
Benz(e)pyrène	BeP	C ₂₀ H ₁₂		252	34.14
Benz(a)pyrène	BaP	C ₂₀ H ₁₂		252	34.3
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	IcdP	C ₂₂ H ₁₂		276	35.73
Dibenzo(ah)anthracène	DBahA	C ₂₂ H ₁₄		278	36.06
Benzo(ghi)perylène	BghiP	C ₂₄ H ₁₄		276	44.08

Chapitre III : résultats et discussion

La figure III.11 montre les spectres de masse de l'anthracène, du benzo(a)pyrène et du Indeno [1, 2, 3- cd] Pyrène caractérisés par des ions moléculaires respectivement : ($m/z=178$), ($m/z=252$) et ($m/z=276$). D'une manière générale, les fragments caractéristiques des HAPs sont : les ions moléculaires ($m/z = M$), les ions fragments ($m/z = M-1$), ($m/z = M/2$) et les amas isotopiques $[M +1]$. [8]

Ces composés donnent des spectres de masse facilement interprétables. Le pic moléculaire est toujours important, en effet l'ion moléculaire est fortement stabilisé par le cycle aromatique.



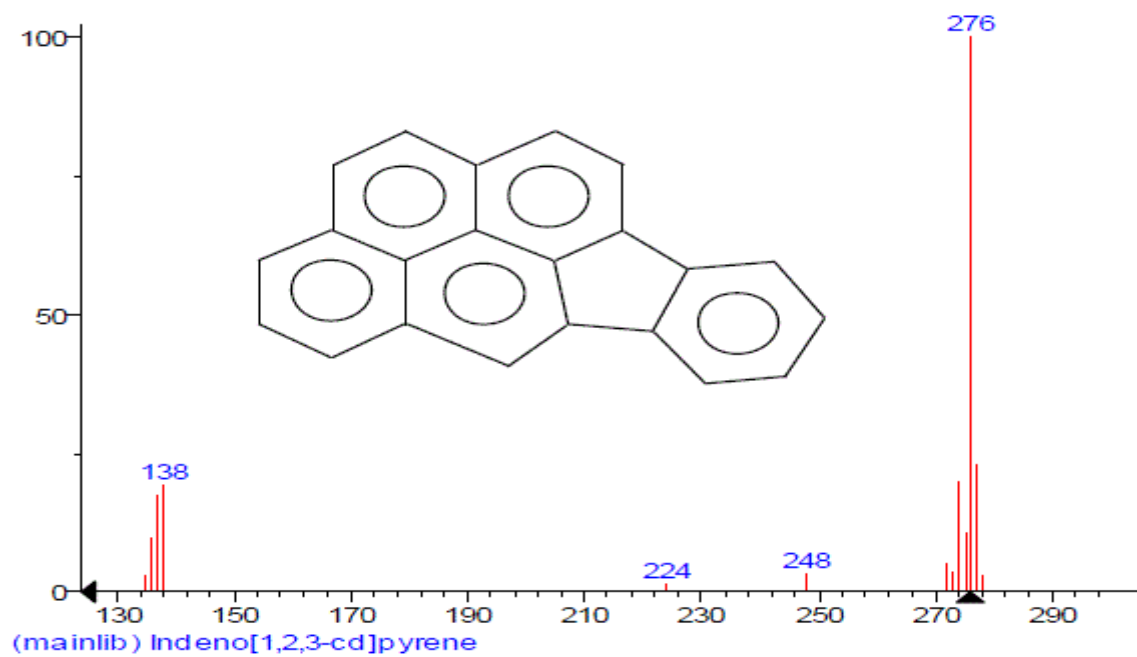


Figure III.11: Spectres de masse montrant les pics caractéristiques des HAPs (anthracène, benzo(a)pyrène et Indeno [1, 2, 3, c-d] Pyrène).

Chapitre III : résultats et discussion

Référence :

- [1] Khedidji S., Ladj R., Yassaa N. 2010. Variation journalière des particules (PM10 et TSP) en suspension dans l'atmosphère algéroise. Congrès International sur les Matériaux et l'Environnement. 05-07 Octobre 2010, Alger
- [2] Branis M., Větvička V (2010). PM10, Ambient Temperature and Relative Humidity during the XXIX Summer Olympic Games in Beijing: Were the Athletes at Risk? *Aerosol Air Qual Res*10(2), 102-110.
- [3] Alves C., Calvo A.I., Castro A., Fraile R., Evtugina M., Bate-Epey E.F (2013), Air quality in sports venues with distinct characteristics, *Int. J. Environ. Ecol. Eng.* 7 (2013) 298–302, <https://doi.org/10.5281/zenodo.1328584>.
- [4] Khedidji S(2010), Thèse magistère : Analyse d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques polycycliques dans l'air, USTHB-Alger, 12/12/2010
- [5] Besombes J.L., Maitre A ., Patissier O., Marchand N ., Chevron N ., Stoklov M ., Masclet P, *Atmos Environ, Particulate PAHs observed in the surrounding of a municipal incinerator* 35: 6093-6104, décembre 2001.
- [6] Freeman D.J., Catell F.C.R. (1990). *Environ. Sci. Technol.* 24, 1581-1585.
- [7] Nielsen T (1988). *Atmos. Environ.* 22, 2249-2254
- [8] Khedidji S, Thèse de doctorat : Analyse des polluants organiques persistants (POPs) dans l'air, USTHB-Alger, 2017.

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Ce travail constitue une initiation à la recherches sur les principaux polluants dans l'atmosphérique. Cette étude s'étend sur la variation journalière des particules PM_{10} et $PM_{2,5}$ en suspension dans l'air intérieur de plusieurs salles de sports situés dans la région de Bouira,

Cette étude a porté sur la détermination des concentrations en PM_{10} et $PM_{2,5}$ par la gravimétrie de la matière particulaire collecté par la technique d'échantillonnage actif doté à une pompe à volume moyen (MVS) et à volume faible (LVS), a mis en évidence la présence de plus échantillons qui dépassent la valeur guide fixé par la réglementation algérienne et par l'organisation mondiale de la santé.

Les analyses en chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM) opérant en mode TIM et SIM qui effectuée sur la matière organique particulaire collectés dans les trois sites a permis l'identification de 32 composés organique aliphatiques et aromatiques à savoir 15 n-alcanes et 17 HAPs.

Certains composés identifiés sont connus par leur pouvoir cancérigène et/ou mutagène, cette situation alarmante devrait inciter les autorités compétentes à introduire des mesures sérieuses de contrôle et de dépollution.

Enfin le code international de travail fixe les règles d'aération et d'assainissement de l'air dans les lieux de travail en fonction des caractéristiques des locaux. Comme il saisit un sens d'obligation pour les locaux dans lesquels des substances dangereuses ou gênantes sont émises sous forme de gaz, vapeurs, aérosols solides ou liquides outre que celles qui sont liées à la présence humaine ainsi que les locaux pouvant contenir des sources de micro-organismes potentiellement pathogènes et locaux sanitaires :

- Ventilation mécanique : ventilation assurée par une installation mécanique.
- Ventilation naturelle permanente : ventilation assurée naturellement par le vent ou par l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur.