



**Département des Sciences de la
Terre**

**Licence en Sciences et
Techniques
Eau & Environnement**



وزارة الانتقال الطاقي و التنمية المستدامة
Ministère de la Transition Énergétique
et du Développement durable
المديرية الجهوية للبيئة
Direction Regionale de l'Environnement

Mémoire de projet de fin d'études

**La qualité de l'air dans la ville de Marrakech : Elaboration
du bulletin mensuel par XR eWORKSTATION**

Réalisé par :

EL HANDAOUI ABIR & LHOUTAINE WISSAL



Devant la commission d'examen composée de :

- Pr. IGMOUILLAN Brahim , Encadrant interne, FST Marrakech
- Mr. AMZIL Karam , Encadrant externe, Organisme d'accueil
- Pr. EL WAHIDI Farid , Examineur, FST Marrakech

2021/2022

DÉDICACE :

NOUS OFFRONS CE MODESTE TRAVAIL :

A NOS CHERS PARENTS,

POUR TOUS LEURS SACRIFICES DÉPLOYÉS POUR NOTRE ÉDUCATION, LEUR AMOUR, LEUR SACRIFICE, LEUR SOUTIEN MORAL CONTINU, POUR LEUR BÉNÉDICTION. VOUS MÉRITEZ TOUT ÉLOGE, VOUS QUI AVEZ FAIT DE NOUS CE QUE NOUS SOMMES AUJOURD'HUI. QUE DIEU LES RÉCOMPENSE POUR TOUS LEURS BIENFAITS.

A NOS FRÈRES ET SŒURS

POUR LEURS ENCOURAGEMENTS PERMANENTS TOUT AU LONG DE NOTRE PARCOURS. QUE CE TRAVAIL SOIT POUR VOUS LE GAGE DE NOTRE PROFOND AMOUR

A TOUS NOS CHERS PROFESSEURS

DU DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE SANS AUCUNE EXCEPTION ET à TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ à NOTRE FORMATION.

A TOUS NOS FAMILLES

A CEUX QUI SE DÉVOUENT SANS CESSER POUR NOUS ÉCLAIRCIR LA VOIE ET LES IMMENSES HORIZONS DU SAVOIR ET DONT LA VOCATION MÉRITE LARGEMENT NOTRE RESPECT.

A TOUS NOS AMIS

QUI NOUS ONT SUPPORTÉES, SOUTENUES, ONT TOUJOURS CRU EN NOUS,

A TOUS CEUX QUE NOUS AIMONS, NOUS DÉDIONS CE TRAVAIL ...

REMERCIEMENT :

Ce manuscrit constitue un rapport de fin d'études dans le cadre de la licence Eau et Environnement. On tient tout d'abord à remercier Dieu de nous avoir guidé et donné la force et la volonté pour atteindre nos objectifs.

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'aboutissement de ce projet de mémoire de fin d'études. Y compris le corps professoral du département des sciences de la terre

Tout d'abord, nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrant Mr. IGMOULLAN Brahim professeur à la FSTG pour sa disponibilité, ses conseils et renseignements.

Tout notre respect et nos remerciements vont vers les membres du jury qui vont pleinement consacrer leur temps et leur attention afin d'évaluer notre travail.

On tient à remercier Mr. Brine Noureddine, directeur régionale du département de l'environnement, qui a accepté de nous accueillir au sein de la direction régionale de l'environnement de Marrakech-Safi, nous remercions également Mr. Amzil Karam, chef du service de la gestion environnementale et notre encadrant pour ses précieux conseils et son soutien.

Un énorme merci à toute l'équipe de la DRE et en particulier Mr. AIT ICHOU Abdeljalil pour sa générosité et sa formation à l'utilisation du logiciel d'application consacré à l'exploitation et l'exportation des données nécessaires pour l'élaboration du bulletin mensuel de la qualité de l'air.

Enfin nous tenons à remercier nos parents, proches et amis.

Merci à toutes et à tous.

Liste des figures :

Figure 1: L'organigramme de la DR	3
Figure 2: composition moyenne de l'air sec « l'atmosphère terrestre actuelle ».	5
Figure 3: Représentation schématique des échanges d'énergie entre l'espace, l'atmosphère terrestre et la surface de la terre	6
Figure 4: Conceptualisation de la différence entre émissions et concentrations de polluants atmosphériques.	7
Figure 5: Schéma illustrant la différence entre émissions et concentrations.	9
Figure 6: Schéma relatif à la pénétration des particules dans l'organisme (réalisé sur la base d'un dessin du Dr J. Harkeman)	14
Figure 7: illustrant les différentes sources et facteurs de la pollution de l'air	16
Figure 8: évolution du réseau de surveillance de la qualité de l'air	18
Figure 9: Répartition des stations fixes de mesure de la qualité de l'air.	19
Figure 10: Station fixe et station mobile	19
Figure 11: Les enjeux de la SNDD	24
Figure 12: Les étapes du PNAir.	25
Figure 13: Boucle de DPSIR	27
Figure 14: Carte de localisation des stations de surveillance sur la ville de Marrakech	29
Figure 15: Schéma représentatif du flux de l'information.	34
Figure 16: écran d'accueil de l'application XR e-Workstation	34
Figure 17: les domaines de XR eWorkstation	35
Figure 18: Rose des vents pour la station Marrakech centre Régional durant le mois de mai 2022	36
Figure 19: Consultation des données sur interface Web XR eworkstation	36
Figure 20: Ecran de visualisation des données sur XR eWorkstation	38
Figure 21: Ecran d'exportation des données sur XR eWorkstation	39
Figure 22: écran d'aperçu de IQA sur XR eWorkstation	39
Figure 23: Ecran de génération des rapports sur XR eWorkstation	40
Figure 24: carte de localisation des stations de surveillance sur la ville de Marrakech	40

Liste des tableaux :

Tableau 1: échelle d'indice de qualité de l'air	10
Tableau 2: les principaux polluants et leurs effets sur la santé	14
Tableau 3: Les types de mesure des stations et leur fiabilité	20
Tableau 4: Les piliers de la SNDD	24
Tableau 5: cadre géographique et temporelle des stations de surveillance sur la ville de Marrakech	30
Tableau 6: Critères d'implantation de stations selon leur type	30
Tableau 7: Critères d'installation des stations fixes selon guide ADEME	31
Tableau 8: les composantes de la gestion des données	35
Tableau 9: Sélection des données sur XR eWorkstation	37
Tableau 10: Les différentes fonctionnalités sur la barre d'outils	38
Tableau 11: indice de la qualité d'air dans la ville de Marrakech (Mai 2022)	41
Tableau 12: Principaux polluants et leurs effets sur la santé et l'environnement	48

Liste des abréviations :

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

CC : Changement climatique

CIRC : Le centre international de recherche sur le cancer

CR : Centre régional

CS : Complexe sportif

CRSSQA : Comités régionaux de suivi et de surveillance de la qualité de l'air

DE : Département de l'environnement

DGCL : Direction générale de la météorologie

DGM : Direction générale des collectivités locales

DMN : Direction de la météorologie nationale

DOEP : Direction des observations des études et de la planification

DPSIR : Divers, pressure, state, impact & response

DRE : Direction régional de l'environnement

EN : Ecole Ennour

FM6E : Fondation Mohammed VI pour la protection de l'environnement

FODEP : Fonds de dépollution industrielle

GES : Gaz à effet de serre

IQA : Indice de la qualité de l'air

LA : Lycée Lalla Aouda

LBC: Lampe basse consommation

LED: Light emitting diode

LNESP : Laboratoire national des études et de surveillance de la pollution

MATEE : Ministère de l'aménagement du territoire de l'eau et l'environnement

MENA : Moyen-Orient et Afrique du nord

OMS : Organisation mondiale de la santé

PNAir : Programme national de l'air

PNSQA : Programme national de surveillance de la qualité de l'air

RNSQA : Réseau national de surveillance de la qualité de l'air

SIREDD : Système d'information régional de l'environnement et du développement durable

STEP : Station de traitement et de réutilisation des eaux usées.

SNDD : Stratégie nationale du développement durable

VL : Valeur limite

Chapitre I : La pollution atmosphérique	4
1) <i>la pollution atmosphérique au niveau mondial : Définition, indicateurs et paramètres de base.</i>	5
1.1) La composition de l'air :	5
1.2) Les agents de la pollution atmosphérique :	5
1.3) La différence entre émissions et concentrations en polluants :	7
1.4) Influence de la météorologie sur les concentrations en polluants atmosphériques	9
1.5) Les indicateurs de base utilisés pour le calcul IQA	9
2) <i>L'origine des polluants et leurs impacts :</i>	
2.1) Les causes de la pollution atmosphérique :	
2.2) les différents types de polluants atmosphériques :	10
2.3) L'impact de la pollution atmosphérique :	12
3) <i>La pollution atmosphérique à l'échelle nationale :</i>	16
Chapitre II : La lutte contre la pollution atmosphérique	22
1) <i>Volet institutionnel :</i>	23
2) <i>Volet réglementaire :</i>	23
3) <i>Volet opérationnel :</i>	23
3.1) La stratégie national du développement durable (SNDD)	24
3.2) Le programme national de l'air (PNAir)	25
3.3) PROGRAMME NATIONAL DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR (PNSQA) :	25
Chapitre III : Cas d'étude de la ville de Marrakech	26
1) <i>L'étalement urbain et activités au niveau de la région</i>	27
2) <i>Etat environnemental</i>	28
3) <i>Réseau national de la qualité de l'air</i>	29
4) <i>Renforcement des techniques de mesure au niveau de la ville de Marrakech</i>	30
5) <i>Choix du site d'implantation</i>	30
Chapitre IV : Elaboration du bulletin mensuel de la qualité de l'air de la ville de Marrakech	32
1) <i>Les Instruments de mesure :</i>	33
2) <i>Le Flux de l'information :</i>	33
3) <i>L'application XR eWorkstation</i>	34
3.1) Présentation de l'application	34
3.2) Présentation de l'interface Web :	35
3.3) Gestion des données :	35
4) <i>Bulletin mensuel de la qualité de l'air Mai 2022</i>	40
Conclusion	

Introduction

La pollution de l'air est un fléau qui tend à s'accroître dans la plupart des pays. Il est clair que ce sujet particulièrement sensible suscite l'inquiétude de l'opinion publique. En effet, la prise en compte de la protection de la qualité de l'air dans les politiques sectorielles, celles de l'énergie, des transports, de l'aménagement du territoire, est aujourd'hui une obligation. En 2019, l'Organisation Mondiale de la Santé, OMS, a recensé que 99 % de la population mondiale vivait dans des endroits où les seuils de la qualité de l'air dépassent les lignes directrices préconisées par l'OMS. Au Maroc, Depuis 2000, le coût de la dégradation de la qualité de l'air ne cesse d'augmenter jusqu'à coûter au Royaume chaque année 1,04 % de son PIB, soit plus de 10 milliards de DH.

Suite à l'industrialisation exponentielle et l'augmentation drastique de l'activité anthropique, la problématique de la pollution de l'air n'a cessé de croître. La surveillance de la qualité de l'air demeure une préoccupation nationale fondamentale qui consiste en un suivi spatio-temporel d'un certain nombre de paramètres / indicateurs de la pollution afin de situer le niveau de la qualité de l'air par rapport aux normes fixées par la réglementation en vigueur.

Par ailleurs, le Maroc attribue de l'intérêt à la surveillance de la qualité de l'air à travers des efforts déployés par la Direction de la Météorologie Nationale, DMN, pour la mise en œuvre et l'élargissement du réseau de surveillance de la qualité de l'air. Ce dernier permet le suivi à travers des analyseurs industriels installés dans des stations fixes réparties judicieusement sur le territoire à surveiller. Avec ces stations de mesures, il est possible d'effectuer une mesure continue des principales substances rejetées dans l'atmosphère. Ces polluants sont principalement les particules fines en suspension (PM10), les gaz des oxydes d'azotes (NOx), du dioxyde de soufre (SO2), des oxydes de carbone (CO) et de l'ozone (O3).

En effet, l'élaboration d'un bulletin de la pollution atmosphérique vise à bien comprendre les particularités de ce fléau, afin de répondre aux problématiques et comparer les seuils exigés dans le but de prévoir des solutions en cas de dépassement. C'est dans ce cadre qu'on a effectué ce Projet de Fin d'Etudes, PFE, qui s'articule autour de quatre chapitres et une conclusion :

- ✓ Dans le premier chapitre, nous allons commencer par des généralités sur la problématique de la pollution atmosphérique, son origine, ses causes et son impact sur l'environnement et la santé humaine. Ensuite, nous allons citer les différentes méthodes utilisées dans la mesure normalisée des polluants et leur suivi au Maroc. L'objectif de ce chapitre est d'abord de nous permettre de justifier le choix du thème de la pollution de l'air et de présenter l'historique des stations implantées à l'échelle nationale.
- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des différents acteurs qui contribuent à la réussite du système de la surveillance de la qualité de l'air au Royaume et d'un aperçu sur la réglementation et sur les normes exigées ainsi que les efforts déployés en termes de programmes assignés par notre pays.
- ✓ Le troisième chapitre, portera sur une étude de la pollution de l'air au niveau de la ville de Marrakech. Il comporte dans un premier temps une analyse de l'état de l'environnement et des activités humaines. Le deuxième point de ce troisième chapitre sera consacré à une présentation du réseau national de la qualité de l'air de la ville ocre et son renforcement technique ainsi que les critères suivis pour le choix des sites d'implantation.
- ✓ Le dernier chapitre présente la méthodologie qu'on a adopté pour élaborer un bulletin mensuel des concentrations de différents polluants par le biais du logiciel XR eWorkstation en nous basant sur les données analysées et traitées afin d'envisager des solutions ou des hypothèses.
- ✓ Le dernier point de ce PFE est consacré à sa conclusion. Cette dernière portera dans un premier temps sur un résumé du présent travail et dans un second temps une proposition des perspectives visant à minimiser cette pollution à la fin du travail.

Présentation de la direction régionale de l'environnement (DRE) :

La DRE de la région Marrakech-Safi est l'un des services déconcentrés du département de l'environnement, du ministère de la transition énergétique et du développement durable.

L'organigramme suivant présente les différents services de la DRE et leurs missions :



Figure 1: L'organigramme de la DR, Source : système d'information régional de l'environnement et du développement durable (SIREDD région Marrakech-Safi).

Chapitre I : La pollution atmosphérique

1) La pollution atmosphérique au niveau mondial : Définition, indicateurs et paramètres de base :

La pollution atmosphérique constitue aujourd'hui l'un des principaux sujets de préoccupation environnementale. Tout d'abord l'air est l'un des éléments fondamentaux qui rendent notre planète unique, il demeure un élément essentiel et indispensable pour les êtres vivants, par conséquent nous inspirons environ 20 m^3 d'air. Celui-ci se compose d'un mélange de gaz invisibles et de particules constituant une enveloppe qui protège la vie sur terre ; en filtrant les rayons UV et gardant la température moyenne de la terre en participant à l'équilibre thermique.

1.1) La composition de l'air :

L'air est composé d'environ 78% de diazote (N_2), un gaz relativement neutre chimiquement et n'ayant pas d'influence directe sur la santé, le climat, et l'environnement. La teneur moyenne en dioxygène (O_2), le gaz nécessaire à la respiration, est de 21 %. Des 1% restant, une grande partie est composée d'argon (Ar), un gaz neutre chimiquement. La teneur moyenne en dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère est de l'ordre de 0.04% en 2020. (fig.1)

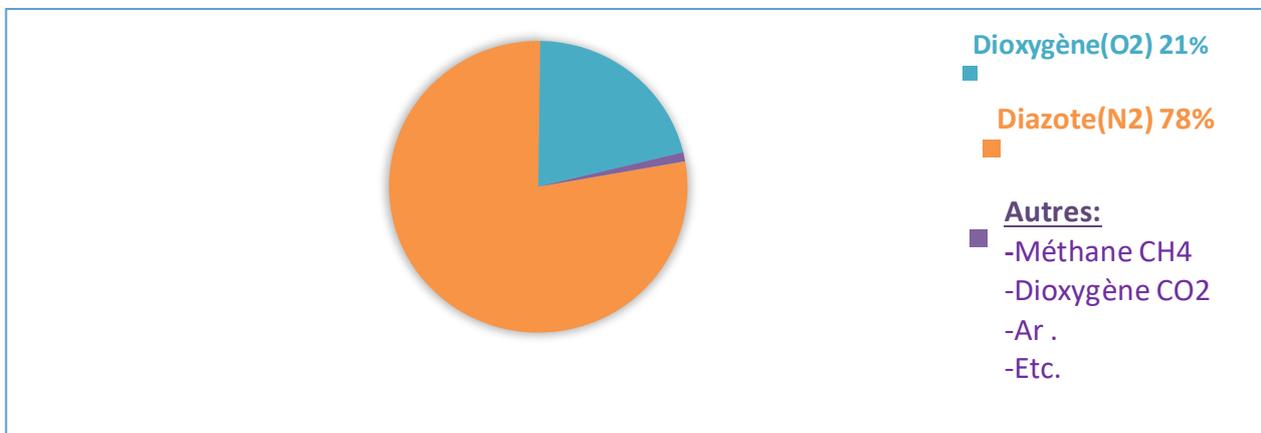


Figure 2: composition moyenne de l'air sec « l'atmosphère terrestre actuelle ».

1.2) Les agents de la pollution atmosphérique :

La pollution atmosphérique signifie la modification de la Composition de l'air par des polluants. On parle de pollution atmosphérique à partir du moment où la barre des particules/ m^3 d'air dépassera un certain seuil, ces particules sont soit des polluants ou des gaz à effet de serre.

▪ **Un gaz à effet de serre** est une substance qui affecte le climat de la terre via l'absorption d'une partie des rayons infrarouges émis par notre planète.

L'effet de serre est un phénomène naturel qui emprisonne une partie de la chaleur émise par le Soleil dans l'atmosphère terrestre. Il est également renforcé par divers processus d'origine anthropique. Les principaux GES sont la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde de diazote (N₂O). Ces quatre gaz sont naturellement présents dans l'atmosphère :

Ils Captent une partie du rayonnement renvoyé par la terre vers l'espace, La chaleur s'accumule dans les basses couches de l'atmosphère ce qui permet à la terre d'avoir une température moyenne de 15°C au lieu de -18°C. Mais le rejet excessif des GES accentue le réchauffement climatique. (Fig.2)

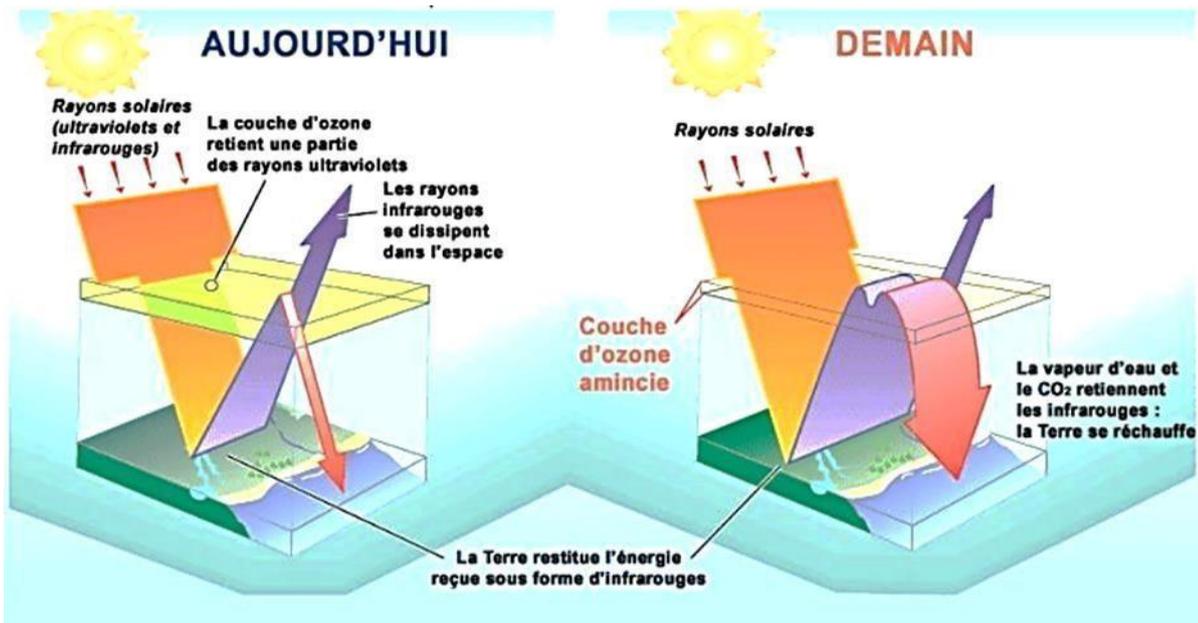


Figure 3: Représentation schématique des échanges d'énergie entre l'espace, l'atmosphère terrestre et la surface de la terre Source : Messouli M., (2016).

▪ **Un polluant atmosphérique** a des effets directs sur la santé (troubles respiratoires et maladies cardiovasculaires) ou sur l'environnement (les pluies acides) et les écosystèmes.

Il existe plusieurs polluants atmosphériques. Certains sont présents dans l'atmosphère sous forme gazeuse, alors que d'autres y sont sous forme de particules, c'est-à-dire de petits "grains" solides et/ou liquides en suspension dans l'air :

- Dioxyde de soufre (SO₂).
- Monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO₂), regroupés ensemble sous le terme NO_x (oxydes d'azote).
- Ozone (O₃).
- Monoxyde de carbone (CO).
- Particules en suspension PM_{2.5} et PM₁₀.

- Composés organiques volatils, dont le benzène.
- Autres composés organiques dont le benzo(a)pyrène.
- Métaux lourds, dont l'arsenic, le cadmium, le nickel, et le plomb.
- Espèces destructrices de la couche d'ozone (chlorofluorocarbones CFC, etc.).

1.3) La différence entre émissions et concentrations en polluants :

Selon: Bastien L.,2021 les notions d'émissions et de concentrations et la distinction entre ces deux termes portent souvent à confusion. La notion d'émissions se rapporte aux rejets de polluants dans l'atmosphère et la notion de concentration se réfère aux teneurs en polluants de l'air (Fig.3) :

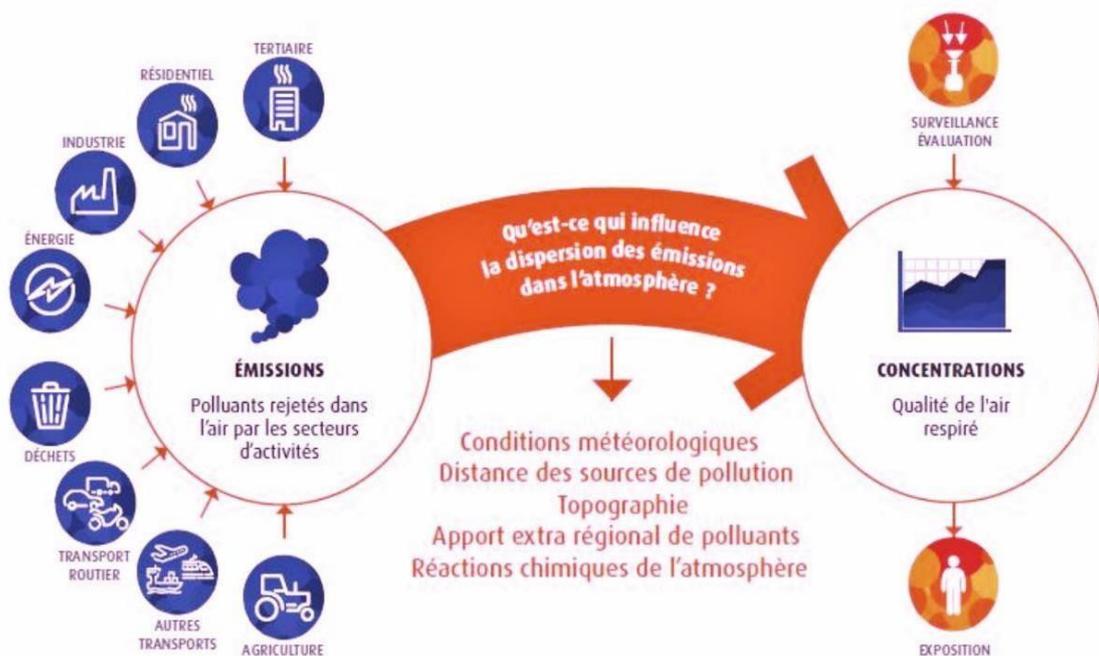


Figure 4: Conceptualisation de la différence entre émissions et concentrations de polluants atmosphériques. Source : Bastien L.,(2021)

Plus précisément, le terme « émissions » décrit la quantité de polluant qui sort, par unité de temps, d'une source de pollution (cheminée, pot d'échappement, etc.) pour entrer dans l'atmosphère :

$$\text{Emissions} = \frac{\text{Quantité de polluant qui sort d'une source de pollution pour entrer dans l'atmosphère}}{\text{Unité de temps}}$$

Les unités typiquement utilisées pour les émissions sont les kilogrammes par seconde (kg/s) ou les tonnes par an (t/an).

Le terme « concentration » décrit la quantité de polluants présente dans l'air par unité de volume d'air :

$$\text{Concentration} = \frac{\text{Quantité de polluant dans l'air}}{\text{Unité de volume d'air}}$$

Les unités les plus souvent utilisées pour la surveillance de la qualité de l'air au Maroc pour décrire les concentrations sont : « Décret n°2-09-286 du 20 hiza 1430 (8 décembre 2009) fixant les normes de qualité de l'air et les modalités de surveillance de l'air » (Voir ANNEXE)

- Le mg/m^3 (milli gramme de polluant présent par mètre cube d'air).
- Le $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (micro gramme de polluant présent par mètre cube d'air).
- Le ng/m^3 (nano gramme de polluant présent par mètre cube d'air)

Comme détaillé dans la section (1.4) de nombreux phénomènes atmosphériques peuvent influencer les concentrations en polluants après leur émission dans l'atmosphère, notamment :

- Les polluants peuvent être mélangés, dilués, et transportés d'un endroit à un autre de l'atmosphère par les mouvements de l'air.
- Les réactions physiques et chimiques ayant lieu dans l'atmosphère peuvent détruire certains polluants et en créer des nouveaux.

Sur cette image, trois riverains sont situés à proximité de la même source d'émissions, mais sont exposés à des concentrations différentes. (Fig.4)

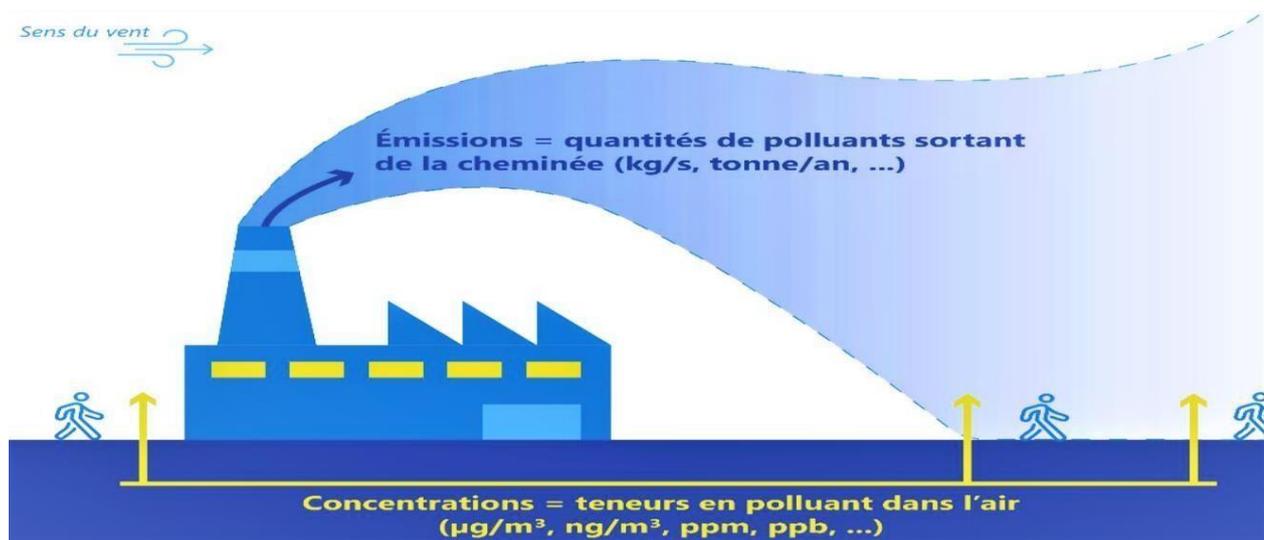


Figure 5: Schéma illustrant la différence entre émissions et concentrations. Source : Bastien L., (2021):Guide micro capteurs

Bien que les trois personnages représentés soient à proximité de la même source d'émissions, la concentration en polluant de l'air respiré par celui à gauche est faible, celle respirée par le personnage central est très élevée, et celle respirée par le personnage à droite représente le cas intermédiaire

1.4) Influence de la météorologie sur les concentrations en polluants atmosphériques :

Les concentrations atmosphériques en polluants dépendent bien évidemment des quantités de polluants émises, mais également des conditions météorologiques. Par exemple :

- ❖ Les vents forts (e.g. conditions cycloniques) dispersent et déplacent mieux les polluants que les vents faibles. À l'inverse, les conditions anticycloniques peuvent conduire à une accumulation des polluants.
- ❖ Un fort ensoleillement et des températures élevées favorisent la formation de certains polluants dans l'atmosphère car ces paramètres rendent la chimie plus active (ozone, etc.). Inversement, des températures faibles peuvent favoriser la formation d'autres composants des particules (composants inorganiques, etc.).
- ❖ L'humidité, et le brouillard peuvent favoriser la formation de particules et d'autres polluants (e.g. moisissures).
- ❖ Les précipitations nettoient l'atmosphère de certains polluants (particules, polluants gazeux solubles, etc.). Mais la pluie lessive l'air et peut devenir acide et transfère les polluants dans les sols et les eaux.

Source : Bastien L., 2021

1.5) Les indicateurs de base utilisés pour le calcul IQA :

La météo joue un rôle très important sur les pics de pollution ce qui nécessite la mesure des paramètres de confort "météorologiques" comme l'humidité, la température, la vitesse et la direction du vent avant calculer l'indice de la qualité d'air.

La qualité de l'air désigne le niveau de propreté, elle est évaluée par IQA.

L'indice de qualité de l'air fournit des informations sur la qualité de l'air et la quantité de polluants de base qu'il contient, il est calculé en fonction des concentrations de ces polluants dans l'air, à l'aide de données issues des stations de mesure implantées dans des zones urbaines suffisamment éloignées des sites industriels et selon des critères bien définies.

IQA est établi de telle sorte que la moyenne des relevés réalisés par les stations de surveillance de la qualité de l'air soit représentative de l'évolution des niveaux de concentration dans l'air des substances susmentionnés sur l'ensemble de la zone ou l'aire géographique concernée.

Les modalités de calcul sont basées sur les concentrations dans l'air des **quatre principaux polluants: SO₂, NO₂, O₃ et PM₁₀**. Selon les 3 étapes suivantes :

1. Le relevé pour chaque station de surveillance de la qualité de l'air :
 - niveau de concentration maximale pour chaque heure de NO₂, O₃ et CO.

- niveau de concentration moyenne journalière de PM10 et SO2.

2. Le calcul des moyennes obtenues, ces valeurs sont ensuite classées sur l'échelle de 1 à 10 indiciaire

3. La fixation IQA de la journée qui est égal au plus élevés des indices visés.

L'indice de qualité de l'air est une méthode simplifiée pour convertir les données reçues des stations de surveillance et de contrôle de la qualité de l'air en nombres simples, et pour classer ces nombres en degrés qui sont affichés dans un code de couleurs spécifiques (le 4^{ème} chapitre portera sur le traitement et l'exploitation des données issues des stations au niveau de la ville Marrakech) . Plus les concentrations sont élevées, plus l'indice est élevé.

Tableau 1: échelle d'indice de qualité de l'air.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Très Bonne</i>	<i>Bonne</i>	<i>Bonne</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Médiocre</i>	<i>Médiocre</i>	<i>Mauvaise</i>	<i>Mauvaise</i>	<i>Très Mauvaise</i>

Source : arrêté n01653-14 du 8 Rejeb 1435 fixant les conditions et les modalités de calcul de l'IQA

2) L'origine des polluants et leurs impacts :

2.1) Les causes de la pollution atmosphérique :

La pollution de l'air ambiant augmente énormément avec l'évolution démographique, l'étalement urbain et le développement des activités socio-économiques des différents secteurs.

Les polluants dans l'atmosphère peuvent être d'origine naturelle (ils sont alors émis par la végétation, l'érosion du sol, les volcans, les océans, etc.) Ou d'origine anthropique, c'est-à-dire qu'ils sont "émis" par les activités humaines.

Tous les secteurs d'activité humaine sont susceptibles d'émettre des polluants atmosphériques : les activités industrielles, le traitement des déchets, les chantiers, le transport (routier, aérien, fluvial), et les activités domestiques (chauffage en particulier), l'agriculture, etc...

Dans l'atmosphère, les polluants observés sont ceux émis directement par ces sources mais également ceux qui résultent de réactions physico-chimiques entre composants chimiques (polluants primaires et autres constituants de l'atmosphère) régies par les conditions météorologiques.

Le prochain paragraphe décrit les différents types de polluants atmosphériques.

2.2) Les différents types de polluants atmosphériques :

Il existe différentes manières de classer les polluants atmosphériques, par exemple selon s'ils sont émis directement dans l'atmosphère (on qualifie alors ces polluants de primaires) ou s'ils sont formés dans l'atmosphère à partir d'autres espèces. (Les espèces chimiques qui peuvent conduire à la formation de polluants secondaires dans l'atmosphère sont appelés précurseurs) .

Deux grandes familles sont distinguées :

- **Les polluants primaires:**

Le monoxyde de carbone (CO): C'est un gaz inodore et incolore qui représente le principal polluant de l'air (quantitativement) et résulte de la combustion incomplète et rapide des combustibles et carburants. C'est pourquoi il est associé aux transports routiers (à l'essence notamment), aux procédés industriels à combustion en général.

Les oxydes d'azote (NOx): peuvent se former par combinaison de l'oxygène et de l'azote dans l'air lors des phénomènes naturels (orages, éruptions volcaniques), ils ont un rôle précurseur dans la formation d'ozone dans la basse atmosphère, Ils sont constitués du monoxyde d'azote (NO) à 90-95 % environ et du dioxyde d'azote (NO₂).

Le monoxyde d'azote (NO) : est issu des phénomènes de combustion à haute température par oxydation de l'azote de l'air. Le NO se forme par combinaison de l'azote (N₂) et de l'oxygène (O₂) de l'air lors de combustions à hautes températures. Il est ensuite rapidement oxydé en NO₂ par d'autres polluants atmosphériques tels que l'O₂ ou l'O₃. Le dioxyde d'azote peut alors être considéré comme un polluant secondaire

Le dioxyde de soufre (SO₂) : c'est un gaz produit à partir de la combustion de combustibles fossiles ou d'autres matériaux contenant du soufre, il se transforme principalement en acide sulfurique.

L'ammoniac (NH₃): L'ammoniac est un polluant qui provient essentiellement de l'élevage intensif, de l'épandage d'engrais et de fumier et de l'industrie. L'ammoniac atmosphérique est un composé très important puisqu'il se dégrade en particules fines sous forme de sels d'ammonium, altérant la qualité de l'air que nous respirons.

Les particules en suspension: L'atmosphère contient de toutes petites particules solides ou liquides en suspension, appelées aérosols. Ce sont des particules insédimentables car elles ne peuvent pas se déposer sur le sol sous l'effet de la gravitation. Leur taille varie de quelques nanomètres à presque 100 microns, soit l'épaisseur d'un cheveu.

Qui sont de deux types : PM₁₀ et PM_{2,5}. (PM = particulate matter (particule en suspension)).

Les métaux lourds: Ils sont nombreux et l'on retrouve comme éléments majeurs : le plomb (Pb), le fer (Fe), l'aluminium (Al), le zinc (Zn) et le magnésium (Mg) Ils sont issus majoritairement des usines d'incinération de déchets et du trafic automobile.

- **Les polluants secondaires :**

- **L'Ozone (O₃) :** L'ozone est le principal polluant secondaire. Principal composant du "smog", Sa transformation résulte d'un processus photochimique en présence de chaleur des rayons UV du soleil et de certains polluants primaires (monoxyde de carbone(CO), oxydes d'azote(NOx) et composés

organiques volatils) qui proviennent des émissions naturelles des forêts et humaines (automobile, combustion des déchets).

- **Le dioxyde d'azote (NO₂):** C'est l'un des polluants atmosphériques les plus courants, car il résulte de la combustion de combustibles fossiles. Il peut également se former à la suite de l'oxydation de l'azote atmosphérique à des températures élevées. Le dioxyde d'azote est un polluant caractéristique du trafic automobile et marin, c'est pourquoi il se concentre le long des voies de circulation. Il est également émis par les centrales électriques et les installations industrielles.

- **Les gaz à effet de serre :**

- N'ayant pas un effet local sur la santé comme les polluants atmosphériques mais sur le climat à l'échelle planétaire .ils sont soit émis naturellement comme CO₂, CH₄, N₂O, O₃. Ou fabriqués par l'industrie comme les halo-carbures : le fréon ou CFC (chlorofluorocarbure), HFC (hydrofluorocarbure), Les halo-carbures contribuent principalement à l'appauvrissement de la couche d'ozone et aux changements climatiques
- L'exemple des chlorofluorocarbures contribuent à dégrader l'ozone stratosphérique. Ils sont responsables du « trou de la couche d'ozone », gaz à l'origine de la destruction de l'ozone atmosphérique.
- **Le dioxyde de carbone (CO₂) :** le plus important des GES aussi bien en termes de concentration dans l'atmosphère qu'en termes de quantité globale émise. Il est émis majoritairement par le secteur énergétique.
- **Méthane (CH₄) :** gaz à pouvoir de réchauffement par molécule plus important mais présent un niveau de concentration et d'émission bien inférieur au CO₂.
- **Le protoxyde d'azote (N₂O) :** considéré comme le 3^{ème} gaz à effet de serre contribuant le plus au réchauffement climatique planétaire.
- **Composés fluorés, chlorés et bromés :** des gaz à pouvoir de réchauffement par molécule plus important que N₂O mais à l'origine purement anthropique et dont la concentration et le volume d'émissions sont très faibles.

2.3) L'impact de la pollution atmosphérique :

Dans le monde la pollution de l'air est le 4^{ème} facteur de risque pour la santé. La charge mondiale de morbidité associée à l'exposition à la pollution atmosphérique fait payer un cher tribut à la vie humaine à travers le monde : selon des estimations, l'exposition à la pollution atmosphérique est chaque année la cause de millions de décès et de la perte d'années de vie en bonne santé. Les estimations montrent que la charge de morbidité attribuable à la pollution atmosphérique est à présent comparable aux autres risques majeurs pour la santé dans le monde, tels que le déséquilibre

de l'alimentation et le tabagisme. La pollution atmosphérique est actuellement reconnue comme étant la plus importante menace environnementale pour la santé humaine.

La santé cardiovasculaire et respiratoire de la population, à court et à long termes, est inversement proportionnelle au niveau de la pollution atmosphérique.

En 2016, on estimait à 4,2 millions le nombre de décès prématurés provoqués par la pollution de l'air ambiant (extérieur) dans les villes et les zones rurales de par le monde.

En 2019, 99 % de la population mondiale vivaient dans des endroits où les seuils préconisés dans les lignes directrices de l'OMS relatives à la qualité de l'air n'étaient pas respectés.

« *La pollution de l'air accélère le vieillissement de nos cerveaux* » 10 mars 2022, par Yonne Lautre.

La pollution de l'air affecte notre intelligence .Plus précisément elle accélère « *le déclin cognitif, un des symptômes annonciateurs d'une pathologie neurodégénérative qui affecte le système nerveux comme la maladie d'Alzheimer* ».C'est le résultat d'une étude de l'Inserm, publiée jeudi 10 mars dans The Lancet Planetary Health.

Les impacts de la pollution atmosphérique sur la santé peuvent se répartir schématiquement en 2 groupes dont les effets ont été quantifiés par de nombreuses études épidémiologiques.

- ✓ Les effets d'une exposition à court terme : il s'agit de : l'asthme, allergie et pathologies respiratoires survenant dans des délais brefs quelques jours et semaines après l'exposition à la pollution atmosphérique.
- ✓ Les effets d'une exposition longue ou chronique : cancer, maladies cardiovasculaires et troubles neurologiques, notamment chez les personnes les plus vulnérables (femmes enceintes, personnes âgées et jeunes enfants dont l'organisme est encore en développement.

Depuis 2013, les particules de l'air extérieur sont classées comme cancérogènes pour l'Homme par Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). La toxicité de ces particules provenant à la fois de leur composition et de leur taille. Plus les particules sont fines, plus elles sont capables de pénétrer profondément dans l'organisme (Cf. schéma ci-après) et de passer par la circulation sanguine vers d'autres organes.

- **Particules d'un diamètre de 10 micromètres (PM10)** : Ce sont de très petites particules solides ou liquides en suspension dans l'air, produites par des facteurs naturels ou à la suite de diverses activités humaines, ces particules affectent le système respiratoire lorsqu'elles sont inhalées, elles provoquent des irritations de la gorge et peut se déposer dans les voies respiratoires. Une exposition répétée à celui-ci peut entraîner des effets plus graves sur la santé.
- **Particules d'un diamètre de 2,5 micromètres (PM2,5)** : Ce sont de très petites particules solides

ou liquides en suspension dans l'air, dont le diamètre ne dépasse pas 2,5 micromètres, et elles sont produites par diverses activités industrielles, et le danger est que après inhalation,elles peuvent pénétrer dans la circulation sanguine par les poumons et causer des problèmes de santé graves, et l'exposition à ces particules entraîne de la toux, des difficultés respiratoires et de l'asthme, en plus de son effet d'exacerbation de la gravité des maladies respiratoires chroniques .

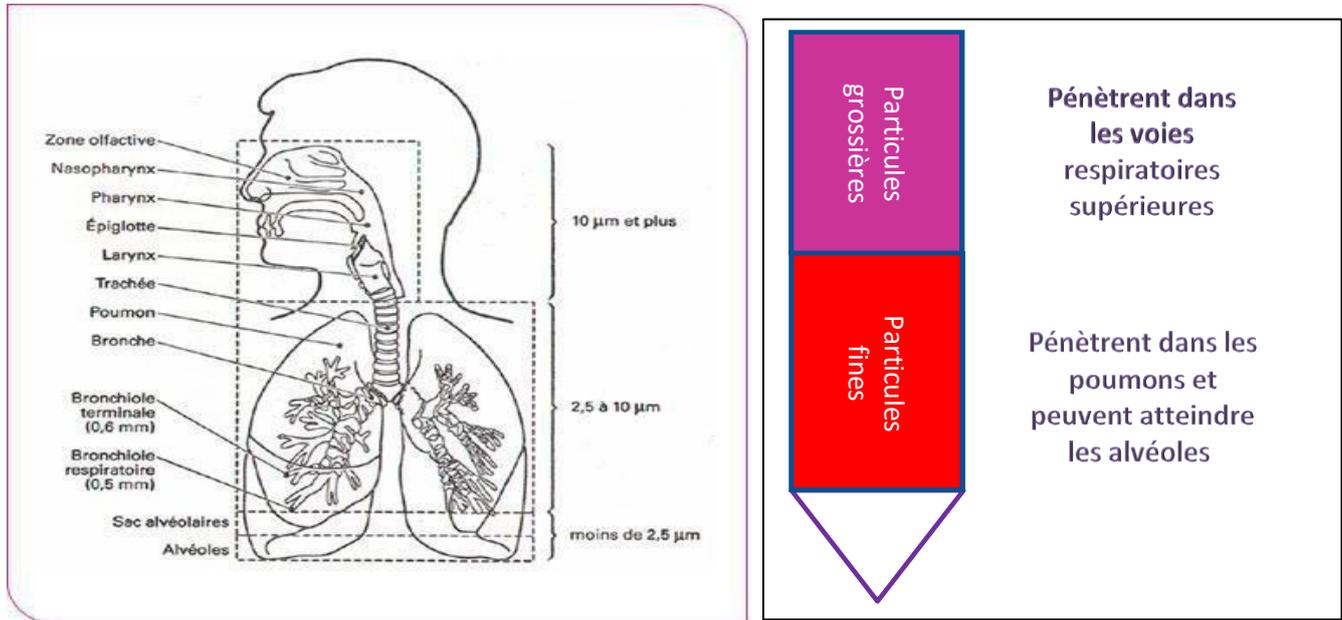


Figure 6: Schéma relatif à la pénétration des particules dans l'organisme (réalisé sur la base d'un dessin du Dr J.Harkeman),
Source : Site internet de l'ANSP

Tableau 2: les principaux polluants et leurs effets sur la santé.

Polluants	Principaux risques pour la santé
Monoxyde de carbone	>Peut provoquer des maux de tête et augmente le risque de maladies cardiaques, l'exposition à des concentrations élevées peut entraîner la mort.
Dioxyde de Soufre	> Irritations des voies respiratoires (toux, gêne respiratoire, asthme)
Ozone	> Gêne respiratoire, toux, irritations des yeux, essoufflements, crises d'asthme, apparition de maladies respiratoires
Particules ou matières particulaires	> A long terme, développement de cancers (poumon, vessie), maladies cardiovasculaires et respiratoires, atteinte du développement neurologique de l'enfant, diabète, ...

Source : Le site du ministère de la santé et de la prévention français « Qualité de l'air : Sources de pollution et effets sur la santé »,
Avril 2021.

Des populations plus sensibles ou vulnérables, ou plus exposées que d'autres

Il existe une grande variabilité individuelle dans la susceptibilité aux polluants atmosphériques.

Certaines populations sont plus sensibles que d'autres en termes d'effets sur la santé :

- les femmes enceintes.
- les enfants dont les poumons ne sont pas complètement formés (la fin de la croissance de l'appareil pulmonaire se produit vers 10-12 ans).
- les personnes âgées, plus sensibles en raison du vieillissement des tissus respiratoires ainsi que d'une diminution des défenses respiratoires.
- les personnes souffrant de pathologies chroniques (maladies respiratoires chroniques allergiques et asthmatiques ou maladies cardio-vasculaires), les diabétiques.

Des enjeux environnementaux liés à la qualité de l'air

Au-delà de son impact sanitaire direct, la pollution de l'air a des répercussions importantes sur les cultures agricoles, le fonctionnement général des écosystèmes ou encore sur les matériaux. Ainsi que :

- . Certains polluants agissent sur le changement climatique : comme l'ozone en ayant tendance à réchauffer l'atmosphère, les aérosols en ayant tendance à la refroidir.
- . Les concentrations élevées de polluants peuvent conduire à des nécroses visibles sur les plantes, entraîner une réduction de leur croissance ou une résistance amoindrie à certains agents infectieux voire affecter la capacité des végétaux à stocker le dioxyde de carbone ;
- . L'ozone, en agissant sur les processus physiologiques des végétaux, notamment sur la photosynthèse, provoque une baisse des rendements des cultures de céréales comme le blé et altère la physiologie des arbres forestiers
- . Les pluies, neiges et brouillards deviennent, sous l'effet des oxydes d'azote et du dioxyde de soufre, plus acides et altèrent les sols et les cours d'eau, venant ainsi engendrer un déséquilibre de l'écosystème
- . La pollution atmosphérique contribue au déclin de certaines populations pollinisatrices et impacte plus généralement la faune en affectant la capacité de certaines espèces à se reproduire ou à se nourrir
- . La pollution atmosphérique affecte les matériaux, en particulier la pierre, le ciment et le verre en induisant corrosion, noircissements et encroûtements.

3) La pollution atmosphérique à l'échelle nationale :

Le Maroc a enregistré des évolutions remarquables dans tous les domaines, les pressions exercées par les différents secteurs d'activité humaine conduisent à une dégradation de l'environnement et des ressources naturelles notamment la qualité de l'air . Cependant, nos activités quotidiennes génèrent une production immense de polluants, très variés, qui se trouvent à un moment dans l'atmosphère et augmentent ainsi le risque de conséquences préjudiciables à notre santé. Il est important au préalable de savoir ce qui est rejeté dans l'air.

Ces dernières années, la pollution de l'air atteint des pics dans plusieurs villes au Maroc. Depuis 2000 celle-ci ne cesse d'augmenter jusqu'à couler au Royaume chaque année 1,04% de son PIB soit plus de 10 milliards de DH, Ce phénomène lié à la croissance économique risque de devenir un gros problème à régler. Au Maroc, la pollution de l'air extérieur était à l'origine de 8.750 décès en 2017 dont pratiquement la moitié à Casablanca, révèle le rapport de la Banque mondiale sur le cout de la dégradation de l'environnement.

3.1) Les sources qui causent la pollution atmosphérique :

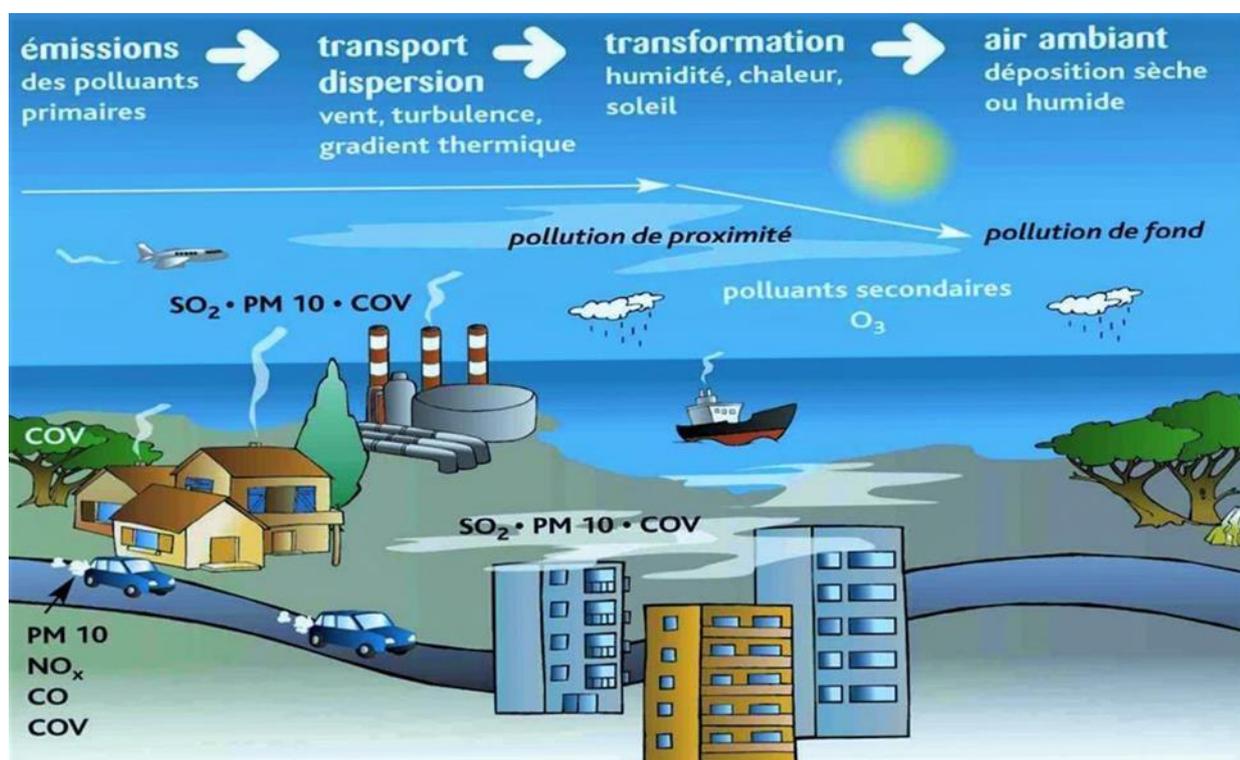


Figure 7: illustrant les différentes sources et facteurs de la pollution de l'air, Source : Christophe and Al(2017):Pollution atmosphérique, université Paris VII, p.9

CH₄: Méthane : gaz à pouvoir de réchauffement par molécule plus important mais présente un niveau de concentration et d'émission bien inférieur au CO₂. Il est émis majoritairement au Maroc par le traitement des déchets municipaux et l'élevage.

CO₂: Dioxyde de carbone_: le plus important des GES aussi bien en termes de concentration dans l'atmosphère qu'en termes de quantité globale émise. Il est émis majoritairement par le secteur énergétique.

N₂O: Oxyde nitreux : gaz à pouvoir de réchauffement par molécule encore plus important que CH₄ mais présente un niveau de concentration et d'émission inférieur à CH₄. Il est émis essentiellement par l'agriculture.

SO₂: Dioxyde de soufre : produit essentiellement par le secteur industriel et énergétique. Les émissions de dioxyde de soufre dépendent de la teneur en soufre des combustibles (gasoil, fuel, charbon...). Elles sont principalement libérées dans l'atmosphère par les cheminées des usines ou par les chauffages, le secteur automobile Diesel contribue dans une faible mesure à ces émissions.

NOx: Oxyde d'azote : rejeté les installations fixes de combustion ou par certains procédés industriels mais surtout en majorité par les moteurs des véhicules. Les émissions d'oxydes d'azote apparaissent dans toutes les combustions, à hautes températures, de combustibles fossiles (charbon, fuel, pétrole...). Le secteur des transports est responsable de plus de 60% des émissions de NOx (les moteurs Diesel en rejettent deux fois plus que les moteurs à essence catalysés).

CO: Monoxyde de carbone : Le CO est un gaz très nocif pour l'homme et l'animal, à l'origine de fréquentes intoxications aiguës, Il résulte de la combustion incomplète des composés carbonés (carburants et combustible). Le secteur des transports est le principal responsable des émissions de CO., mais certain procédés industriels en émettent en quantité significative (agglomération de minerai, fonderie, métallurgie des métaux non ferreux, production de ciment, de chaux, incinération de déchets et le brûlage..).

L'ozone (O₃) : protège les organismes vivants en absorbant une partie des UV dans la haute atmosphère. Mais à basse altitude, ce gaz est nuisible si sa concentration augmente trop fortement. C'est le cas lorsqu'il se produit une réaction photochimique entre le dioxyde d'azote et les hydrocarbures (polluants d'origine automobile).

Particules en Suspension : Les combustions industrielles, l'incinération des déchets, la manutention de produits pondéraux, minerais et matériaux, la circulation automobile sont parmi les émetteurs de particules en suspension. Mais la plus grande part provient des transports.

3.2) Historique des stations de mesure de la qualité de l'air :

Dorénavant il est possible de détecter depuis l'espace la pollution atmosphérique, même celle qui s'étend au niveau des sols à travers des satellites qui repèrent les pics de pollution sous des conditions météorologiques bien définies.

Au Maroc, la surveillance de la qualité de l'air a été abordée en 1997, avec les premières campagnes du genre au Maroc menées par le Ministère Délégué chargé de l'Environnement sur l'agglomération de Rabat, au biais d'un laboratoire mobile. Ces campagnes ont permis, d'une part, d'évaluer l'étendue et l'intensité de la pollution dans la ville en comparant les concentrations mesurées aux différentes normes, et d'autre part, de sensibiliser les pouvoirs publics sur la nécessité d'avoir des stations fixes pour la mesure continue de la qualité de l'air. Suite aux investigations dans le domaine de la surveillance de la qualité de l'air au niveau des grandes villes du Royaume à l'aide du laboratoire mobile, ainsi que les résultats des études éco-épidémiologiques, qui ont démontré des corrélations significatives entre les polluants atmosphériques et les indicateurs de la santé, le Maroc, à l'instar des autres pays, a adopté un réseau national de surveillance de la qualité de l'air, géré par la direction de la météorologie nationale, constitué des stations fixes qui assurent une surveillance quotidienne de la qualité de l'air, à travers des informations et des données collectées dans une base de données et alléguées aux collectivités locales pour prendre les mesures nécessaires en vue de faire face à la pollution de l'environnement.

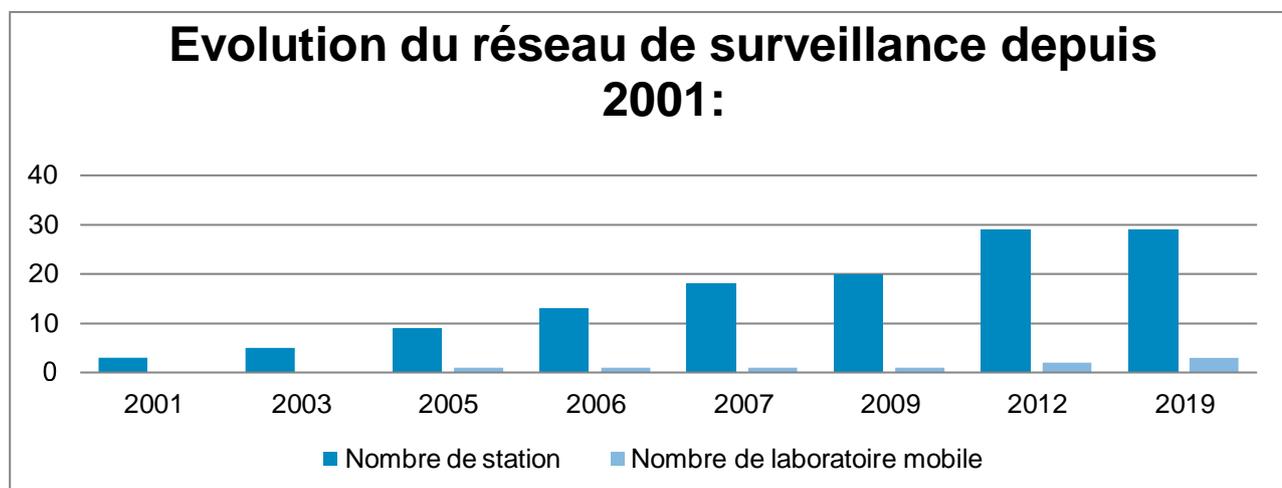


Figure 8: évolution du réseau de surveillance de la qualité de l'air Source : Firadi R. (Décembre 2017) : Programme national de l'air, Directeur des programmes et des réalisations p.5

En effet, Les stations sont situées soit dans des zones urbaines suffisamment éloignées des sites industriels, soit dans des zones urbaines à proximité du trafic et /ou des zones industrielles, et ce pour rendre compte de l'importance des différentes sources d'émissions.

La première station fixe de suivi en continu des indicateurs de la pollution atmosphérique à Rabat a été mise en place en 2002. C'était le noyau du Réseau National de Surveillance de la Qualité de l'Air (RENSQA). Il y a eu également l'installation du poste central d'acquisition des données à l'échelle nationale. Ensuite,

deux stations fixes de suivi de la qualité de l'air à Casablanca et Mohammedia ont été installées en 2003. À partir de cette année le RENSQA est en continuel développement avec une moyenne de deux à quatre stations par an, deux en 2005 pour les villes de Rabat et Casablanca, et quatre autres en 2006, pour les villes de Salé, Kenitra, El Jadida et Safi. En 2019, Ces stations sont au nombre de 29 et sont réparties sur les 15 villes comme suit :

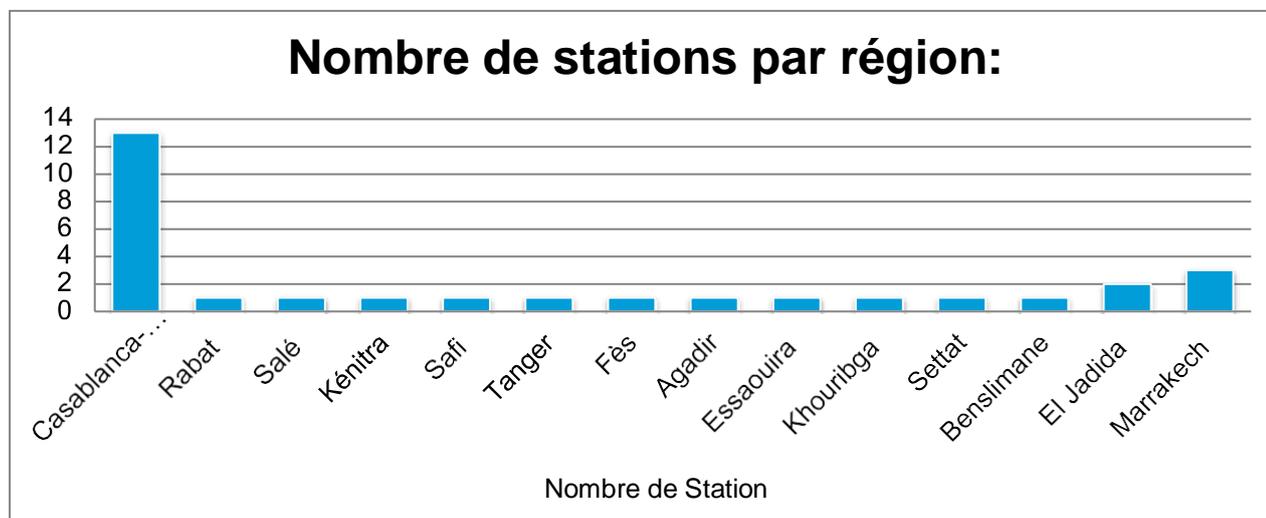


Figure 9: Répartition des stations fixes de mesure de la qualité de l'air. Source : Firadi R., (Décembre 2017) : Programme national de l'air, Directeur des programmes et des réalisations.



Figure 10: . Station fixe



Station mobile

Actuellement, en 2022 le Maroc a mobilisé 370 millions de dirhams, pour mettre en place les 140 stations de contrôle de la qualité de l'air qui est prévu à l'horizon de 2030, dans ce contexte, la plupart des anciennes stations ont été renouvelées en 2021, et d'autres sont entamées sur différentes villes, tel que la ville de Marrakech qui dispose aujourd'hui de 7 stations de surveillance.

3.3) Critique :

Aujourd'hui, Le Maroc est un chef de file au sein du Groupe des États arabes, en matière de politique climatique. Malgré les efforts déployés en termes de lutte contre la pollution atmosphérique beaucoup de chemin reste à faire.

Manque d'outils de sensibilisation et d'information :

Tableau 3: Les types de mesure des stations et leur fiabilité

Type de mesure	Avantages	Inconvénients
Mesure Permanente (Station fixe)	Plus grande précision possible pour une donnée observée	Coût élevé, maintenance complexe d'où un petit nombre de points
Campagnes temporaires (Moyens mobiles)	Observations nombreuses, donnant un aperçu de la répartition spatiale	Logistique lourde, incertitude plus forte que pour un capteur permanent

Source : Projet relatif à la mise en place 4 stations de mesure de la qualité de l'air au niveau de l'ancienne Médina de Marrakech (DRE) :2019, p.5

Un suivi régulier des indicateurs de pollution de l'air permettra aux élus et aux autorités locales de prendre les mesures adéquates en cas de dépassement des normes et d'orienter la politique d'aménagement et de développement des villes, Malheureusement, les données mesurées ne sont pas publiées aux citoyens, sachant que nombreuses personnes meurent de la pollution sans forcément en être conscientes ou diagnostiquées.

Actuellement, les données disponibles n'accordent pas une image détaillée des pressions et de l'état de la qualité de l'air au niveau national ; Seuls des chiffres pour certaines localités sont mesurés mais les études épidémiologiques sont anciennes, non actualisées et ne conviennent pas à mesurer les effets actuels de la pollution atmosphérique sur la santé. Malgré les nombreuses mesures prises par les différents acteurs, des lacunes restent encore à combler, notamment à propos des mesures prises par les stations. Aussi qu'au niveau de la coordination et de l'harmonisation des actions, et en matière de cohérence des interventions, et d'application de la législation existante. Une vision holistique et stratégique de la protection de la qualité de l'air, agrémentée de programmes spécifiques facilitant son opérationnalisation, fait toujours défaut.

Manque de réglementation :

Les résultats qui seront obtenus par des actions individualisées, ne permettront pas d'atteindre les objectifs de protection de la qualité de l'air. En revanche, l'initial source de la pollution de l'air soit les unités industrielles, dont les réglementations en vigueur ne leurs imposent aucune obligation à déclarer la pollution qu'elles émettent, mais prévoient des incitations économiques et des exemptions de taxes afin d'encourager l'investissement dans des productions propres limitant la pollution de l'air ou incluant des mesures de protection de l'air dans leurs processus.

Manque de gestion :

Entre autres, les actions entreprises, dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, bien que porteuses de progrès potentiels très significatifs, ne constituent pas à l'heure

actuelle des réponses concrètes et efficaces. Selon un rapport de l'organisation Greenpeace MENA (Moyen-Orient et Afrique du Nord) « *La pollution atmosphérique menace la santé des Marocains et persiste encore malgré l'engagement du Maroc dans la bataille climatique mondiale, la pollution de l'air cause plus de 5000 décès au Maroc, soit une moyenne de 15 décès par jour, et coûte au pays près de 11 milliards de dirhams par an* ».

Chapitre II : La lutte contre la pollution atmosphérique

1) Volet institutionnel :

Une bonne gestion de la surveillance de la qualité de l'air revêt un caractère important, notamment en ce qui concerne les dispositifs de mesures, leurs entretien et maintenance, la vérification et la validation des données, l'élaboration des rapports nationaux et régionaux, la gestion des dépassements des seuils d'information et d'alerte, l'organisation et l'application des mesures d'urgence.

A ce titre, la surveillance de la qualité de l'air est contrôlée par une multitude d'acteurs à différents échelons (national, régional et local), qui contribuent à l'amélioration et à la fiabilité de ce réseau actuel, citons :

- Ministère délégué chargé de l'environnement.
- Conseil national de l'environnement avec des conseils régionaux et un conseil de l'environnement (Wilaya).
- Observatoire national de l'environnement et observatoires régionaux.
- Laboratoire national de l'environnement.
- Comité national et comités régionaux des études d'impact.
- Comité national permanent de suivi de la qualité de l'air et comités régionaux.
- Direction de la météorologie nationale et réseaux de contrôle de la qualité de l'air.
- Centre national d'essais et homologations et centres de visite technique.
- Fondation Mohammed VI pour la protection de l'environnement.
- Agence nationale pour le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.
- Ministère de la Santé.
- Centres régionaux d'investissement.
- Agences urbaines.
- Collectivités territoriales, Régions, Préfectures, Provinces et Communes.
- Universités, représentants de la société civile.

Source : AZARIZD. (Avril 2019) : Les principes de la bonne gouvernance dans le domaine de la qualité de l'air au niveau national, régional et international p.9

2) Volet réglementaire :

Suite à la nouvelle constitution du royaume en 2011, la protection de l'environnement et du développement durable demeure parmi les occupations majeures du Maroc. Dans ce cadre la réglementation de la qualité de l'air est régie par un ensemble de lois, décrets et arrêtés liés directement et indirectement à la qualité de l'air: (Voir ANNEXE).

3) Volet opérationnel :

Le système de gouvernance de la qualité de l'air doit être en mesure d'assurer un développement harmonieux du réseau de surveillance et de sa pérennisation. Cela permet de garantir la génération de données fiables et continues permettant le suivi permanent et la prise de décision en temps opportun. A ce propos, le Maroc a consacré une profonde étude afin de décroître la pollution atmosphérique et contrôler la qualité de l'air à travers nombreux programmes assignés ci-dessous :

3.1) La stratégie nationale du développement durable (SNDD)

Dans la perspective de réussir la transition vers une économie verte et inclusive, le Maroc s'est doté d'une stratégie nationale du développement durable conforme à sa constitution en 2011. La vision proposée par cette stratégie pour la mise en cohérence et l'acoalition des politiques et des programmes sectoriels se fait à travers l'aboutissement d'un diagnostic approfondi et se base ainsi sur l'intégration des quatre piliers fondamentaux du développement durable ; notamment économique, social, environnemental et culturel avec l'appuid'une vision stratégique : « *Mettre en œuvre les fondements d'une économie verte et inclusive au Maroc d'ici 2030* ».

Dans ce contexte, la SNDD s'appuie sur 4 piliers, et désigne 7 enjeux, 31 axes stratégiques et 131 objectifs.

Tableau 4: Les piliers de la SNDD

Economie	Société	Culture	Environnement
<ul style="list-style-type: none"> • Renforcer la compétitivité durable 	<ul style="list-style-type: none"> • Promouvoir le développement humain et la cohésion sociale 	<ul style="list-style-type: none"> • Promouvoir une société tolérante et créative 	<ul style="list-style-type: none"> • Systématiser la prise en compte des enjeux environnementaux



Figure 11: Les enjeux de la SNDD

3.2) Le Programme national de l'air (PNAir)

Le département de l'environnement a élaboré en coordination avec tous les acteurs concernés un Programme National de l'Air (PNAir) pour la période 2018-2030, qui porte des actions en matière

de surveillance de la qualité de l'air, tel que la réduction des rejets atmosphérique, le renforcement du cadre juridique, la communication et la sensibilisation, ce programme a été validé par le comité Lors de l'élaboration de la SNDD.

Source : Firadi R., 2017

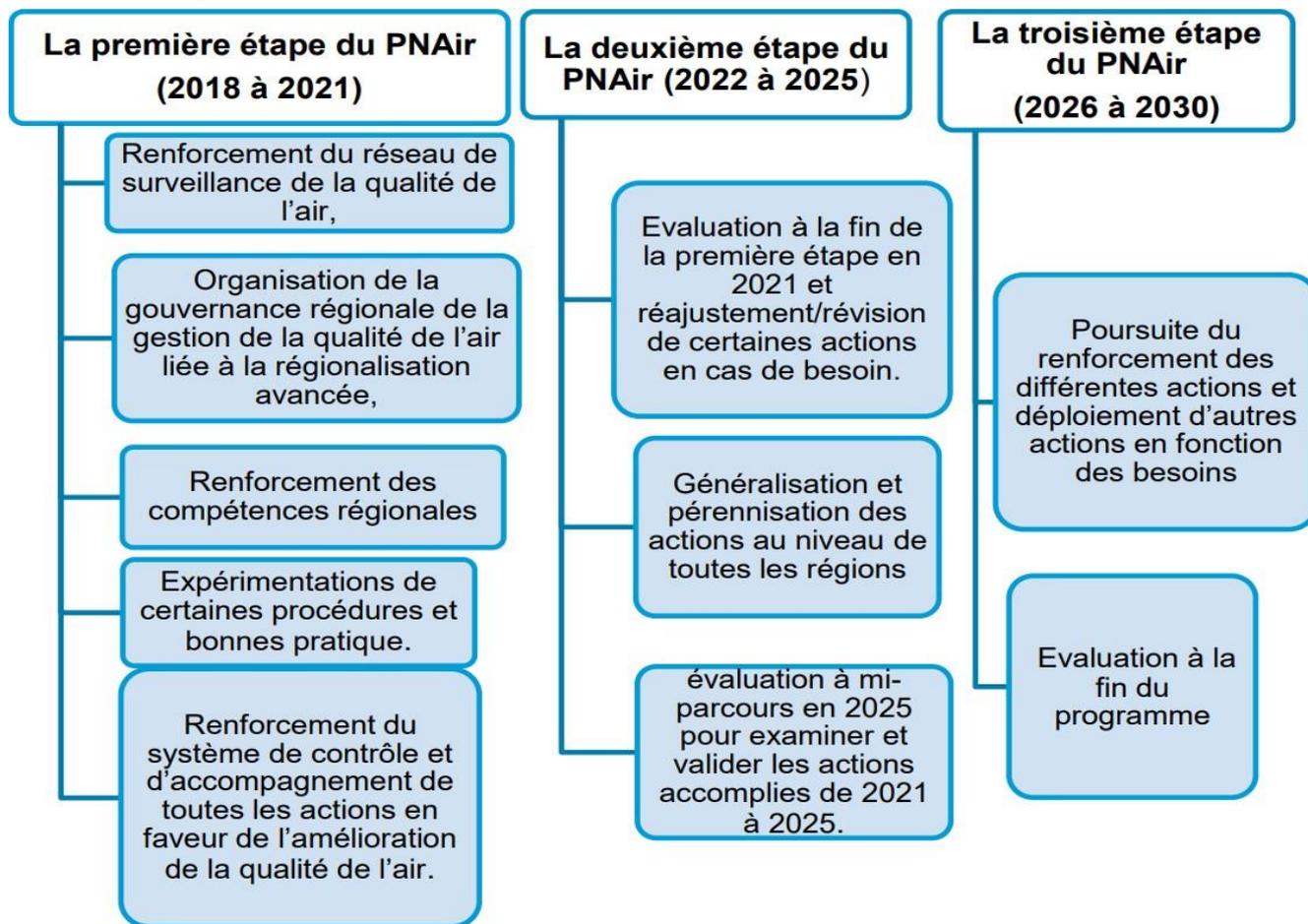


Figure 12: Les étapes du PNAir. Source : Rapport sur le PNSQA(DE), 2020.

3.3) Le programme national de surveillance de la qualité de l'air (PNSQA) :

Dans le cadre de la régionalisation avancée, et la volonté de préciser les engagements des différentes parties pour le déploiement et le renforcement du Réseau national de surveillance de la qualité de l'air au niveau des régions. en 2007, Les acteurs clés ont signé un Protocole d'accord entre DE, DGM, DGCL et FM6E, ainsi que deux Convention spécifique relative au Transfert de la Gestion du Réseau National de Surveillance de la Qualité de l'Air de la DGM au DE. Ce programme a pour objectif :

- L'amélioration de la qualité de l'air.
- Mettre en place une veille sanitaire nationale pour la pollution.
- Mettre en place un système de veille sanitaire pour la pollution de l'air dans les grandes villes.
- Mettre en place un réseau de stations de surveillance de la qualité de l'air.
- Réduire les facteurs de pollution de l'air (carburants, état des véhicules)

Chapitre III : Cas d'étude de la ville de Marrakech

Boucle DPSIR de l'Air

La croissance démographique et le changement du mode de vie la population ainsi que l'activité anthropique sont les principales sources des gaz à effet de serre et de dégradation de la qualité de l'air dans la région

- **Régionale** : Le développement de l'arboriculture, l'économie d'eau par irrigation localisée, le reboisement et la régénération, la distribution des lampes LBC, la modernisation du système d'éclairage public, le projet du Bus électrique de Marrakech, les initiatives de l'OCP : La cogénération de chaleur dans les unités de production sulfurique et l'adduction de l'eau du Barrage Al Massira vers le site minier Gantour qui permet de substituer les eaux prélevées de la nappe Bahira, la réutilisation des eaux usées et le dessalement de l'eau de mer, l'extension de la station de traitement des eaux usées de la ville de Marrakech, l'amélioration du rendement des réseaux d'eau potable et industrielle, l'aménagement des bassins versants, la prévention et lutte contre les feux de forêts.



- **Agriculture** : Deuxième source des GES dans la région (de la SAU, utilisation intensive des engrais et des pesticides, élevage intensif)
- **Mines & carrières** : Emissions des poussières et des GES lors des travaux d'extraction, de transport et de traitement des matériaux.
- **Industrie / Artisanat** : 10 zones industrielles qui génèrent des rejets atmosphériques engendrant ainsi une dégradation de la qualité de l'air.
- **Energie** : Annuellement, 3,5 millions tonnes de charbon sont comburés dans la centrale thermique de Safi pollution atmosphérique importante à la ville et dégrade la qualité de l'air à son niveau.
- **Transport** : Augmentation du parc automobile Augmentation des GES et dégradation de la qualité de l'air.
- **Déchets** : Fermentation des déchets Production du Méthane.

Augmentation de la concentration des gaz à effet de serre et dégradation de la qualité de l'air ;
La dégradation de la qualité de l'air provoquera l'apparition des symptômes du changement climatique au niveau de la région et augmentera la fréquence des phénomènes extrêmes (orages, crues, inondations...etc.)

Le climat de la région de Marrakech-Safi, suit la même tendance qu'à l'échelle du Maroc, une tendance à la baisse des précipitations couplée avec une tendance à la hausse des températures et de l'évapotranspiration ; Selon des études sur la qualité de l'air élaborées en 2010, les villes de Marrakech, Essaouira et Safi ont une qualité moyenne.

Figure 13: Boucle de DPSIR

1) L'étalement urbain et activités au niveau de la région :

La région de Marrakech-Safi est caractérisée par un cadre géographique limité du côté S et SE par la chaîne du Haut Atlas. Elle est considérée comme une zone transitoire entre les climats secs et sahariens vers le sud et les climats sub-secs et subhumides vers NE et N. elle est donc très vulnérable faces aux changements et réchauffement climatiques que vit la planète Terre.,

En outre, cette région connaît une croissance démographique et un changement du mode de vie accompagnés d'une activité économique développée. Ceci contribue à la pollution de l'air à travers l'émission des GES au niveau de l'atmosphère. Voici par ailleurs les secteurs d'activité qui engendrent la dégradation de l'air.

- **Agriculture** : Le secteur agricole est la deuxième source des GES dans la région à cause de la croissance des SAU, l'utilisation intensive des engrais et des pesticides et l'élevage intensif.

- **Mines et carrières** : émissions des poussières et des GES lors des travaux d'extraction, transport et de traitement des matériaux

- **Industrie et artisanat** : - Notre région abrite 10 zones industrielles qui génèrent des rejets nocifs.

- **Energie** : Annuellement, 3,5 millions tonnes de charbon sont comburés dans la centrale thermique de Safi.

-Transport : La région a connu une augmentation importante de son parc automobile depuis les années 2000.

-Déchets : CH₄ présente des risques d'incendie et d'explosion, ou même encore d'asphyxie pour l'homme au-delà d'un certain seuil.

Source : Département de l'environnement, 2019

2) Etat environnemental :

-Le climat de la région de Marrakech-Safi, comme tout ailleurs au Maroc, suit une tendance à la baisse des précipitations couplée d'une hausse des températures et de l'évapotranspiration.

- On note une augmentation des risques de feux de forêt naturels et l'allongement de la saison des incendies (23 foyers d'incendie en 2010 au niveau d'Essaouira)

- L'augmentation des risques de récurrence élevée de la sécheresse (Pour une période de retour de 5 ans la superficie à risque de sécheresse est estimée à 3.893.348 ha) ;

- La récurrence des inondations (Inondation de l'Ourika 1995, inondation de 2001, 2006, 2008...)

Source : Département de l'environnement, 2019

La ville de Marrakech :

La ville de Marrakech est la principale ville de cette région, elle constitue la première destination touristique du Maroc grâce à son patrimoine culturel impressionnant avec de nombreux monuments et des musées de qualité.

En effet le tourisme constitue une source d'intenses pressions sur le milieu naturel par l'extension urbaine et l'utilisation excessive des ressources en eaux et énergie de la région malgré les efforts consentis par les autorités compétentes à cet égard. Ajoutant les polluants et les GES résultant des autres secteurs d'activités socioéconomiques (artisanat, transport et déchets ...), le rejet excessif de ces éléments dégrade la qualité de l'air et accentue le phénomène du réchauffement climatique.

Ce qui nécessite l'adaptation des stratégies, l'élaboration des plans d'actions dont le réseau de surveillance et de mesure de la qualité de l'air par l'implantation des stations, ces dernières enregistrent de façon continue des valeurs et des moyennes de concentration supérieures aux normes.

Parmi les actions et les mesures d'atténuation GES réalisées :

Dans Le secteur forestier et la palmeraie Marrakech :

L'évolution des pieds de palmiers plantés dans la palmeraie de Marrakech aboutit à l'atténuation des GES, la ville de Marrakech connaît depuis quelques années un regain des espaces verts malgré son taux d'urbanisation élevé et la forte croissance de la population depuis quelques décennies, elle

dispose de 73 jardins, dont certains abritent une importante richesse floristique, la superficie globale de ces jardins est d'environ 950 ha. Ainsi, la préfecture de Marrakech arrive au premier rang au Maroc avec un ratio de 7,10 m² d'espace vert par habitant.

Dans Le secteur de transport :

Bus électrique de Marrakech » participe à la réduction des émissions des GES.

Dans Le secteur d'assainissement :

La STEP de Marrakech permet l'alimentation des espaces golfiques et palmeraie par la réutilisation des eaux usées. Elle comporte un système de récupération du biogaz produit par l'activité des bactéries anaérobiques, ce biogaz couvre 50 % des besoins de la station elle-même en électricité et participe à la réduction des GES (60 KtO₂/an).

Dans Le secteur de l'énergie :

L'atténuation liée à l'utilisation des lampes LED et LBC dans l'éclairage, l'écartement des populations des zones polluées et la mise en place des systèmes de protection.

Source : Rapport sur l'état de l'environnement de la région Marrakech-Safi, 2020

3) Réseau national de la qualité de l'air :

Le Réseau national de la qualité de l'air à Marrakech est constitué de 7 stations de surveillance, la répartition des stations est illustrée dans la carte ci-dessous :

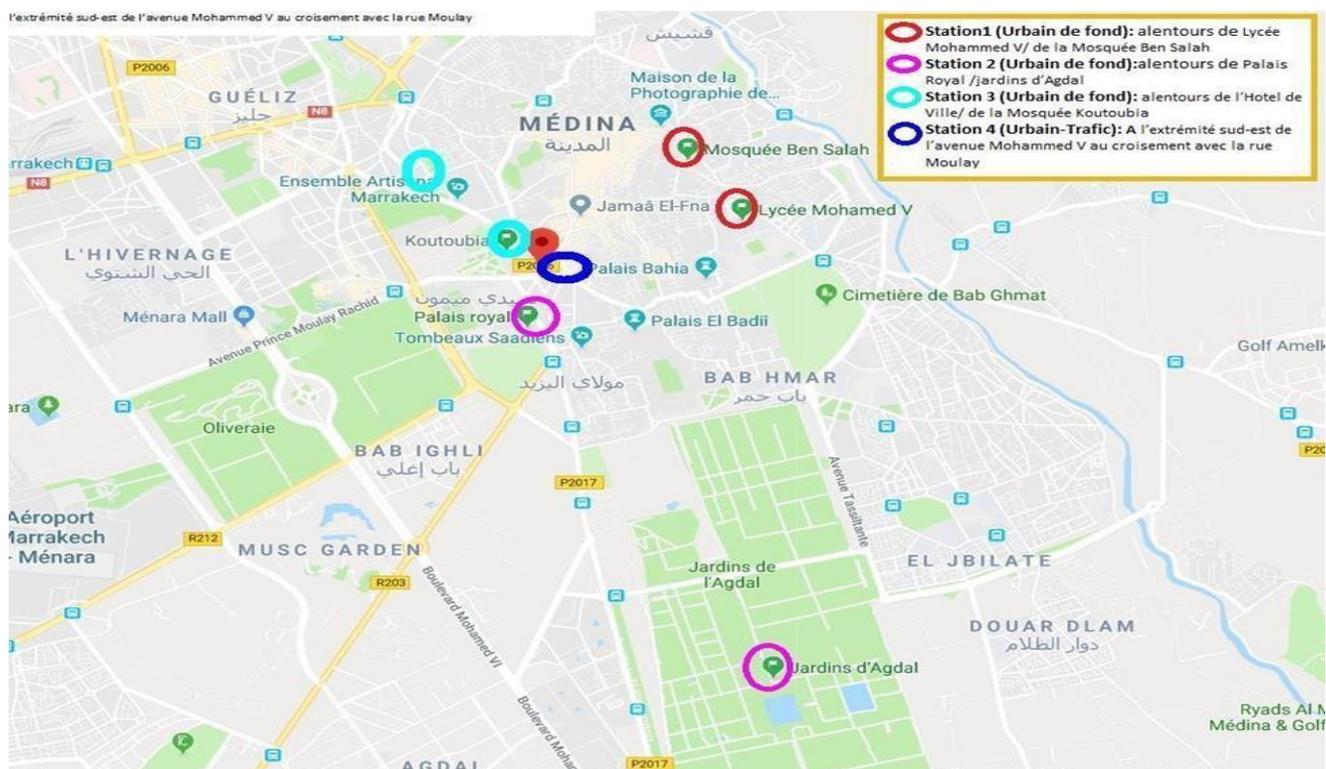


Figure 14: Carte de localisation des stations de surveillance sur la ville de Marrakech Source : Projet relatif à la mise en place 4 stations de mesure de la qualité de l'air au niveau de l'ancienne Médina de Marrakech (DRE) :2019, p.13

4) Renforcement des techniques de mesure au niveau de la ville de Marrakech :

Dans le cadre de la gestion de la qualité de l'air de la ville rouge, vient la réalisation de nouvelles stations afin de suivre l'évolution et les niveaux de la pollution atmosphérique et évaluer les actions mise en place. La Ville de Marrakech a bénéficié de la contribution du DE par un financement de l'ordre de 06 millions de dirhams (2018-2020) versé au Conseil de la région pour l'acquisition de 04 stations de surveillance de la qualité de l'air, dont 3 stations de fond / 01 station de trafic .

Tableau 5: cadre géographique et temporelle des stations de surveillance sur la ville de Marrakech Source : « Renforcement du RSQA au niveau de la région Marrakech-Safi »(DRE), 2021, p.13

Sites de stations	Adresse	Commune	Année d'acquisition
Centre Régional	Centre régional des métiers de l'éducation et de la formation	Mechouar El Kasbah	2021
Complexe Sportif	Complexe sportif bab lkhmiss	MARRAKECH	2021
Lalla Aouda	Lycée Lalla Aouda Saadia	MARRAKECH	2021
Ennour	Ecole Primaire Ahmed Ennour	MARRAKECH	2021



Station de fond



Station de trafic

5) Choix du site d'implantation :

Tableau 6: Critères d'implantation de stations selon leur type

		Critère
Typologie (défini par site)	Urbaine	densité de population > 3000 hab/km ²
	Périurbaine	densité de population < 3000 hab/km ²
	Rurale	communes rurales uniquement
Influence (définie par polluant)	Fond	-Le site est influencé par l'ensemble des sources environnantes.
	Trafic	-un axe de circulation est la source prépondérante pour ce(s) polluant(s).Le point de prélèvement est à moins de 10 m de la voie de circulation, moins si possible.
	Industrielle	- Le point de prélèvement est dans la zone de retombée maximale du panache.

Critères à considérer dans le choix du site :

- Topographie (rupture de pente) du site et les conditions météorologiques surtout la rose des vents (agit sur la dispersion des polluants);
- Classification de la commune et densité de population (urbaine/ rurale);
- Emetteurs proches (sources d'émission du secteur artisanal, commerce);
- Distance par rapport aux obstacles, Eviter la présence d'obstacles (arbres, clôtures,...) et les ruptures de pente. Dans le cas des arbres, l'éloignement doit être de 10 m au moins pour éviter tout phénomène d'interférence (émission de pollen dans le cas des particules en suspension, réaction chimique dans le cas de l'ozone).

Tableau 7: Critères d'installation des stations fixes selon guide ADEME

Classification des Stations		Objectifs
Stations De fond de	Station urbaine	Suivi de l'exposition moyenne de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de "fond" dans les centres urbains.
	Station périurbaine	Suivi de la pollution photochimique notamment l'ozone et ses précurseurs et éventuellement les polluants primaires et suivi du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de "fond" à la périphérie du centre urbain.
	Station rurale régionale	Surveillance de l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de "fond" notamment photochimique à l'échelle régionale. Elles participent à la surveillance de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire et notamment dans les zones rurales.
	Station rurale nationale	Surveillance dans les zones rurales de la pollution atmosphérique dite de "fond" issue des transports de masses d'air à longue distance, notamment transfrontaliers.
Stations de proximité	Industrielle	Fournir des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximum auquel la population riveraine d'une source fixe est susceptible d'être exposée, par des phénomènes de panache ou d'accumulation.
	Trafic	Fournir des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population située en proximité d'une infrastructure routière est susceptible d'être exposée
Autre	Station d'observation spécifique	Besoins spécifiques tels que l'aide à la modélisation ou la prévision, le suivi des émetteurs autres que l'industrie ou la circulation automobile (pollution de l'air d'origine agricole...), le maintien d'une station "historique" etc...

Source : « Rapport critère d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air » (AZAD environnement), p.5

Chapitre IV : Elaboration du bulletin mensuel de la qualité de l'air de la ville de Marrakech

Afin de dresser un bilan susceptible de nous renseigner sur la qualité de l'air à proximité des stations de surveillance de la ville de Marrakech, nous allons présenter dans ce quatrième chapitre un suivi des concentrations des polluants gazeux que nous avons pu établir durant la période de stage que nous avons effectué. Dans cette optique nous décomposons ce chapitre en quatre points essentiels. Dans un premier temps nous allons présenter les instruments de mesure. Ensuite nous présenterons le flux des informations traitées à la DRE. Les derniers points abordés dans ce chapitre seront consacrés à la réalisation du bulletin mensuel de la qualité de l'air du mois de mai ainsi que l'interprétation des résultats obtenus.

1) Les Instruments de mesure :

Les stations de surveillance de la qualité d'air sont équipées des instruments de mesure suivants :

- Analyseur CO12e (CO)
- Analyseur AF22e (SO₂)
- Analyseur O342e (O₃)
- Analyseur AC32e (NO₂)
- Analyseurs automatiques et préleveurs des poussières : PM₁₀.
- Logiciels d'acquisition et de traitement des données (eSAM)
- Systèmes fixes et portables de calibration
- Micro capteurs de mesure de gaz

Alors que les appareils susmentionnés permettent de collecter les données par rapport à la concentration des polluants de l'air, les logiciels utilisés ont pour utilité de traiter ces données.

2) Le Flux de l'information :

Les concentrations de tous les polluants mesurés en continu par les stations sont transmises par ligne téléphonique au poste central à Rabat (LNSQA), et transférées par la suite aux partenaires de la DMN qui conçoivent des plans d'action stratégiques pour la réduction des émissions polluantes, comme les rapports nationaux et régionaux d'évaluation de la qualité de l'air.

Par ailleurs, dans le but de rendre disponible le maximum d'information possible, toutes les données horaires des stations connectées au poste central de Rabat sont conservées dans une banque informatique au siège du MATEE (le Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement). Ces données archivées quotidiennement par la DMN sont comparées aux seuils et aux normes relatives à la qualité de l'air en vigueur au Maroc et servent par la suite, à préparer les produits de la qualité de l'air comme les bulletins, les rapports, les études scientifiques sur la qualité de l'air et sa prévision.

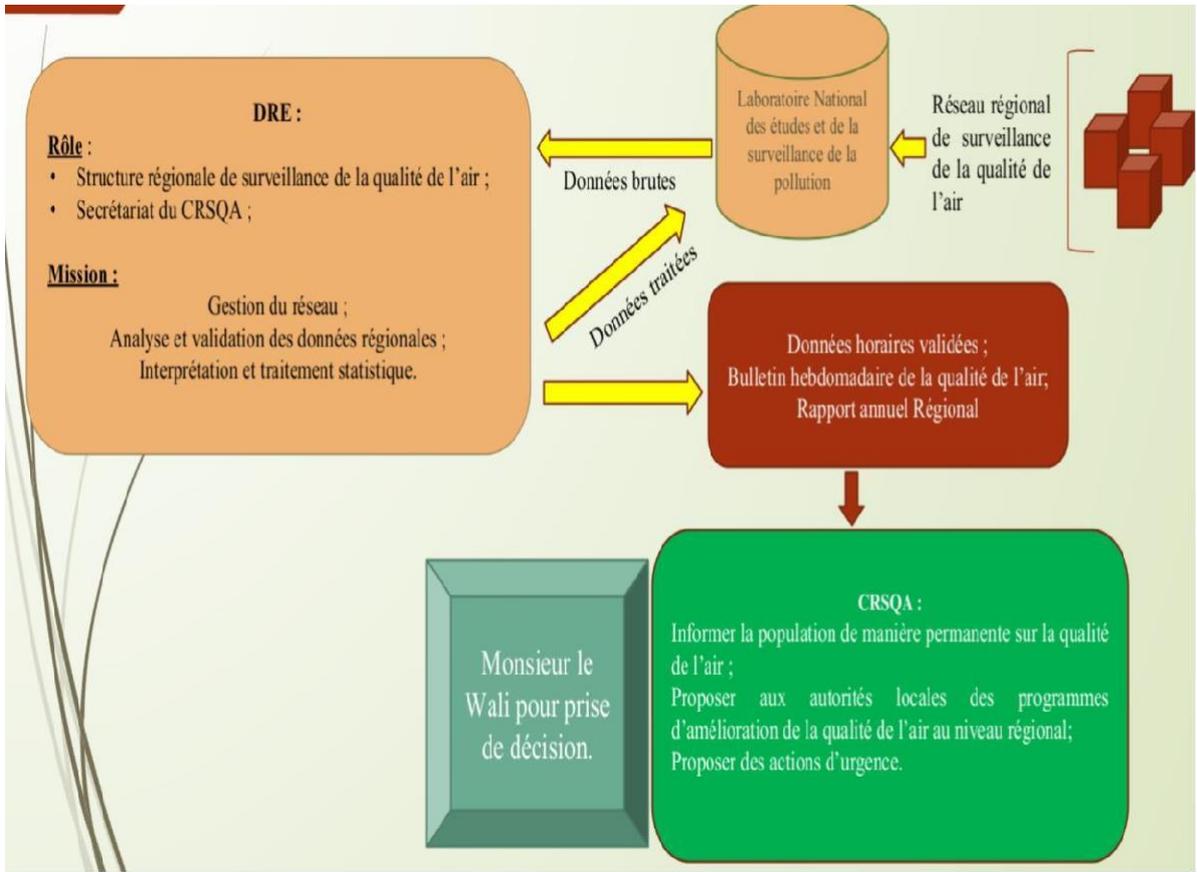


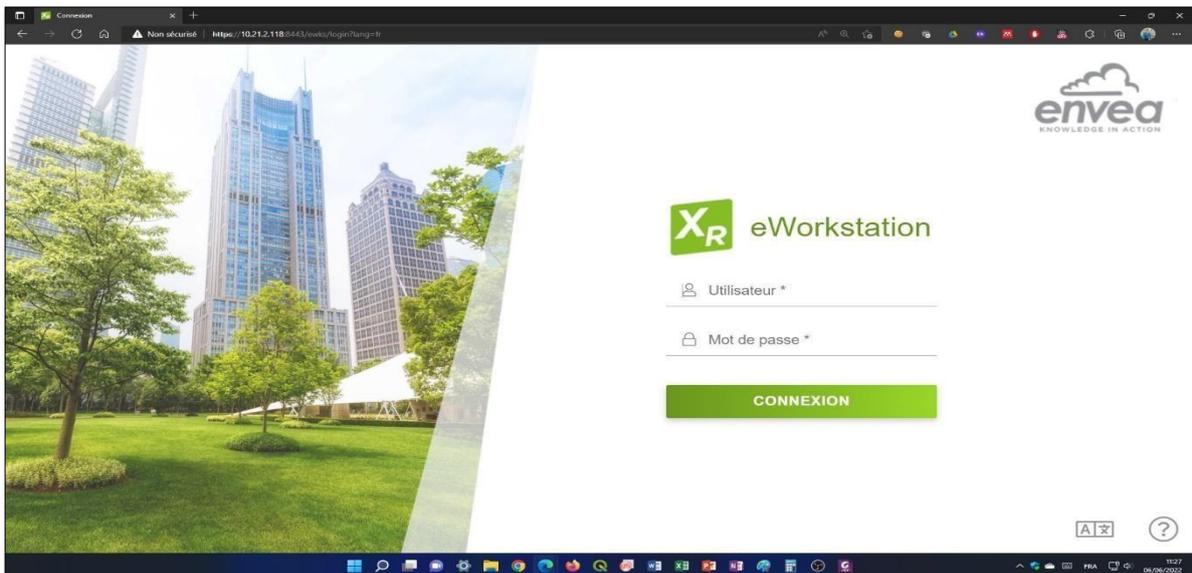
Figure 15: Schéma représentatif du flux de l'information. Source : Le renforcement du RSQA au niveau de la région Marrakech-Safi (DRE) :2021, P16

3) L'application XR eWorkstation :

3.1) Présentation de l'application :

XR e-Workstation est une interface web dite API (Application Programming Interface) qui sert à l'export des données et des informations collectées par les stations de surveillance et stockées en base. La connexion à cette Interface n'est autorisée qu'aux partenaires qui veillent sur le suivi de la qualité de l'air.

Figure 16: écran d'accueil de l'application XR e-Workstation



3.2) Présentation de l'interface Web :



Figure 17: les domaines de XR eWorkstation

L'application XR e Workstation est scindée en 4 domaines distincts :

- ❖ **Tableau de bord** : ce domaine permet d'accéder rapidement à des informations et des états relatifs aux sites de surveillances ainsi qu'aux polluants.
- ❖ **Gestion des données** : il sera possible ici de consulter les données de sites de surveillance (mesures, rose des vents...) et d'effectuer certaines opérations sur celles-ci comme la validation.
- ❖ **Configuration** : comme son nom l'indique, cette partie va permettre de réaliser toutes les configurations liées au logiciel et aux sites de surveillances.
- ❖ **Administration** : ce dernier domaine permet aux utilisateurs ayant les droits d'administration de gérer toutes sortes de configurations liées au système.

3.3) Gestion des données :

Pour réaliser un bulletin de la qualité de l'air, on va s'intéresser surtout au domaine de la gestion des données qui comporte :

tableau 8: les composantes de la gestion des données

 Consultation	Permet de consulter les données de toutes les mesures des sites de surveillance
 Rose des vents	Permet d'afficher la rose des vents d'un site de surveillance
 IQA	Accès à l'écran de validation (semblable à la consultation), pour la validation technique et environnementale
 Validation	Permet de consulter les mesures en fonction de l'indice de qualité de l'air que l'on souhaite
 Rapports	Générer des rapports, sélectionner le mode de calcul des Concentrations d'O3 et CO

Durant notre stage, nous avons réalisé un bulletin de la qualité de l'air en nous référant aux rubriques mentionnées dans le tableau précédent. Seule l'étape de la validation n'a pas été traitée parce qu'elle

n'est effectuée qu'en collaboration entre le LNSP et le service de gestion de l'environnement de la DRE. Dans ce cadre, nous sommes basées sur l'interface Web XR eWorkstation pour collecter les données nécessaires à la réalisation du bulletin mensuel notamment :

a) La rose des vents :

L'exploitation des résultats doit tenir compte des conditions météorologiques qui ont une influence importante sur les concentrations des polluants dans l'air. Ainsi, il est particulièrement utile de tracer une rose des vents. Cette dernière permet de visualiser la distribution de la vitesse et la direction du vent. Dans notre cas et d'après la rose des vents représentée sur la figure X : 41.75% des vents du mois de Mai à Marrakech (station CR) provient de la direction NE.

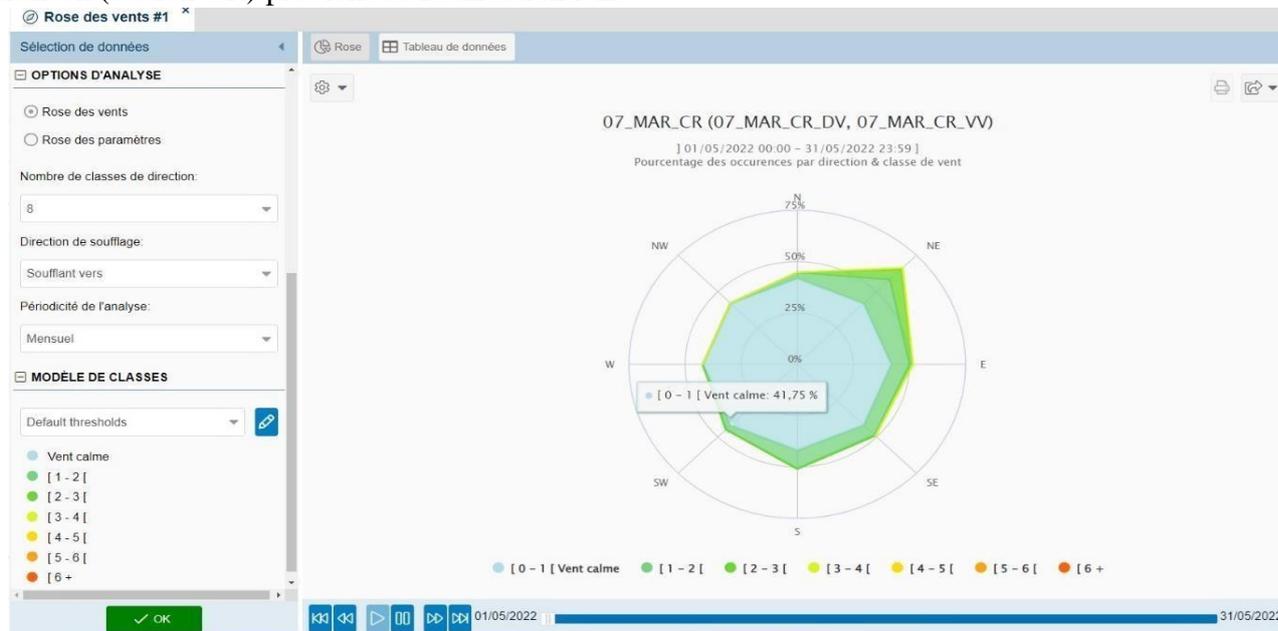


Figure 18: Rose des vents pour la station Marrakech centre Régional durant le mois de mai 2022

b) Consultation :

La vue « consultation » permet de visualiser toutes les données acquises de tous les sites de surveillance.

The screenshot shows the 'Consultation' interface with a table of measurement data. The table has the following columns: Libellé, Identifiant, Type de base, Dernière donn, Validation technique, Validation environne..., and a delete icon. The data is filtered to show measurements for the period 01/05/2022 to 31/05/2022.

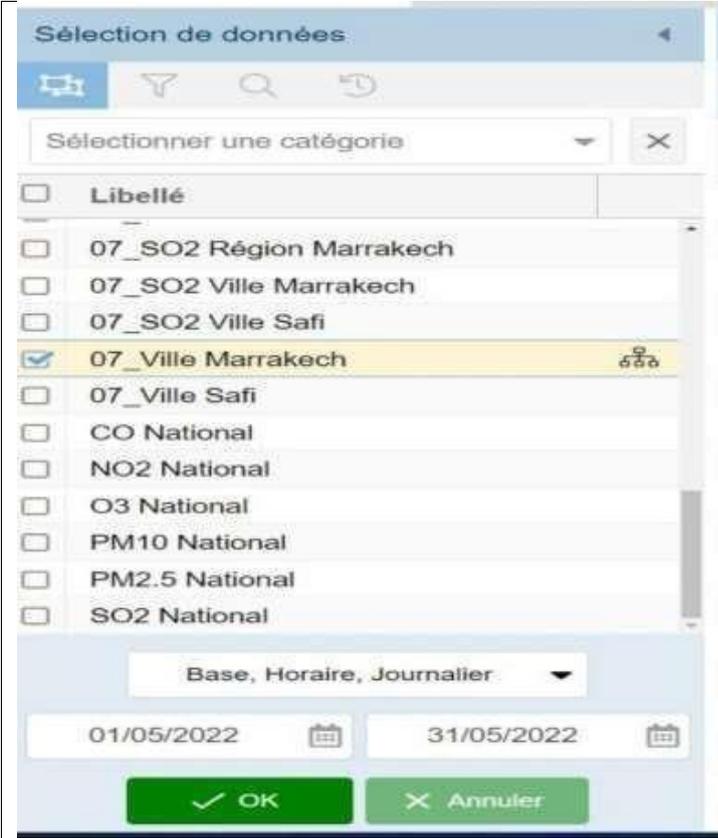
Libellé	Identifiant	Type de base	Dernière donn	Validation technique	Validation environne...	
CO Marr CR	07_MAR_CR_CO	Quart-horaire	06/06/2022...	01/06/2022 ...	01/06/2022 ...	×
CO Marr CSportif	07_MAR_CSP_CO	Quart-horaire	06/06/2022...	01/06/2022 ...	01/06/2022 ...	×
CO Marr Ennour	07_MAR_ENN_CO	Quart-horaire	06/06/2022...	01/06/2022 ...	01/06/2022 ...	×
CO Marr LAouda	07_MAR_ODA_CO	Quart-horaire	06/06/2022...	01/06/2022 ...	01/06/2022 ...	×
CO2 Marr CR	07_MAR_CR_CO2	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
CO2 Marr CSportif	07_MAR_CSP_CO2	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
CO2 Marr Ennour	07_MAR_ENN_CO2	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
CO2 Marr LAouda	07_MAR_ODA_CO2	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
Dir. Vent Marr CR	07_MAR_CR_DV	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
Dir. Vent Marr CSpor	07_MAR_CSP_DV	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
Dir. Vent Marr Ennou	07_MAR_ENN_DV	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
Dir. Vent Marr LAoud	07_MAR_ODA_DV	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
Humidite Marr CR	07_MAR_CR_HR	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
Humidite Marr CSport	07_MAR_CSP_HR	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
Humidite Marr Ennou	07_MAR_ENN_HR	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
Humidite Marr LAouda	07_MAR_ODA_HR	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
NO Marr CR	07_MAR_CR_NO	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×
NO Marr CSportif	07_MAR_CSP_NO	Quart-horaire	06/06/2022...	05/11/2020 ...	05/11/2020 ...	×

Figure 19: Consultation des données sur interface Web XR e workstation

c) La sélection des données :

Il faut en premier lieu sélectionner les données que l'on souhaite consulter. Il s'agit du premier écran affiché sur la vue de consultation, suivant les étapes présentées dans la figure ci-après :

Tableau 9: Sélection des données sur XR eWorkstation



- Sélectionner le paramètre et le site de mesure
- Choisir le mode mesure en cliquant sur la barre de la base et sélectionner (journalier, heure,...)
- Définir la date de mesure
- Cliquer sur OK

d) Visualiser les données :

La consultation des données se décompose en trois parties :

- La partie de gauche donne la liste des mesures actuellement chargées en consultation
- La partie centrale comporte les courbes et les tableaux permettant de visualiser les données
- La partie de droite affiche quant à elle certains détails complémentaires (aperçu des scans, évènements, liste des codes qualités...)

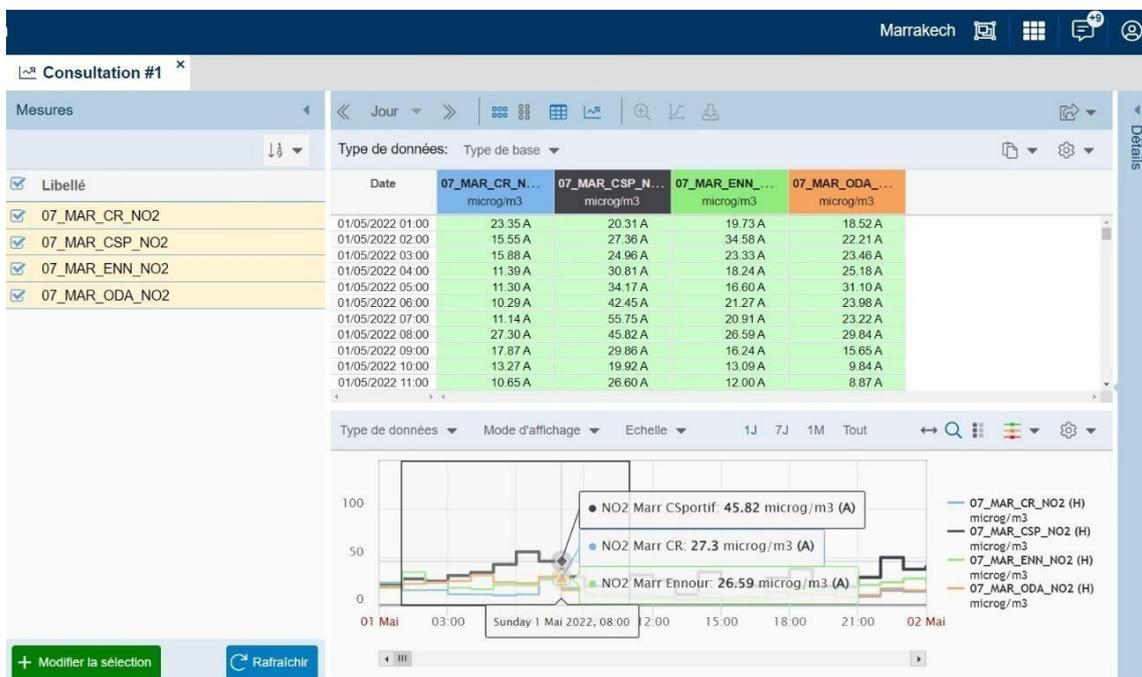


Figure 20: Ecran de visualisation des données sur XR eWorkstation

L'exportation des données s'effectue à partir de la barre d'outils qui comporte :

Tableau 10: Les différentes fonctionnalités sur la barre d'outils

Basculer l'affichage horizontal ou vertical du tableau et du graphe	
Afficher ou masquer la grille de consultation	
Afficher ou masquer le graphe de consultation	
Accéder à la visualisation détaillée des données des scans	
Accéder à la visualisation du profil de calibrage	
Charger de nouvelles données dans la sélection en cours grâce à la navigation dans le temps. Pour cela il faut sélectionner le pas de temps (par défaut jour) et cliquer sur le bouton suivant (naviguer dans le futur) ou précédent (naviguer dans le passé)	

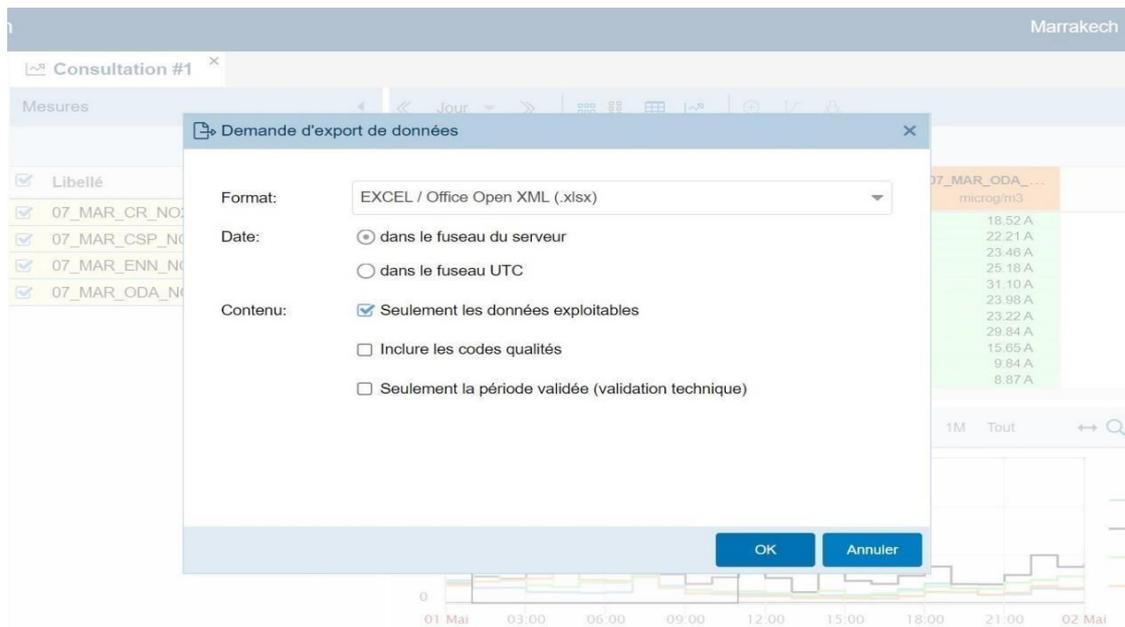
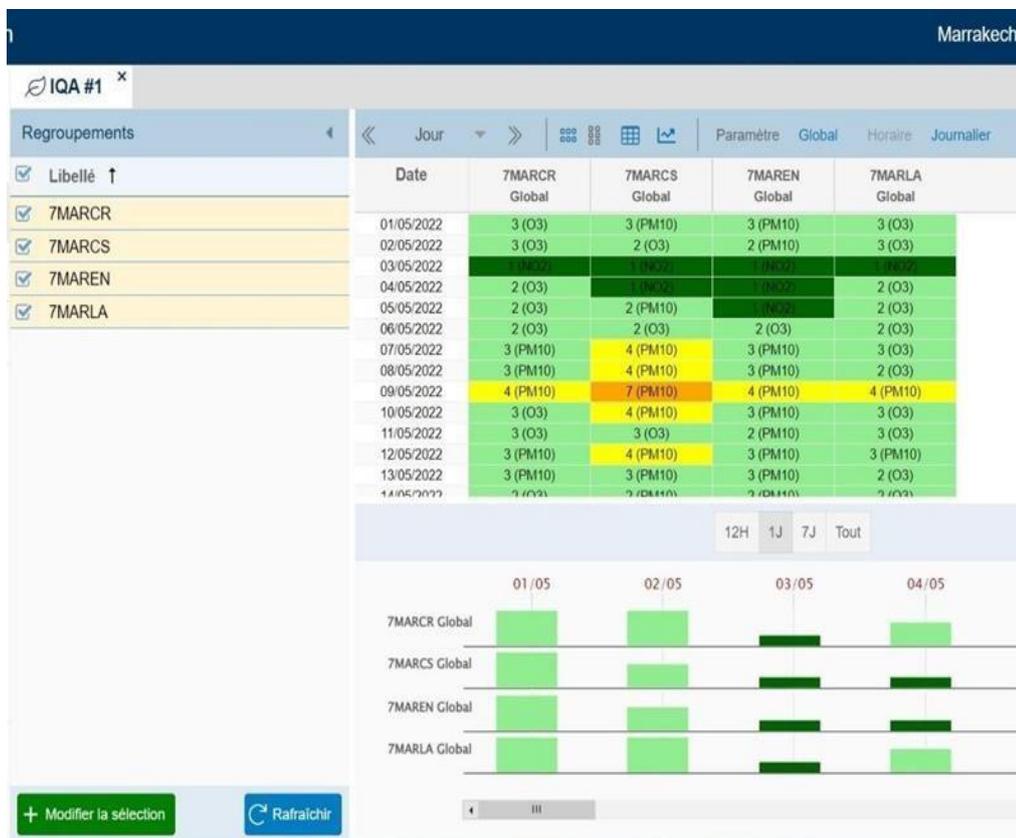


Figure 21: Ecran d'exportation des données sur XR eWorkstation

e) IQA :

La rubrique IQA donne la possibilité de visualiser l'Indice Qualité de l'Air (renseigné dans la partie Configuration) en choisissant toujours le site et la date.



f) Rapports :

Pour la génération des rapports, au départ on sélectionne le type du rapport après le mode de mesure, et enfin la nature du polluant et la date.

Génération Marrakech

Modèles Rapports rapides

MODÈLE DE RAPPORT

Type: Rapport d'indicateurs Rapport prédéfini

Liste des rapports: 02-Rap_Moy_8H_glissante

SÉLECTION DE MESURES

Type: Groupe de mesures Mesures

Liste des groupes de mesures: 07_CO ville Marrakech

PARAMÈTRES

Période:

Début: 01/05/2022 00:00

Fin: 31/05/2022 23:59

Commentaire:

Générer le rapport

Figure 23: Ecran de génération des rapports sur XR eWorkstation.

4) Bulletin mensuel de la qualité de l'air ville de Marrakech :

La réalisation d'un bulletin de la qualité de l'air consiste à exporter les données mesurées dans l'Excel pour établir les différentes courbes de variation de polluants ainsi que le tableau de mesure de l'indice de la qualité de l'air. Les polluants suivis sont : Particules en suspension (PM10) Ozone (O₃) SO₂ NO₂ CO.

Localisation des stations de surveillance de la qualité de l'air :

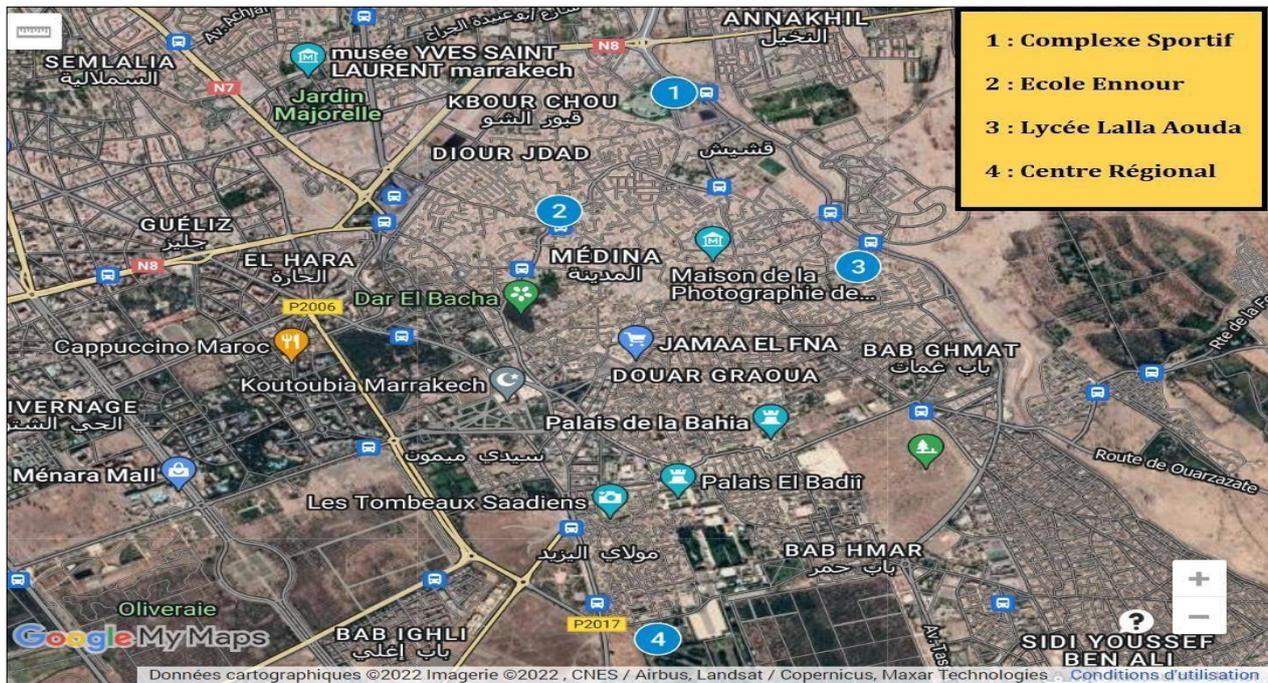


Figure 24: carte de localisation des stations de surveillance sur la ville de Marrakech

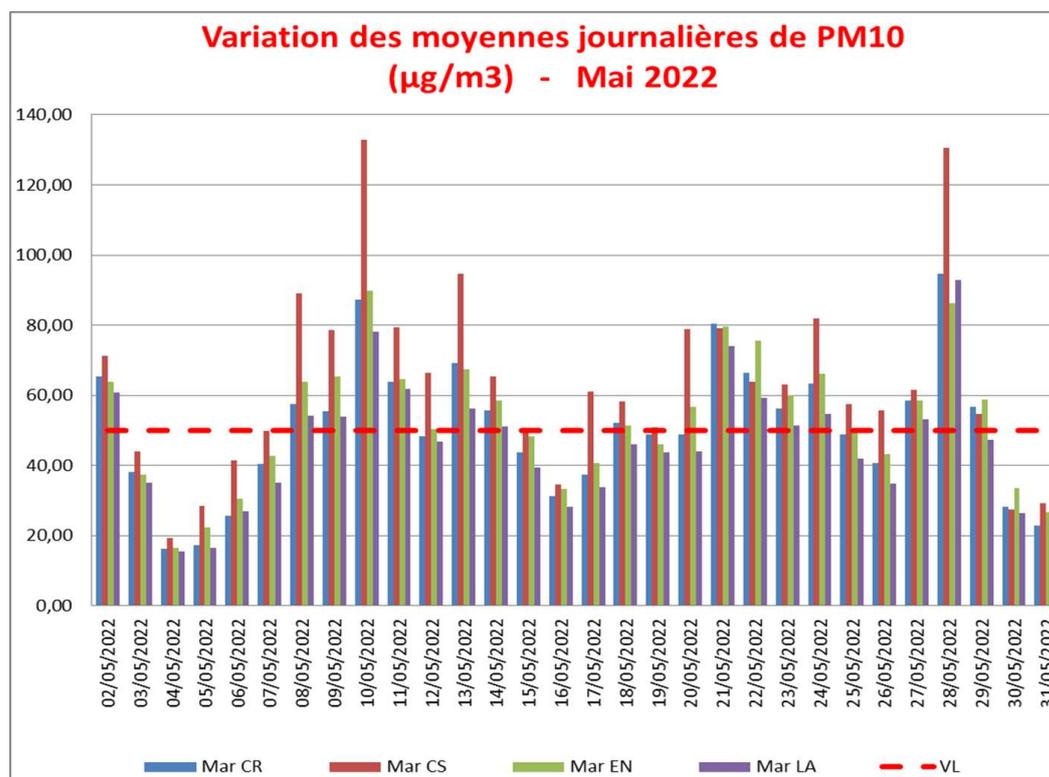
L'indice de qualité de l'air de la ville de Marrakech :

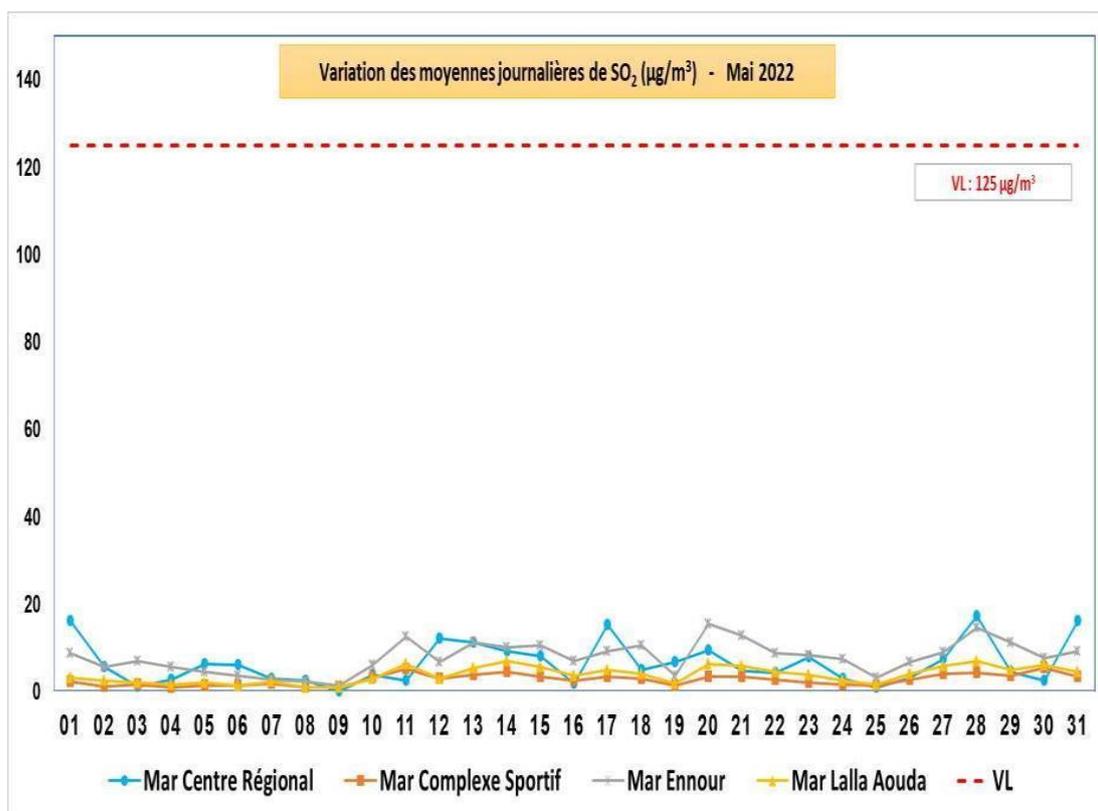
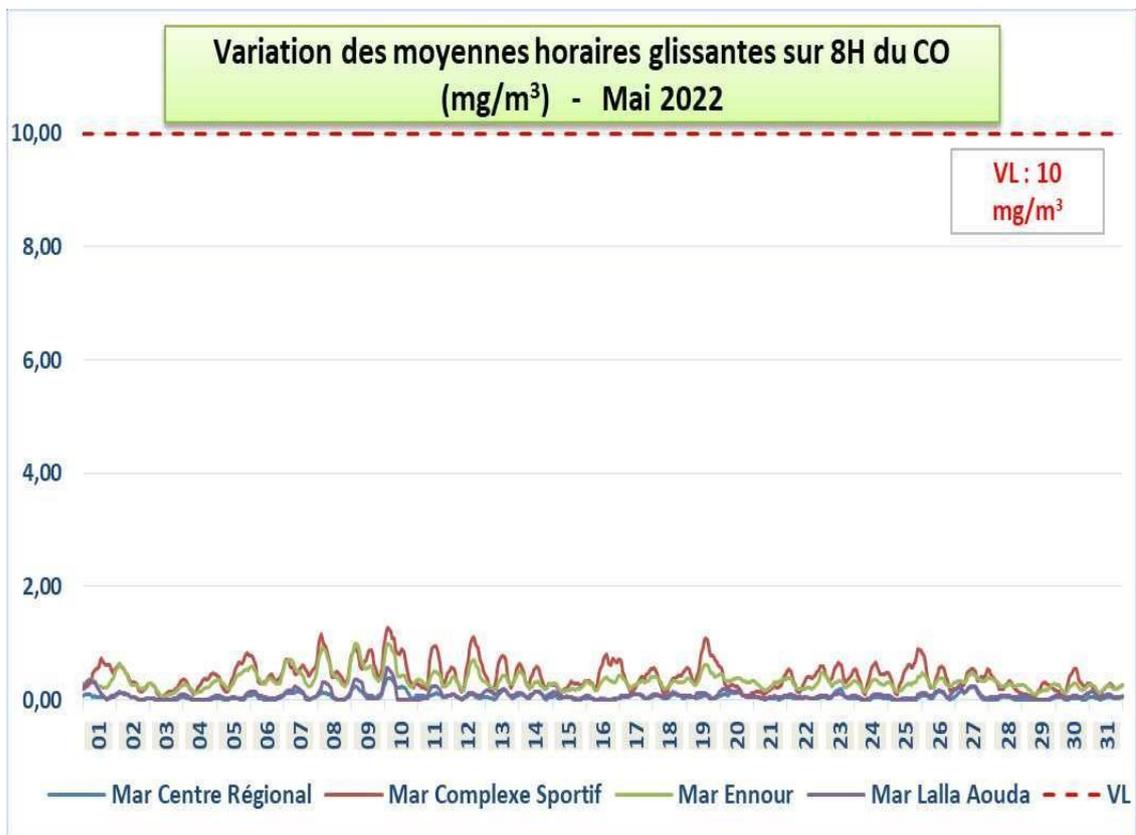
IQA permet d'avoir une idée holistique quotidienne sur la qualité de l'air au niveau d'une station donnée.

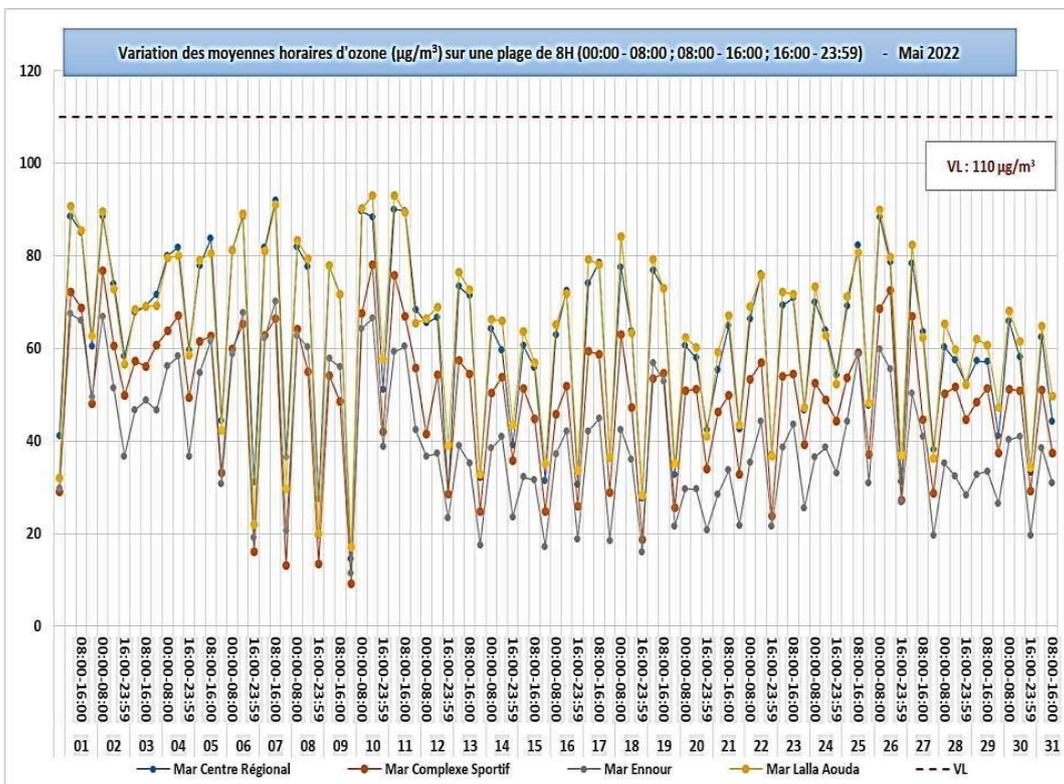
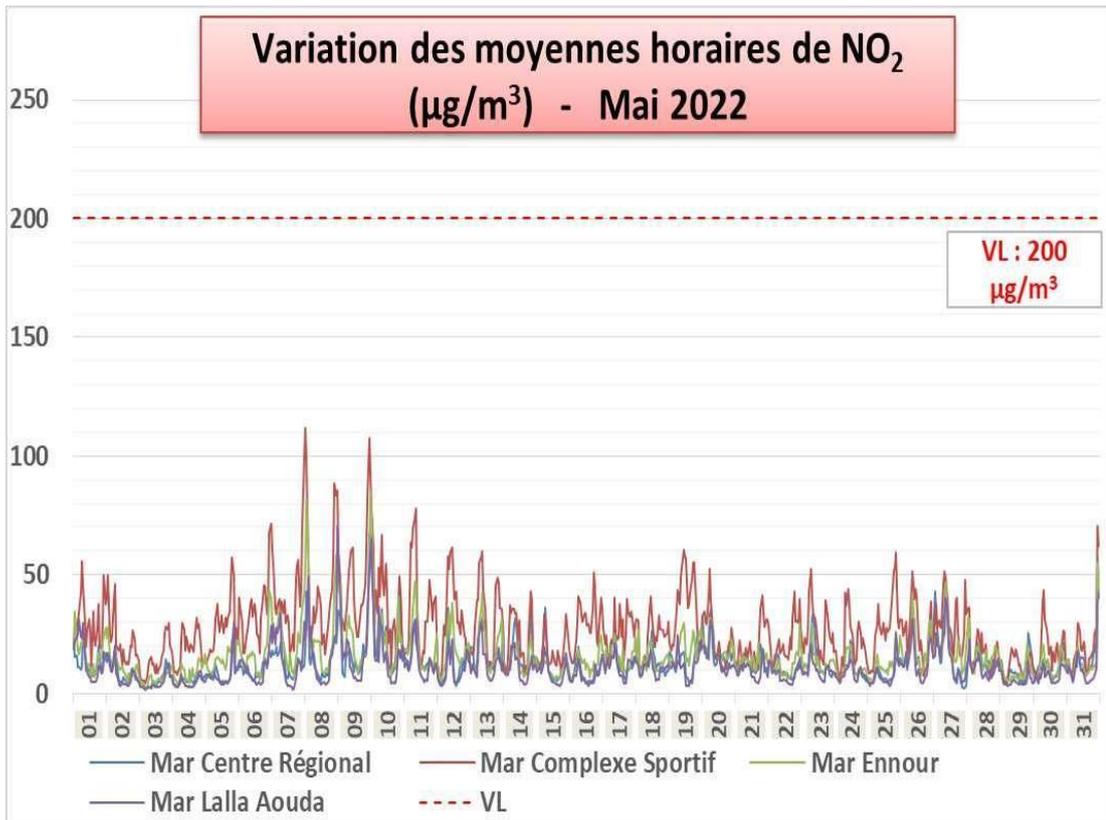
Tableau 11: indice de la qualité d'air dans la ville de Marrakech (Mai 2022)

Date	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
CR	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
CS	1	1	1	1	1	1	2	3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	3	1	1	1	1	1
EN	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
LA	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Très bonne	Bonne	Bonne	Moyenne	Moyenne	Médiocre	Médiocre	Mauvaise	Mauvaise	Très mauvaise







Analyses et interprétation des résultats

IQA

Les indices de la qualité de l'air enregistrés durant le mois de mai désignent globalement une très bonne à bonne qualité

Certes, une exception se révolte pour la station du complexe sportif avec un indice de qualité d'air bon à moyen tout au long du mois, et médiocre pour la journée du 9 et la journée du 27

Variation des polluants atmosphériques surveillés

Parmi les cinq paramètres suivis, les seules valeurs qui ont dépassés la valeur limite sont celles du PM10 (VL = 50µg/m³), par ailleurs, la station Marrakech centre sportif révèle des concentrations très importantes au cours de ce mois

Les concentrations en O₃ et NO₂ sont en général moyennes et ne dépassent pas les VL

Les concentrations en SO₂ et CO sont plus faibles pour toutes les stations.

Hypothèse :

Les résultats obtenus des séries de mesure de l'IQA au niveau des stations surtout celle du complexe sportif, reflètent une qualité médiocre pour des journées du 09 et 27 mai, cela est dû principalement par le type de la station "trafic".

Il faut noter que les mesures sous influence industrielles ou trafic ne sont pas généralement représentatives des niveaux de la pollution sur une large zone géographique mais sur une zone restreinte autour du point de mesure

En effet le mois de mai s'est coïncidait avec l'organisation de nombreux événements internationaux comme celui de la BERD, ou le sommet contre DAECH,... Ainsi que la ville a retrouvé son activité touristique après quelques mois de la réouverture des frontières.

Conclusion :

Les résultats obtenus dans le bulletin mensuel ne sont pas suffisants pour nous renseigner sur la qualité de l'air dans la ville de Marrakech, étant donné que le réseau de surveillance n'est pas étendu sur toute la ville, l'amélioration de ce dernier est en cours de développement.

Conclusion générale

L'air est l'un des éléments fondamentaux qui rendent notre planète unique. Il demeure essentiel et indispensable pour tous les êtres vivants.

La modernisation, l'accroissement démographique et l'extension des villes accompagnées du développement socioéconomiques ont demandé une consommation soutenue des ressources énergétiques, une accélération du tissu industriel et une intensification des moyens de transport conduisant la planète vers une pollution qui touche toutes les ressources.

Dans ce contexte, la dégradation de la qualité d'air constitue l'un des principaux enjeux environnementaux, sanitaires et économiques de notre temps. Elle touche principalement les agglomérations qui connaissent un trafic routier intense et une importante implantation industrielle et énergétique. Cette situation contribue à la pollution de l'air à travers l'émission des polluants et des GES au niveau de l'atmosphère par les différents secteurs d'activité.

Cependant le rejet excessif de ces GES et polluants, notamment l'ozone qui est responsable à 90% d'effet de serre aboutissent au réchauffement climatique de la planète terre et accentue les catastrophes naturelles (les sécheresses, les incendies de forêts et les inondations),...Au-delà de son impact environnemental, la pollution de l'air présente l'un des risques primordiaux pour la santé dans le monde.

C'est ainsi que nous avons décidé de nous pencher sur la question de la pollution de l'air dans la ville de Marrakech. La ville ocre fait partie des grandes villes du Royaume et est considérée comme une destination touristique par excellence. Or depuis quelques années, des investissements importants dans le secteur industriel ont été enregistrés. Le parc automobile dans la ville ocre a également augmenté d'une façon considérable. Tous ces constats expliquent la détérioration de la qualité de l'air constatée depuis quelques années à Marrakech.

Ce rapport est dédié à l'évaluation de la qualité de l'air dans la ville rouge durant le mois de mai. Il a été élaboré à partir des données collectées des 4 stations réparties au sein de la ville, ces données ont été traitées par le logiciel XR Workstation, l'application XR e-Workstation et Excel pour tracer des courbes des variations des concentrations des différents polluants qui nous ont servi pour avoir une idée générale sur la qualité de l'air à proximité des stations .

A partir des résultats obtenus, on a constaté que les concentrations en PM10 (générés principalement par la circulation automobile) ont dépassé les valeurs limites pendant les journées du 09 et 27 mai. Durant la même période la station CS a enregistré un indice de qualité de l'air médiocre. Ce qui peut être expliqué par le type de la station "trafic" qui mesure des concentrations dans les zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population située en proximité d'une infrastructure routière.

Pour conclure nous proposons ci-après des mesures prises ou à entreprendre pour limiter l'impact

négalif de la pollution de l'air dans cette ville en pleine extension :

- Mener des actions de sensibilisation sur la qualité de l'air dans la ville en mettant l'accent sur la relation entre la pollution de l'air et les maladies respiratoires.
- Elaboration des schémas de circulation dans la ville de Marrakech.
- L'introduction du transport écologique (véhicules à hydrogène et véhicules électriques) et des transports publics plus propres (Tramway, métro) .le remplacement des bus diesel par des bus électriques.
- Inciter les industries polluantes à entreprendre des actions de dépollution en faisant intervenir le FODEP (fonds de dépollution industrielle) afin de réduire les émissions liquides, solides et gazeuses.
- Accélération de la délocalisation de la gare routière (limiter la mobilité dans la ville)
- Plantation des arbres pour améliorer la qualité de l'air (les feuilles des arbres captent les particules fines et empêchent ainsi la propagation des polluants).
- Activation de la police de l'environnement et l'application des lois relatives sur la pollution atmosphérique.

Annexes :

➤ La réglementation de la qualité de l'air au Maroc :

- Loi-cadre 99-12 : portant la charte nationale de l'environnement et du développement durable notamment le principe de prévention.
- Loi 11-03 : relative à la protection et la mise en valeur de l'environnement.
- Loi 13-03 : relative à la lutte contre la pollution de l'air.
- Le décret n°2-09-631 du 6 juillet 2010 fixant les valeurs limites de dégagement d'émissions ou de rejets de polluants dans l'air émanant de sources de pollution fixes et les modalités de leur contrôle représenté dans le tableau suivant :

Polluants	Nature de la valeur	Concentration de référence
Dioxyde de Soufre (SO ₂)	Valeur limite de protection de la santé humaine	125 µg/m ³ pour le percentile et 99,2 µg/m ³ des valeurs journalières
	Valeur limite de protection de la végétation	30 µg/m ³ *n moyenne annuelle
Dioxyde d'azote (NO ₂)	Valeur limite de protection de la santé humaine	200 µg/m ³ pour le percentile
	Valeur limite de protection de la végétation	50 µg/m ³ *n moyenne annuelle
Ozone (O ₃)	Valeur limite de protection de la santé humaine	110 µg/m ³ en moyenne sur 8 heures
	Valeur limite de protection de la végétation	65 µg/m ³ en moyenne journalière ne devant pas être dépassée plus de 3 jours consécutifs
Monoxyde de carbone (CO)	Valeur limite de protection de la santé humaine	10 mg/m ³ en moyenne maximale journalière sur 8 heures glissants
PMS (< 10)	Valeur limite de protection de la santé humaine	50 µg/m ³ en percentile 90,4 µg/m ³ des moyens journalières
Plomb	Valeur limite de protection de la santé humaine	1 µg/m ³ en moyenne annuelle
Benzène	Valeur limite de protection de la santé humaine	10 µg/m ³ en moyenne annuelle

Tableau 12: Principaux polluants et leurs effets sur la santé et l'environnement

<p>Dioxyde de soufre (SO₂) Origine : Il provient de la combustion de combustibles fossiles contenant du soufre Pollution générée : En présence d'humidité, il forme de l'acide sulfurique qui contribue au phénomène des pluies acides et à la dégradation des bâtiments Effets sur la santé : Gaz irritant. Le mélange acido-particulaire peut déclencher des effets bronchospastiques chez l'asthmatique, augmenter les symptômes respiratoires aigus chez l'adulte et altérer la fonction respiratoire chez l'enfant. Les particules en suspension Origine : D'origine naturelle ou anthropique, elles constituent un complexe de substances organiques ou minérales fines (fumées des moteurs diesel ou vapeurs industrielles) et grosses (chaussées, effluents industriels). Pollution générée : Elles peuvent transporter des composés toxiques dans les voies respiratoires et potentialisent ainsi les effets des polluants acides notamment le SO₂ et l'acide sulfurique. Effets sur la santé : Elles peuvent irriter les voies respiratoires ou altérer leur fonction. Certaines ont des propriétés mutagènes et cancérogènes. Les oxydes d'azote (NOx) Origine : Proviennent des véhicules (75%) et des installations de combustion. Pollution générée : Interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère et contribuent au phénomène des pluies acides. Effets sur la santé : Le NO₂ pénètre dans les fines ramifications des voies respiratoires. Dès 200µg/m³, il entraîne une altération de la fonction respiratoire et une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et augmente la sensibilité des bronches aux infections microbiennes chez les enfants. Le plomb (Pb) Origine : Il est émis par les véhicules et les procédés industriels. Effets sur la santé : Il s'agit d'un toxique neurologique, hématologique et rénal qui peut entraîner chez les enfants des troubles du développement cérébral avec perturbations psychologiques et des difficultés d'apprentissage scolaire.</p>	<p>Les composés organiques volatiles (COV) Origine : Il peut s'agir d'hydrocarbures, de composés organiques (émis par la combustion incomplète des combustibles, les procédés industriels, l'agriculture, le milieu naturel) ou de solvants. Pollution générée : Interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère Effets sur la santé : Ses effets sont divers selon les polluants et vont de la simple gêne olfactive à une irritation, diminution de la capacité respiratoire jusqu'à des risques d'effets mutagènes et cancérogènes. L'ozone (O₃) Origine : Il résulte de la transformation photochimique de certains polluants dans l'atmosphère (NOx et COV) en présence de rayonnement ultraviolet solaire. Les pointes de pollution sont plus fréquentes en zones urbaines et périurbaines. Pollution générée : L'O₃ contribue à la pollution "photo-oxydante", aux pluies acides et à l'effet de serre. Effets sur la santé : Gaz agressif, il pénètre les voies respiratoires les plus fines. Dès une exposition prolongée de 150 à 200µg/m³, il provoque des irritations oculaires, de la toux et une altération pulmonaire surtout chez les enfants et les asthmatiques; les effets sont aggravés par l'exercice physique et varient selon les individus. Le monoxyde de carbone (CO) Origine : Proviennent de la combustion incomplète des combustibles et carburants. Son taux augmente quand le moteur tourne dans un espace clos, quand il y a concentration de véhicules roulant au ralenti dans un espace couvert ou en cas de mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage. Effets sur la santé : Il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang conduisant à un manque d'oxygénation du système nerveux, du cœur et des vaisseaux sanguins. A des doses importantes et répétées, il peut être à l'origine d'intoxication chronique (céphalées, vertiges, asthénie, vomissements). En cas d'exposition prolongée, il peut être mortel ou laisser des séquelles neuropsychiques irréversibles.</p>
---	---

Source : Ministère de l'Environnement français, "La qualité de l'air c'est la qualité de la vie", septembre 1994.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE :

AZARIZ Driss, 2019, Rapport du programme national de l'air, p.13-21

Christophe L, et al(2017) : Pollution atmosphérique : Données épidémiologiques Université Paris VII- Denis Diderot, p.12-69

Lucas B, (2021) Guide micro-capteurs pour la mise en place et l'exploitation de campagnes de mesure de la qualité de l'air par micro-capteurs, p. 48

Ministère de l'énergie, des mines, et de l'environnement, 2020, Programme national de surveillance de la qualité de l'air, p.74-108

Rapport du schéma régional de préservation de l'environnement et de lutte contre les changements climatiques dans la région Marrakech-Safi (DRE) :2019, p.37-483

Rachid Firadi, 2019, Programme National de l'Air 2018 2030, p.31

Royaume du Maroc, Critère d'implantation des stations fixes de surveillance de la qualité de l'air, p.3-5

WEBOGRAPHIE :

<https://siredd.environnement.gov.ma/Marrakech-Safi/Home/observatoire>:consulté le 25 avril 2022.

<https://www.environnement.gov.ma/fr/air> (Consulté le 25 avril 2022).

Yonne L,(2022) :Pollution de l'air et conséquences sur la santé (consulté le 11 mai 2022).

Site de l'OMS consulté : [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)).

(https://www.atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Lab%20Aireka/DIY-lycees-2020_guide.pdf)

(<https://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/la-pollution-de-l-air-c-est-quoi-a11001.html>)

([File:///C:/Users/surf/Downloads/pollution%20atmosph%C3%A9rique%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](File:///C:/Users/surf/Downloads/pollution%20atmosph%C3%A9rique%20(%20PDFDrive%20).pdf))

(<https://www.asthme-allergies.info/pollution-atmospherique-quels-impacts-sur-notre-sante/>)

(<https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/air-exterieur/qualite-de-l-air-exterieur-10984/article/qualite-de-l-air-sources-de-pollution-et-effets-sur-la-sante>)

<https://www.who.int/fr/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>

<https://www.challenge.ma/pollution-de-lair-10-milliards-de-dh-par-an-le-cout-de-linaction-124338/#:~:text=Ces%20derni%C3%A8res%20ann%C3%A9es%2C%20la%20pollution,de%2010%20milliards%20de%20DH.>

(https://www.lexpress.fr/actualite/societe/sante/pic-de-pollution_1500207.html)

(<http://www.sdaumarrakech.ma/wp/espaces-verts/>)