

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université D'Oran 2**

**FACULTE DES SCIENCES DE TERRE ET GEOGRAPHIE ET AMENAGEMENT DU  
TERRITOIRE**

**Département : géographie et aménagement du territoire**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master

**Spécialité : Hydrologie, Climatologie et Territoires**

**Thème :**

**La pollution atmosphérique liée à l'exploitation de carrière dans le  
Nord-Ouest de l'Algérie**

Réalisé par : **ANIBA Ameur**

Soutenu le : 02/12/2020, devant la commission d'examen :

M. ALLAL Nadir Ouassini	M.A.A	Université d'Oran	Présidente
Mme. GOURINE Farida	M.A.A	Université d'Oran	Encadreur
Mme. SENHADJI Hafida	M.A.A	Université d'Oran	Examinatrice

**2019/2020**

# Remerciement

Je remercie Dieu le tout puissant qui, grâce à son aide j'ai pu finir ce modeste travail.

Je tiens à remercier Mme. Gourine Farida, mon encadreur, pour sa bienveillance, son soutien, ses excellents conseils et surtout sa patience.

Je tiens également à exprimer ma sincère reconnaissance À:

- Mr. ALLAL NADIR Ouassini maitre assistant à l'université d'Oran2, d'avoir accepté de présider ce jury malgré ses multiples taches.
- Mme. SENHADJI Hafida maitre assistant à l'université d'Oran2, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin, je n'oublierais jamais de remercier tous ceux et celles qui m'ont aidé à préparer ce mémoire par leurs disponibilité et aide précieuse.

# dédicace

**A ma très chère patrie**

*L'ALGERIE*

**A ma chère et tendre mère**

*A celle qui a tout souffert, sans me faire souffrir, qu'elle trouve dans ce mémoire le témoignage de ma reconnaissance et de mon affection pour tout les sacrifices, l'extrême amour et la bonté qu'elle m'a offert pour me voir réussir.*

**A mon cher père**

*A celui qui j'offre ma réussite, mon bonheur, et tout le respect.  
Qu'il trouve ici l'expression de mon affection et une récompense des sacrifices consentis pour moi.*

**A ma femme et mes enfants**

*Au témoignage de mon profond amour et respect, auxquels je souhaite le succès et le bonheur.*

*Que dieu nous protège et nous préserve le bonheur et la santé.*

**A mon frère et mes sœurs**

**A mes amis**

**A TOI NAWEL**

# Liste des tableaux

<b>TABLEAU</b>	<b>TITRE</b>	<b>PAGE</b>
1	Composition de l'atmosphère	<b>07</b>
2	Valeurs limites d'émission des paramètres de rejets atmosphériques	<b>20-21</b>
3	Valeurs guides de l'air ambiant recommandées par l'OMS	<b>34</b>

# Liste des figures

<b>FIGURE</b>	<b>TITRE</b>	<b>PAGE</b>
1	Les couches de l'Atmosphère	<b>06</b>
2	Echelle spatio-temporelles de chaque polluant. (Boubel et al)	<b>11</b>
3	Mécanisme de la pollution atmosphérique. (Boubel et al)	<b>12</b>
4	Phénomènes de Brise côtière	<b>16</b>
5	Phénomènes de Brise de vallée	<b>16</b>
6	Vue d'ensemble d'un procédé de fabrication du ciment. (Rebbouh, 2013)	<b>30</b>
7	Lidar déployé à Tamanrasset pendant la campagne de mesure 2006	<b>36</b>
8	Carte globale des stations du réseau AERONET (source : nasa)	<b>36</b>
9	Moyenne mensuelle (mois de mai) de l'épaisseur optique totale à 865 nm à partir de données de POLDER (source cnes)	<b>37</b>
10	Image en vraie couleur à partir des mesures MODIS dans le visible d'un événement de poussières observé sur la partie Est du bassin méditerranéen le 24 Février 2007	<b>38</b>
11	Photomètre solaire	<b>40</b>

## **INTRODUCTION GENERALE**

La protection de l'environnement est devenue un enjeu majeur, en même temps que s'imposait l'idée de sa dégradation, à cause des activités humaines polluantes, sachant que la préservation de l'environnement est un pilier du développement durable.

La pollution atmosphérique et spécialement celle émise par les carrières est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants susceptibles d'être présents dans l'atmosphère. Le ciment est lui-même un élément polluant malgré sa nécessité absolue pour la vie socioéconomique, et la grande importance que lui accorde le monde entier. Les niveaux de cette pollution dépendent de la nature et des conditions de rejets polluants, des conditions atmosphériques qui déterminent le transport, la diffusion et les retombées de ces mêmes polluants, ainsi que les moyens et méthodes utilisés pour sa détection.

A cet effet, la pollution atmosphérique s'impose aujourd'hui comme un sujet qui préoccupe de plus en plus les citoyens, les journalistes, les chercheurs et les gouvernements. C'est un problème d'actualité qui a des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine.

Le ciment est une matière première irremplaçable. Sa fabrication est une industrie de base qui occupe une position dominante et conserve un fort potentiel de croissance. Cependant, le processus de fabrication du ciment engendre des incidences environnementales comme les émissions de gaz (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>..) ainsi que des matières particulaires (aérosols) nocives.

L'importance et la nécessité de prendre en compte le problème de la pollution atmosphérique liée à l'exploitation des carrières, et ses différents impacts sur l'environnement, nous a appelé à choisir ce sujet de recherche.

Pour cela, notre travail est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre a été consacré à des généralités sur la pollution atmosphériques.
- Le deuxième chapitre est dédié à la pollution atmosphérique liée aux cimenteries.
- Le troisième chapitre, nous allons présenter un aperçu sur les différentes législations de la gestion minière en Algérie.

Et nous terminons par une conclusion.

# CHAPITRE 1

## Table des matières

1.1	Introduction .....	4
1.2	Propriétés de l'atmosphère .....	4
1.2.1	Structure :.....	4
1.2.2	Couches atmosphériques: .....	4
1.2.3	Composition naturelle de l'air : .....	6
1.3	Définitions de la pollution atmosphérique .....	6
1.4	Sources de la pollution atmosphérique.....	8
1.4.1	Sources naturelles .....	8
1.4.2	Sources anthropiques .....	8
1.5	Différents types de polluants atmosphériques.....	9
1.5.1	Les polluants primaires.....	10
1.5.2	Les polluants secondaires .....	10
1.6	Processus de la pollution atmosphérique.....	10
1.6.1	L'émission .....	11
1.6.2	Le transport.....	12
1.6.3	La transformation.....	12
1.6.4	L'immission.....	12
1.7	Les paramètres influençant la dispersion des polluants .....	12
1.7.1	Facteurs météorologiques .....	12
1.7.2	Facteurs topographiques .....	14
1.8	La pollution atmosphérique particulière.....	15
1.8.1	Les différentes classes de particules .....	15
1.8.2	La composition chimique des particules.....	17
1.8.3	Le temps de séjour des particules dans l'atmosphère .....	17
1.9	Les normes Algériennes de qualité de l'air .....	18

### 1.1 Introduction

Les problèmes liés à la pollution atmosphérique sont devenus ces dernières années une préoccupation permanente pour les pouvoirs publics, les scientifiques ainsi que la société civile. La prise de conscience collective de l'impact des différents polluants sur la santé et l'environnement fait petit à petit évoluer les choses dans le sens d'une réduction de cette pollution. (Vendel, 2011)

D'une manière générale, la pollution atmosphérique est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine par des effets directs ou indirects. Elle est définie par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme étant la présence dans l'atmosphère de substances étrangères à la composition normale de cette atmosphère et à des concentrations suffisamment élevées pour entraîner un impact sur l'homme, les animaux, les végétaux, les matériaux ou l'environnement d'une manière générale. (Khelif et al, 2009)

### 1.2 Propriétés de l'atmosphère

#### 1.2.1 Structure :

L'atmosphère est un mélange de gaz et de particules qui entourent le globe. Elle forme une fine couche de lumière bleue foncée qui apparaît à l'horizon. Elle est constituée de couches qui forment des anneaux autour de la Terre et s'étend sur quelques centaines de kilomètres d'altitude, mais elle est confinée en majeure partie sur une hauteur de 50 kilomètres au-dessus de la surface terrestre.

#### 1.2.2 Couches atmosphériques:

##### A) Troposphère

C'est la couche atmosphérique la plus proche du sol terrestre. Son épaisseur est variable (07Km de hauteur au-dessus des pôles, 18 Km au-dessus de l'équateur et environ 11 Km, selon les saisons, dans la zone tempérée). C'est dans cette couche que se manifestent la plus grande partie des phénomènes météorologiques. Au fur et à mesure qu'on s'élève dans la troposphère la température décroît de façon régulière d'environ 6 degrés Celsius tous les 1000 mètres pour atteindre -56 C° à la tropopause (zone séparant la troposphère de la stratosphère). L'air près du sol est plus chaud qu'en altitude car la surface réchauffe cette couche d'air.

##### B) Stratosphère

La stratosphère est au-dessus de la troposphère. C'est dans la stratosphère qu'on trouve la couche d'ozone. Cette dernière est essentielle à la vie sur terre, car elle absorbe la majorité des rayons solaires ultraviolets qui sont extrêmement nocifs pour tout être vivant. Cette absorption provoque un dégagement d'énergie sous forme de chaleur, c'est pourquoi la température augmente lorsqu'on s'élève dans la stratosphère.

### C) Mésosphère

La mésosphère est au-dessus de la stratosphère. Dans cette couche, la température recommence à décroître avec l'altitude pour atteindre  $-80\text{ C}^\circ$  à une altitude d'environ 80 km.

Les poussières et particules qui proviennent de l'espace (les météores) s'enflamment lorsqu'elles entrent dans la mésosphère à cause de la friction de l'air.

### D) Thermosphère

C'est la couche la plus haute. La température augmente avec l'altitude et peut atteindre environ 100 degrés Celsius. La thermosphère atteint des milliers de kilomètres d'altitude et disparaît graduellement dans l'espace. Elle devient presque nulle et les molécules d'air sont très rares. La partie inférieure de la thermosphère est appelée l'ionosphère. L'ionosphère réfléchit les ondes courtes (ondes radio). L'ionosphère permet donc de communiquer avec des régions très éloignées.

La séparation entre la mésosphère et la thermosphère s'appelle **la Mésopause**. La séparation entre la troposphère et la stratosphère porte le nom de **Tropopause**. La figure suivante représente les différentes couches de l'atmosphère :

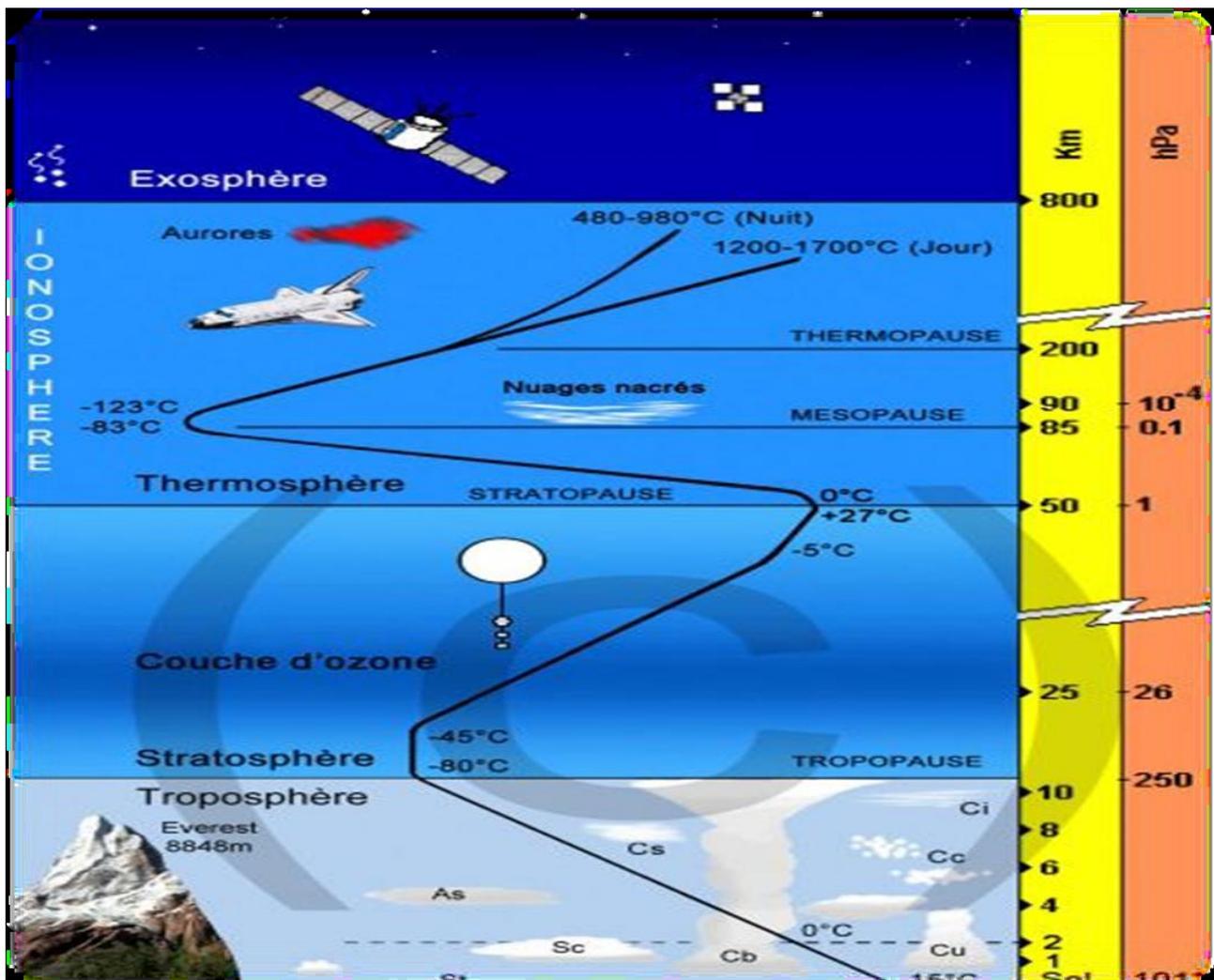


Figure 1.1 Les couches de l'Atmosphère

### 1.2.3 Composition naturelle de l'air :

L'atmosphère naturelle est constituée de manière permanente et en tous lieux au voisinage du sol, de gaz de même proportions. La composition naturelle de l'air peut se modifier seulement dans les lieux où se produisent des émanations du sous sol surtout dans tous les terrains volcaniques et marécageux. Sur les hauteurs se modifie seulement la densité de l'air, les quantités de gaz à l'unité de volume d'air et les proportions de ceux-ci restent constantes, de même en fonction du temps et de l'espace. Il existe des différences de composition seulement en ce qui concerne la vapeur d'eau, qui se trouve d'habitude en proportion de 1 à 3%. Les gaz entrant dans la composition naturelle de l'air se maintiennent à une concentration constante. Cette composition a les pourcentages suivants :

Nom	Formule	Proportion
Azote	N <sub>2</sub>	78.09%
Oxygène	O <sub>2</sub>	20.94%
Argon	Ar	0.93%
Gaz carbonique	CO <sub>2</sub>	0.03%
Néon	Ne	0.0018%
Hélium	He	0.0005%
Krypton	Kr	0.0001%
Monoxyde d'azote	NO	0.00005%
Hydrogène	H <sub>2</sub>	0.00005%
Xénon	Xe	0.00008%
Dioxyde d'azote	NO <sub>2</sub>	0.000002%
Ozone	O <sub>3</sub>	0.000001%

Tableau 1.1 Composition de l'Atmosphère

### 1.3 Définitions de la pollution atmosphérique

Plusieurs définitions ont été développées pour expliquer la pollution de l'air, à savoir :

- La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996, définit la pollution de l'air comme « l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels et à provoquer des nuisances olfactives excessives ». (Article 220-2 « ex-art 2 » du code de l'environnement France).

- Le Conseil de l'Europe dans sa déclaration de mars 1968 proposa la définition suivante : « il y a pollution atmosphérique lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer une nuisance ou une gêne ».
- Selon wikipedia, « la pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est un type de pollution défini par une altération de la pureté de l'air, par une ou plusieurs substances ou particules présentes à des concentrations et durant des temps suffisants pour créer un effet toxique ou écotoxique ».
- Au sens de la Loi Française n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement, On entend par pollution de l'atmosphère, « l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumées ou de particules solides ou liquides, corrosives, toxiques ou odorantes, de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites ».
- La pollution est définie par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme étant « la présence dans l'atmosphère de substances étrangères à la composition normale de cette atmosphère et à des concentrations suffisamment élevées pour entraîner un impact sur l'homme, les animaux, les végétaux, les matériaux ou l'environnement d'une manière générale ».
- Pacyna et Graedel définissent la pollution de l'air comme « la résultante de multiples facteurs: croissance de la consommation d'énergie, développement des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, etc. ». Plus spécifiquement, la pollution atmosphérique peut être définie comme étant la présence de substances dans l'atmosphère, résultantes des activités synthétiques ou des processus naturels, entraînant des effets nuisibles pour l'homme et pour l'environnement. La pollution atmosphérique est un terme employé pour décrire tous les produits chimiques non désirés ou d'autres matériaux qui contaminent l'air que nous respirons ayant pour résultat la dégradation de la qualité de l'air.

Par conséquent, la pollution de l'air est donc le résultat de présence dans l'atmosphère de plusieurs agents polluants, à savoir : les fumées, les gaz, les particules liquides ou solides et d'autres produits de simple combustion que l'on associe à la nuisance, aux maladies, aux épidémies, à l'agression de l'environnement, à la dégradation du cadre de vie et le déséquilibre des écosystèmes, au

réchauffement de la planète, aux catastrophes écologiques, et au dérèglement du système climatique.

### 1.4 Sources de la pollution atmosphérique

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé, les écosystèmes, etc. (**Lacour, 2001**)

#### 1.4.1 Sources naturelles

A côté des éléments de base, l'atmosphère renferme, une quantité variable de substances naturelles qui, dépassant un seuil, crée une source de pollution à savoir :

- Les feux de forêts, de cultures ou des prairies contribuent à des émissions importantes de noyaux de condensation, d'imbrûlés et de gaz.
- Les volcans émettent des gaz comme le dioxyde de soufre, de l'hydrogène sulfureux et des particules de cendres en grande quantité.
- Les embruns marins sont constitués par des aérosols (des cristaux de sels)
- Les végétaux sont à leur tour à l'origine d'une pollution par les pollens, les spores et les champignons.
- L'ozone formé naturellement à haute altitude à partir de réaction photochimique impliquant l'oxygène de l'air. (**Mehdi, 2009**)

#### 1.4.2 Sources anthropiques

On appelle émissions atmosphériques anthropiques, les émissions d'origine humaine. Ainsi, la majorité des activités humaines sont à l'origine, directe ou indirecte, d'émissions de grandes quantités de polluants.

- L'industrie est un des secteurs majeurs des émissions atmosphériques en dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), poussières, métaux lourds, composés organiques volatils (COV), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)...
- Le transport, qu'il soit aérien, maritime ou terrestre, il émet des quantités considérables de NO<sub>x</sub>, des particules (PM) dans les gaz d'échappement, du monoxyde de carbone (les imbrulés), des COV...
- Les combustions et les incinérations sont aussi à l'origine de l'émission des métaux, des dioxines, des COV, des CO<sub>x</sub>, des aérosols...

- Le secteur agricole est un responsable majeur des émissions de poussières et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) à cause du recours aux produits phytosanitaires et aux épandages.
- Les activités domestiques, en utilisant des produits phytosanitaires, des peintures, des produits ménagers, en cuisinant... nous émettons tous des polluants atmosphériques (COV).
- Le chauffage est aussi à l'origine d'une grande partie des émissions du SO<sub>2</sub>, du CO, des NO<sub>x</sub> et des PM. Même la climatisation génère indirectement des émissions du fait de sa grande consommation d'électricité mais également si le gaz réfrigérant n'est pas récupéré.

### 1.5 Différents types de polluants atmosphériques

La pollution atmosphérique se distingue selon les espèces considérées, la liste suivante contient les principales espèces dites 'polluantes' :

- SO<sub>2</sub> : le Dioxyde de soufre, lié à la combustion du charbon.
- O<sub>3</sub> : l'Ozone et les oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>),
- COV : Composés Organiques Volantes.
- Métaux lourds, tel que : le plomb, le zinc, qui sont liés à certaines types de processus industriels, sous forme particulaire.
- Mercure, émis sous forme gazeuse
- Aérosols, sous forme de particule et qui englobe le sulfate SO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, sable, sels de mer etc.
- Polluants Organiques Persistants (POPs), chaînes organiques complexes avec un temps de vie important tels que : les pesticides, la dioxine.
- Les particules (particulate matter PM) : Les particules regroupent également une variété importante de substances. Le terme de particules désigne en général la fraction des composants (liquides ou solides) en suspension dans le milieu gazeux. Vu leurs poids très légers, elles restent dans l'air pendant de longue période (plusieurs dizaines d'heures). Souvent, les particules sont classés en fonction de leur granulométrie, par exemple les particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 10 µm est noté PM<sub>10</sub>, de même pour les PM<sub>2.5</sub>.

Chaque polluant considéré va donc se caractériser par une classe d'espèces particulières et des propriétés spécifiques: sources d'émission, mécanismes physico-chimiques, temps et caractéristiques. La figure suivante illustre le temps de résidence dans l'atmosphère de chaque polluant :

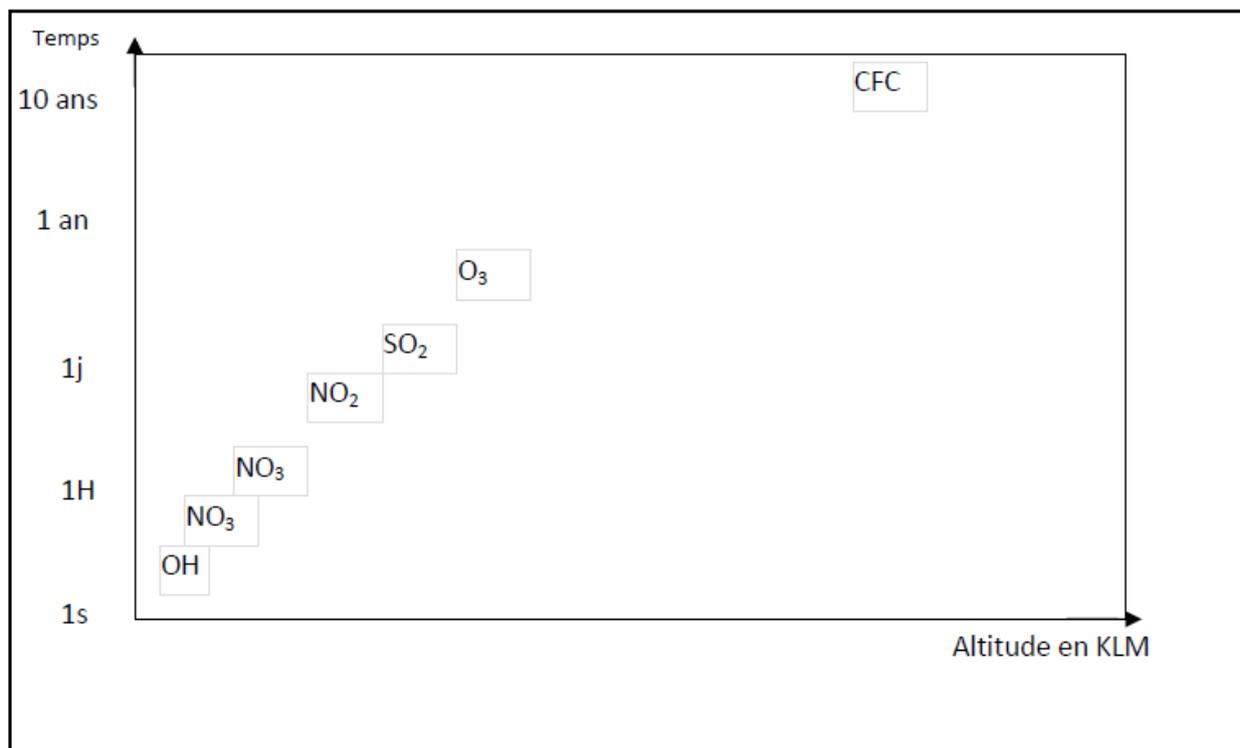


Figure 1.2 Echelle spatio-temporelle de chaque polluant (Boubel et al)

### 1.5.1 Les polluants primaires

Les polluants primaires, sont ceux qui sont émis directement dans l'air, ces émissions sont catégorisées en deux types :

- **Biogénique** : liées à l'activité naturelle telle que l'activité photosynthétique, sels de mer, activité volcaniques, feux de forêts.
- **Anthropique** : liées à l'activité humaine tels que les processus industriels, transport, production de l'énergie etc.

Nous pouvons citer comme exemple de polluants primaires l'oxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) qui est émis par l'opération de combustion de charbon.

### 1.5.2 Les polluants secondaires

Les polluants secondaires résultent des réactions photochimiques, dans l'air, dans lesquelles les polluants primaires jouent un rôle très important, un exemple de ce genre de polluants est l'Ozone (O<sub>3</sub>), ce dernier résulte de la photochimie des oxydes de l'azote (NO<sub>x</sub>).

## 1.6 Processus de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants susceptibles d'être présents dans l'air. Les niveaux de pollution au sol dépendent de la nature et des conditions des rejets des polluants ainsi que des conditions météorologiques qui

déterminent le transport, la diffusion et les retombées de ces mêmes polluants. Ces phénomènes ont lieu dans la troposphère qui représente la plus basse couche de l'atmosphère. **(Rahal, 2015)**

Les processus qui régissent la pollution atmosphérique s'échelonnent en 4 étapes :

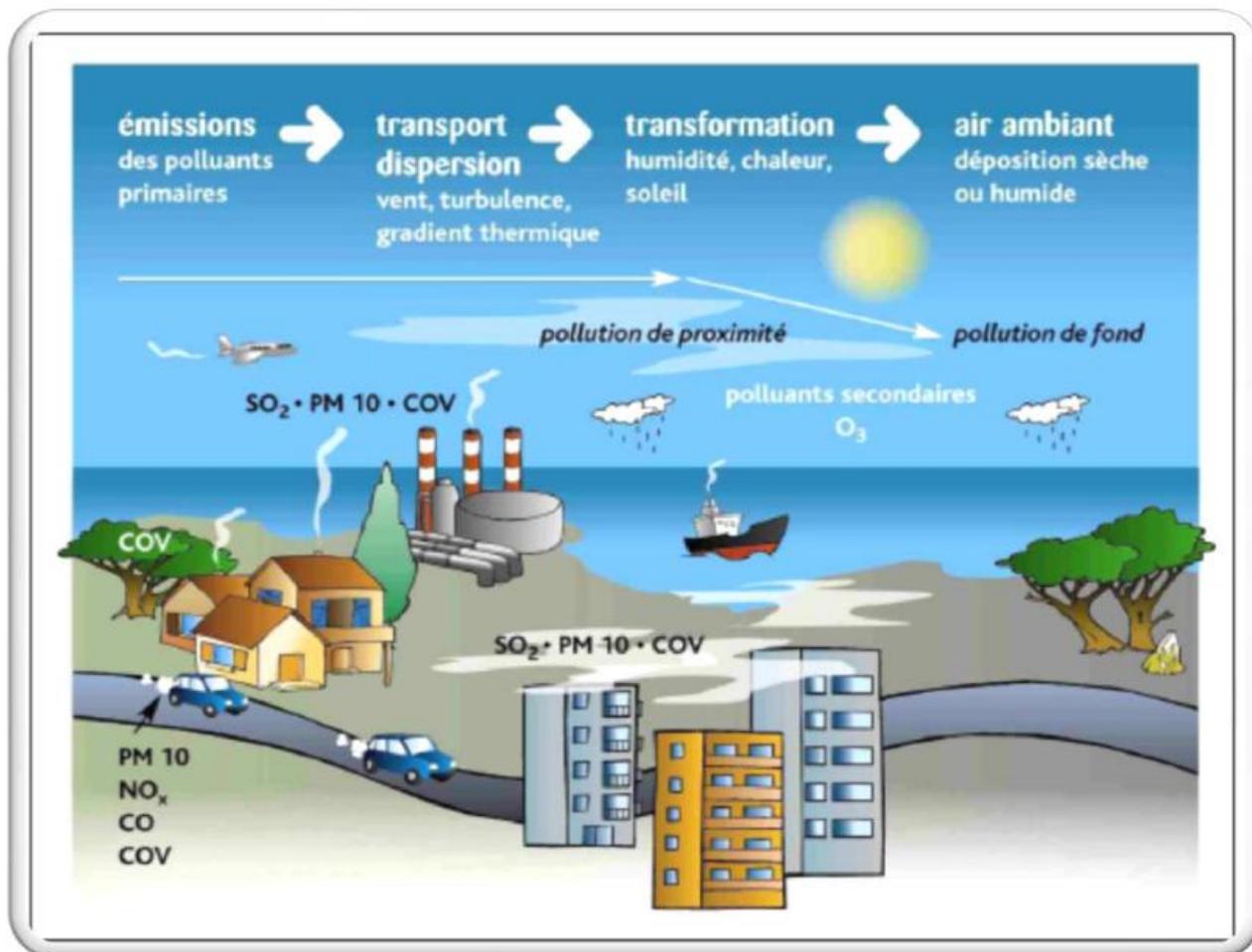


Figure 1.3 Mécanisme de la pollution atmosphérique (Boubel et al)

### 1.6.1 L'émission

Les émissions des polluants ont une forte influence sur la qualité de l'air. Les polluants primaires, dont les oxydes d'azote ( $NO_x$ ), le dioxyde de soufre ( $SO_2$ ), le monoxyde de carbone (CO), les particules en suspension (PM) et certains composés organiques volatils (COV), sont directement émis dans l'atmosphère. Ils proviennent aussi bien des sources fixes (incinération des déchets, chauffages urbains, activités industrielles, domestiques ou agricoles) que des sources mobiles, en particulier les automobiles. **(Bouziani, 2010)**

### 1.6.2 Le transport

Les polluants gazeux ou aérosols peuvent être transportés à des distances variables par les vents et les courants atmosphériques. La dispersion des polluants dans l'air résulte de nombreux facteurs. Cependant, la qualité de la dispersion influe directement sur la qualité de l'air: si la dispersion est bonne, les concentrations peuvent rester faibles malgré des rejets importants. Par contre, si la dispersion se fait mal, des émissions relativement limitées peuvent suffire à dégrader la qualité de l'air (**Deletraz, 2002**). Le phénomène de dispersion est primordial puisqu'il détermine l'accumulation d'un polluant ou sa dilution dans l'atmosphère.

### 1.6.3 La transformation

Le temps de séjour des polluants dans l'atmosphère dépend de leur capacité à se déposer sous forme sèche (sol, végétaux) ou humide (dissolution ou lessivage) ou à se transformer chimiquement. Cette transformation peut être provoquée par leur mélange dans l'atmosphère ou par une exposition à des conditions météorologiques particulières. Ainsi, la combinaison d'oxydes d'azote et des composés organiques volatils en présence des rayonnements ultraviolets conduit à la formation de photos oxydants puissants, tels que l'ozone. (**Gérard, 1996**)

### 1.6.4 L'immission

L'immission est le résultat des trois étapes décrites ci-dessus et désigne les taux de pollution mesurés dans l'air ambiant. Les polluants dits « primaires » sont directement émis et se retrouvent de ce fait en grande quantité près des sources d'émissions. Il s'agit d'une pollution dite de proximité. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne des sources, ces polluants primaires diminuent en concentration par effet de transport et de transformation pour laisser place aux polluants « secondaires », créés suite à ces transformations. Parmi ces quatre étapes, deux font l'objet d'une réglementation stricte : les émissions et les immissions. (**Gérard, 1996**)

## 1.7 Les paramètres influençant la dispersion des polluants

### 1.7.1 Facteurs météorologiques

Le climat est identifié comme un facteur influant sur la qualité de l'air, ayant un impact sur le comportement des polluants dans l'atmosphère. La qualité de l'air n'est pas seulement dépendante de la quantité de polluants émise par les sources, elle est également liée aux conditions climatiques, météorologiques, topologiques et morphologiques du milieu. Une fois émise par une source de polluant, son évolution dans l'atmosphère est dépendante du vent, de la stabilité de l'atmosphère, du rayonnement solaire, de la topographie et morphologie du milieu. (**INSP, 2007**)

**a) Le vent**

Le vent, sa vitesse et sa direction sont très importantes. Un vent fort permet de disperser les polluants. De ce fait, de fortes concentrations sont peu probables dans ces conditions. Toutefois, il peut également amener des masses d'air contenant des polluants en provenance d'autres sources. La direction du vent joue un rôle important dans le déplacement des polluants. Son rôle s'explique plus dans sa relation avec la topographie du site. En effet, la direction du vent influence directement le déplacement de polluant. Si le vent est stoppé par un obstacle (un montagne), on peut assister à une stagnation de polluant, ou une remontée de la pollution sur le versant. **(Deletraz, 1998)**

**b) La température**

La température agit sur la chimie des polluants, le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que la chaleur estivale est favorable à la formation photochimique de l'ozone. La température a un effet sur la vitesse de déplacement et de réaction des molécules. Plus la température est élevée, plus les molécules ont de chances d'entrer en collision puisqu'elles se déplacent plus rapidement. De même, plus la température est élevée, plus les collisions produisent de réaction. Autrement dit, une hausse de la température accroît la vitesse des polluants de l'air. **(Zenata, 2007)**

**c) La pression**

Dans le cas de situations dépressionnaires (basses pressions) correspondent généralement à une turbulence de l'air assez forte et donc de bonnes conditions de dispersion. En revanche, des situations anticycloniques (hautes pressions) où la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants entraînent des épisodes de pollution.

**d) L'humidité**

L'humidité joue un rôle dans le «captage» des particules polluantes, les gouttelettes d'eau en suspension retiennent les polluants, ce qui accroît leur stagnation. **(Deletraz et Paul, 1998)**

La présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère est considérée comme un facteur météorologique défavorable au phénomène d'auto purification de l'atmosphère parce qu'elle empêche la dispersion des polluants. **(Barnea et Ursu, 1974)**

**e) La nébulosité**

Elle est responsable de la formation d'un «couvercle» au dessus d'une zone polluée. Elle réduit également l'apport radiatif du soleil, ce qui tend à diminuer les transformations physico-chimiques des polluants primaires. **(Guibert et Martin, 1987)**

### f) Les précipitations

La pluie lave l'atmosphère des particules et des gaz, pour les déposer ensuite sur le sol et dans l'eau; les précipitations sont généralement associées à une atmosphère instable, qui permet également une bonne dispersion de la pollution atmosphérique. Elles peuvent parfois accélérer la dissolution de certains polluants. Mais, globalement, les concentrations en polluants dans l'atmosphère diminuent nettement par temps de pluie notamment pour les poussières et les éléments solubles tel que le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). **(Guibert et Martin, 1987)**

### 1.7.2 Facteurs topographiques

Les effets de la topographie sont aussi importants dans les mécanismes de diffusion et dispersion des polluants. La stabilité atmosphérique combinée à une topographie complexe empêche la circulation de l'air et donc l'évacuation des polluants. **(Deletraz et Paul, 1998)**

La topographie d'un site peut influencer la circulation des masses d'air. Par exemple, les rues canyon, les bords de mer et les vallées peuvent modifier la dispersion des polluants.

Sur les zones littorales, la nuit, les masses d'air ne se déplacent pas dans le même sens que de jour. En effet, durant la journée la brise de mer ramène les polluants sur les côtes. Mais de nuit, ce phénomène s'inverse car le sol se refroidit plus vite que la mer. La pollution est alors envoyée vers la mer.



**Figure 1.4 Phénomènes de Brise côtière**

Dans les vallées, les masses d'air ne se déplacent pas dans le même sens de jour et de nuit. En effet, le jour l'air s'échauffe sur les pentes et crée un courant qui remonte la vallée. Les polluants se dispersent rapidement. Pendant la nuit, ce phénomène s'inverse : l'air froid s'écoule le long des pentes et s'accumule au fond de la vallée, tout en la descendant. La pollution évacuée dans la journée est alors ramenée dans la vallée la nuit. **(Aouissi, 2011)**



**Figure 1.5 Phénomènes de Brise de vallée**

## **1.8 La pollution atmosphérique particulaire**

Le mot « particule » a plusieurs significations selon le domaine concerné (chimie, physique....). Ainsi dans le domaine de la protection de l'environnement, une particule désigne une petite partie de matière solide ou liquide en suspension dans l'air ou déposée sur une surface et susceptible de se mettre en suspension. Les particules en suspension ne forment pas un seul et unique polluant de l'air, mais représentent plutôt une classe des polluants constituée de plusieurs sous classes variant dans une gamme de granulométrie de  $0.005\mu\text{m}$  à environ  $100\mu\text{m}$ . Chaque sous-classe de particule peut être constituée ou contenir différentes espèces chimiques. Selon leur origine, les particules ont une gamme de taille et une composition physico-chimique très variables, c'est pourquoi différentes terminologies existent pour classifier, définir ou nommer une classe des particules polluantes. (Laurence, 2006)

### **1.8.1 Les différentes classes de particules**

Selon la granulométrie, nous avons plusieurs classes de particules :

#### **- Les particules totales en suspension :**

Ou total suspended particulates (TSP), représentent « toutes les particules en suspension dans un volume d'air ». Aux États-Unis, les TSP sont définies comme les particules de diamètre aérodynamique inférieur à  $40\mu\text{m}$ , alors qu'en Europe, elles désignent toutes les particules en suspension inférieures à  $100\mu\text{m}$ . Les TSP sont représentatifs de la fraction inhalable des particules de l'air, c'est-à-dire des particules pénétrant le corps humain par le nez ou la bouche. Cependant, une partie de TSP est constituée de particules trop larges pour pénétrer le système respiratoire humain, cet indicateur n'est de ce fait pas bien adapté pour caractériser l'impact potentiel sur la santé.

### - Les **PM<sub>10</sub>** :

Les **PM<sub>10</sub>** ou particulate matter (PM), sont des particules de diamètre aérodynamique équivalent inférieur à 10 µm. Cette classe de particule peut pénétrer le système respiratoire humain, et pour cette raison, la US Environmental Protection Agency (EPA) a défini en 1987 les **PM<sub>10</sub>** comme mesure standard de la qualité de l'air. La Communauté européenne a également mis en place la directive 1999/30/CE du 22 avril 1999 pour la mesure des **PM<sub>10</sub>** en remplacement des TSP. Il n'existe pas de méthode universelle de conversion entre **PM<sub>10</sub>** et TSP, mais l'EPA considère que les **PM<sub>10</sub>** représentent 40 à 70 % en masse des TSP, alors que la directive européenne propose une relation simple entre les deux indicateurs :  $TSP = 1,2 PM_{10}$

### - Les **PM<sub>2,5</sub>** :

Les **PM<sub>2,5</sub>** représentent les particules de diamètre aérodynamique équivalent inférieur à 2,5 µm. Cette classe de particule qui pénètre les alvéoles pulmonaires représente un facteur pertinent pour qualifier la qualité de l'air d'un point de vue sanitaire. Ainsi, afin de dégager des tendances entre impact sur la santé et taille des particules, certaines études épidémiologiques définissent une sous-classe **PM<sub>10-2,5</sub>**, ou coarse particules (CP), qui représente les particules de taille inférieure à 10 µm et supérieure à 2,5 µm.

### - Les **PM<sub>1</sub>** :

Les **PM<sub>1</sub>** constituent la classe des particules de diamètre aérodynamique équivalent inférieur à 1µm. Cette classe des particules fait l'objet d'études spécifiques en termes d'échantillonnage et d'impact sur la santé, elle n'est toutefois pas préconisée par les normes et décrets existants.

### - Les **PM<sub>0,1</sub>** :

Les particules ultrafines, ou **PUF** ou encore **PM<sub>0,1</sub>** sont des particules de dimension nanométrique (moins de 0,1µm de diamètre), si petites qu'elles se comportent comme des gaz. Elles ont des origines naturelles (incendies de forêt, volcanisme, érosion éolienne...) et anthropiques (échappement des moteurs et chaudières, raffineries, usure des pneus, peintures, freins et autres sources mécanique, soudure et autres systèmes fonctionnant à systèmes haute température, etc.). En raison de leur taille minuscule, les **PUF** sont respirables. À la différence des **PM<sub>10</sub>** et **PM<sub>2,5</sub>** inhalées, elles ne se déposent qu'en partie dans les poumons, ce qui fait qu'en même temps que l'oxygène de l'air, elles pénètrent dans le réseau sanguin et de là, dans la lymphe et potentiellement dans tous les organes du corps.

### - Les **poussières** :

Les poussières définissent l'ensemble des particules solides en suspension dans l'air. Le terme poussière regroupe en fait les particules solides totales en suspension (TSP solide). Le terme anglais « dust » désigne les particules de dimension inférieure à 75 µm issues de processus mécaniques.

- **Les fumées noires :**

Elles sont constituées des particules carbonées de diamètre inférieur à 5µm.

- **Les suies :**

Ce sont des particules de carbone et de produits de combustibles qui ne brûlent pas complètement.

- **Les brouillards et brumes :**

Les brouillards et brumes sont formés par une suspension de gouttelettes dans l'air. La brume est formée par une suspension de gouttelettes liquides de taille supérieure à 1 µm dans l'air et correspond à des conditions de visibilité de 1 à 2 km. Selon les conventions internationales, lorsque les conditions de visibilité sont inférieures à 1 000 m, le terme de brouillard est utilisé.

- **Les aérosols :**

Les aérosols représentent des particules solides et/ou liquides en suspension dans un gaz dont la vitesse de chute est négligeable. La notion d'aérosol est équivalente à celle des particules totales en suspension dans l'air ambiant pour des conditions de vent faible. Les aérosols englobent les poussières, les brumes et brouillards, et les aérosols microbiens.

### 1.8.2 La composition chimique des particules

Un autre critère de classification des particules en suspension est la composition chimique. Les particules ont des compositions chimiques différentes selon leur origine. Elles sont généralement composées de :

- Sels sous la forme nitrates, sulfates, carbonates, chlorures..
- Composés carbonés organiques (HAP, oxydes, composés organiques condensables..).
- Des éléments traces tels que les métaux lourds..
- Carbone suie (ou black carbon, noté BC en anglais) : Le carbone suie est liée aux combustions incomplètes de combustibles fossiles et de la biomasse.

### 1.8.3 Le temps de séjour des particules dans l'atmosphère

Les particules peuvent rester dans l'atmosphère plus ou moins longtemps, selon leur taille et leur stabilité. D'autres facteurs peuvent influencer sur leur durée de séjour dans l'air, par exemple les précipitations qui accélèrent leur élimination de l'atmosphère.

- Les particules grossières (fraction des PM de taille comprise entre 10 et 2,5 micromètres) retombent lentement. À titre d'exemple, la vitesse de chute d'une particule de diamètre aérodynamique de 10 µm est de 3 mm/s en air calme, ce qui est faible par rapport à des courants d'air pouvant à tout moment les remettre en suspension. En l'absence de tout mouvement d'air, la durée de séjour dans l'air de ces particules grossières est de l'ordre de 1 jour.

- Ce sont les particules très fines (fraction des PM de taille comprise entre 1,0 et 0,1 micromètre) qui restent le plus longtemps en suspension dans l'atmosphère, jusqu'à 1 semaine environ. Elles peuvent ainsi être transportées sur des longues distances. Elles ne sont pratiquement éliminées que par les précipitations et ont le temps de s'accumuler dans l'air.
- Dans le cas des particules ultrafines (ou nanoparticules  $PM_{0,1}$ ), d'autres facteurs, qui accélèrent leur élimination de l'atmosphère, interviennent. Leur durée de séjour est très courte, de l'ordre de quelques minutes à quelques heures.

### **1.9 Les normes Algériennes de qualité de l'air**

L'article 3 du Décret exécutif n° 06-138 du 5 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exercent leurs contrôles, fixent les valeurs limites des rejets atmosphériques. Toutefois, il précise qu'en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans les brefs délais, les limites des rejets atmosphériques prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets atmosphériques émanant de ces installations.

L'article 7 stipule que si une indisponibilité est susceptible de conduire à un dépassement des valeurs limites des rejets atmosphériques, l'exploitant doit prendre les dispositions nécessaires pour réduire la pollution émise en réduisant ou arrêtant si besoin les activités concernées.

N°	Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérance des valeurs limites des installations anciennes
01	Poussières totales	mg/Nm <sup>3</sup>	50	100
02	Oxydes de soufre (exprimés en dioxyde de soufre)	--	300	500
03	Oxydes d'azote (exprimés en dioxyde d'azote)	--	300	500
04	Chlorure d'hydrogène et autres composés inorganiques gazeux du chlore (exprimé en HCl)	--	50	100
05	Fluor et composés inorganiques du fluor (gaz, vésicule et particules), (exprimés en HF)	--	10	20
06	Composés organiques volatils (Rejet total de composés organiques volatils à l'exclusion du méthane)	--	150	200
07	Métaux et composés de métaux (gazeux et particulaires)	--	05	10
08	Rejets de cadmium, mercure et thallium, et de leurs composés	--	0.25	0.5
09	Rejets d'arsenic, sélénium et tellure et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	--	01	02

<b>10</b>	Rejets d'antimoine, chrome, cobalt, cuivre, étain, manganèse, nickel, vanadium et zinc, et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	--	05	10
<b>11</b>	Phosphine, phosgène	--	01	02
<b>12</b>	Acide cyanhydrique exprimé en HCN brome et composés inorganiques gazeux du chrome exprimé en HBr, chlore exprimé en HCl, Hydrogène sulfuré	--	05	10
<b>13</b>	Ammoniac	--	50	100

**Tableau 1.2 Valeurs limites d'émission des paramètres de rejets atmosphériques**

# CHAPITRE 02

**Table des matières**

2.1	Introduction .....	24
2.2	Fabrication du ciment (Techniques et procédés).....	24
2.2.1	Les matières premières et leur extraction .....	25
2.2.2	Stockage et préparation des matières premières .....	26
2.2.3	Stockage et préparation des combustibles .....	26
2.2.4	Utilisation des déchets .....	27
2.2.5	Cuisson du clinker.....	27
2.2.6	Cogénération .....	28
2.2.7	Broyage et stockage du ciment .....	28
2.2.8	Conditionnement et expédition .....	29
2.3	Emissions atmosphériques .....	31
2.4	Types de polluants rejetés : origine et transformation .....	31
2.4.1	Composés gazeux.....	32
2.4.2	Les poussières (particules) .....	32
2.5	Impacts à l'échelle locale : risques pour la santé .....	33
2.6	L'observation des aérosols (poussières).....	35
2.6.1	Les prélèvements in situ.....	35
2.6.2	La télédétection au sol.....	35
2.6.3	La télédétection spatiale.....	37
2.7	Le cas de l'Algérie .....	39

## 2.1 Introduction

La pollution atmosphérique est peut être la plus dissimulée et la plus difficile à combattre à cause de l'activité industrielle qui ne cesse de croître chaque jour créant ainsi des polluants très variés. Un des secteurs industriels participant massivement à cette pollution est celui des cimenteries. En effet, le ciment est lui-même un élément polluant malgré sa nécessité absolue pour la vie sociale et économique, et la grande importance que lui accorde le monde entier d'un côté. D'un autre côté, ce secteur est à l'origine d'émission de variété très complexe de polluants. **(Ouzid, 2017)**

Les principales émissions polluantes des cimenteries qui doivent être traitées sont celles de poussières, d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), ainsi que celles de composés organiques volatils (COV), des polychlorodibenzo-para-dioxines (PCDD), de chlorure d'hydrogène (HCl) et des polychlorodibenzo furanes (PCDF). En outre, les émissions d'oxydes de carbone (CO, CO<sub>2</sub>), de fluorure d'hydrogène (HF), d'ammoniac (NH<sub>3</sub>), de benzène, toluène, éthylbenzène et xylène (BTEX), d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH), de métaux et leurs composés, de bruit et d'odeurs peuvent être prises en considération dans des circonstances spéciales. **(Zeghdoudi et Haouem, 2016)**

## 2.2 Fabrication du ciment (Techniques et procédés)

La production du ciment en Europe est environ 10,5 % de la production mondiale. En 2008, on dénombrait 268 installations produisant du clinker et du ciment fini, regroupant 377 fours au total. On recensait également 90 usines de broyage (broyeurs à ciment) et deux installations de production de clinker sans broyeur. En règle générale, les fours ont une capacité d'environ 3000 tonnes de clinker/jour.

La production du ciment en Algérie est d'environ 15,5 millions de tonnes/an. Le pays compte 13 installations de cimenterie, 12 publiques et 1 privée, réparties à travers le nord du territoire. **(Henni, Bougara et Kadri, 2011)**

La réaction chimique de base de la fabrication du ciment commence avec la décomposition du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) en oxyde de calcium (CaO) accompagnée d'un dégagement de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), à environ 900°C. Ce procédé appelé calcination est suivi de la cuisson du clinker, ou clinkérisation, pendant laquelle l'oxyde de calcium réagit à une haute température (en général entre 1400 et 1500°C) avec la silice, l'alumine et l'oxyde ferreux pour former des silico-aluminates de calcium composant le clinker. Celui-ci est ensuite broyé et mélangé avec le gypse et à d'autres constituants ce qui permet d'obtenir le ciment. Le carbonate de calcium est extrait de formations naturelles de roches calcaires, de marne ou de craie. La silice, l'oxyde de fer et l'alumine se trouvent dans divers minerais et minéraux.

La cuisson du clinker est réalisée dans un four rotatif qui peut faire partie d'un système du type four long à voie sèche ou à voie humide, du type four avec préchauffeur à grille (LEPOL) à voie semi-sèche ou à voie semi-humide. On a alors, quatre grands procédés de fabrication du ciment : la voie sèche, semi-sèche, semi-humide et humide. (Hadjoudj et Khalfallah, 2016)

- **Dans la voie sèche**, la matière première broyée et séchée passera d'abord dans un préchauffeur à cyclone avec ou sans précalcinateur, puis dans un four tubulaire de 80 m. C'est le procédé le plus récent et le plus répandu car il est moins énergivores, mais il nécessite la mise en oeuvre de moyens importants de captation des poussières (électrofiltres, filtres cyclones et multicyclones, dépoussiéreurs électrostatiques...).
- **Dans la voie humide**, La farine crue est transformée en pâte liquide par ajout d'eau puis broyage et malaxage avant d'être introduite directement dans un four qui sera alors plus long.
- **Dans la voie semi-sèche**, la poudre est agglomérée sous forme de boulettes de 10 à 20 mm de diamètre par ajout de 12 à 14 % d'eau, séchée et préchauffée dans une chambre 'Grille LEPOL' puis dans le four.
- **Dans la voie semi-humide**, la pâte est d'abord débarrassée de son eau dans des filtres presses. Le gâteau de filtre-pressé est ensuite extrudé sous forme de granules et introduit dans un préchauffeur à grilles ou directement dans un sécheur pour la fabrication du cru.

Le choix du procédé dépend dans une large mesure de l'état des matières premières (sèches ou humides). Une grande partie de la production mondiale de clinker est toujours fabriquée en voie humide.

Les étapes suivantes sont communes à tous les procédés :

- Stockage et préparation des matières premières,
- Stockage et préparation des combustibles,
- Utilisation de déchets en tant que matières premières ou combustibles, ou les deux, exigences de qualité, de contrôle et de préparation,
- Les fours, les procédés de chauffe du four et les techniques de réduction des émissions,
- Stockage et préparation des produits,
- Conditionnement et expédition.

### 2.2.1 Les matières premières et leur extraction

La totalité des matières premières est extraite dans des mines ou des carrières, généralement à ciel ouvert. Les opérations nécessaires comportent : le forage dans la roche, l'abattage à l'explosif, l'excavation, le transport et le concassage.

Les principales matières premières (pierres calcaires, marnes crayeuses et schistes argileux ou argiles) sont extraites dans des carrières généralement proches de l'usine. Après un concassage primaire, les matières premières sont transportées vers l'usine où elles sont stockées et préparées. D'autres matériaux tels que la bauxite, le minerai de fer, le laitier de haut fourneau ou le sable de fonderie sont approvisionnés par d'autres sources.

### **2.2.2 Stockage et préparation des matières premières**

#### **a) Le stockage**

L'utilisation de halls de stockage dépend des conditions climatiques et de la quantité de matière fine (farine ou cru) produite par l'installation de concassage. Pour une usine d'une capacité de production de 3 000 tonnes/jour, ces bâtiments peuvent contenir de 20 000 à 40 000 tonnes de matériaux. Toutes les matières premières potentiellement nocives pour la santé des personnes ou l'environnement doivent être stockées et préparées dans les conditions particulières appropriées.

**(Rebbouh, 2013)**

#### **b) Broyage**

Les matières premières, dans des proportions minutieusement contrôlées, sont broyées et harmonisées de façon à former un mélange de composition chimique requise. Dans la voie sèche et semi-sèche, elles sont broyées en poudre fine et séchées principalement à l'aide des gaz chauds du four et/ou de l'air d'exhaure du refroidisseur. Un four auxiliaire peut être nécessaire pour fournir le complément de chaleur nécessaire si les matières premières contiennent une forte proportion d'humidité et pour le démarrage du four. Le broyage humide est réservé aux matières premières préparées en voie humide ou semi-humide. Leurs composants sont broyés avec de l'eau pour former une pâte. Pour obtenir le degré de finesse requis et satisfaire aux critères de qualité actuels, les industriels privilégient l'utilisation d'installations de broyage en circuit fermé.

**(Hadjoudj et Khalfallah, 2016)**

#### **c) Homogénéisation**

En sortant du broyeur, le cru ou la pâte doivent être malaxés et homogénéisés une nouvelle fois pour que le mélange acquière sa rhéologie optimale avant introduction dans les différents types de four. Le cru est homogénéisé et stocké dans des silos, la pâte dans des cuves ou dans des silos. **(Hadjoudj et Khalfallah, 2016)**

### **2.2.3 Stockage et préparation des combustibles**

Différents combustibles (conventionnels et résiduaux) peuvent fournir la chaleur et l'énergie nécessaires au procédé. Les différents types de combustibles conventionnels les plus utilisés dans les fours à clinker sont :

- les combustibles solides, par exemple le charbon, mais aussi le coke de pétrole, le lignite et, dans certains cas, les schistes bitumineux,
- les combustibles liquides, comme le fioul, notamment le fioul à haute viscosité,
- les combustibles gazeux, comme le gaz naturel.

Les cendres produites par la combustion de ces produits sont majoritairement formées de silice et d'alumine, et peuvent également contenir des traces de métaux, qui se combinent avec les matières premières et deviennent partie intégrante du clinker. **(Rebbouh, 2013)**

### 2.2.4 Utilisation des déchets

L'industrie Européenne du ciment utilise une quantité importante de combustibles dérivés de déchets qui peuvent, dans certaines usines, remplacer les combustibles fossiles jusqu'à hauteur de 80 %. Ainsi, elle peut apporter sa contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ainsi que la diminution de la consommation des ressources naturelles. Les combustibles conventionnels peuvent être remplacée par des déchets combustibles, c'est -à-dire issus de fractions de déchets prétraités et triés, y compris par des combustibles solides et liquides valorisés ou de la biomasse, ou les deux. De nombreux types de déchets différents sont utilisés en tant que combustibles, y compris les cendres résiduelles. Qu'ils se présentent sous forme solide, liquide ou pâteuse, les déchets sont définis par leur origine, par exemple industrielle, agricole et urbaine. Les conditions de la cuisson du clinker sont idéales pour l'utilisation des différents types de déchets à la place des combustibles conventionnels. La qualité constante des déchets utilisés comme matières premières ou combustibles, ou les deux, dans les fours à ciment est essentielle. Étant donné qu'ils sont entièrement absorbés par le clinker, ils doivent atteindre différents niveaux de qualité et il convient également de réduire au minimum leurs effets négatifs en matière d'émissions atmosphériques.

### 2.2.5 Cuisson du clinker

C'est l'opération la plus importante du procédé de fabrication en termes de potentiel d'émissions, de qualité et de coût du produit. Le cru (ou la pâte pour la voie humide) est introduit dans le four où il est séché, décarbonaté et clinkérisé pour donner le clinker, lequel est refroidi par de l'air avant d'être stocké. Pendant la cuisson du clinker, de hautes températures sont requises pour transformer le cru en clinker. La température de la charge du four dans la zone de clinkérisation des fours rotatifs doit impérativement être maintenue entre **1400** et **1500 °C** et celle de la flamme à **2000 °C** environ. Le clinker doit également cuire en milieu oxydant ; c'est pourquoi un excès d'air est requis dans la zone de clinkérisation d'un four à ciment. Dans tous les fours, les gaz résiduels traversent un équipement de réduction de la pollution de l'air (filtre électrostatique ou filtre à manches) avant d'être envoyés vers la cheminée principale.

Dans la voie sèche, la température des gaz peut être relativement haute et cette chaleur peut être réutilisée dans le broyeur à cru quand il est en marche. Quand il est arrêté, les gaz passent en général dans une tour de conditionnement où ils sont refroidis par un brouillard d'eau avant de passer dans le collecteur de poussières, à la fois pour réduire leur volume et pour améliorer leur aptitude à la séparation.

Tous les composants organiques des matières premières peuvent libérer du monoxyde de carbone mais celui-ci peut aussi apparaître en cas de combustion incomplète du combustible. Les matières premières rejettent du monoxyde de carbone pendant le préchauffage, ce gaz est rejeté avec les gaz résiduaux du four.

Le refroidisseur à clinker fait partie intégrante du four et a une influence déterminante sur les performances et l'économie de l'installation de préparation à hautes températures. Sa fonction est double : valoriser le maximum de chaleur dans le clinker chaud (**1450 °C**) pour le recycler dans le procédé et abaisser la température du clinker à un niveau compatible avec le bon fonctionnement des équipements aval. **(Hadjoudj et Khalfallah, 2016)**

### 2.2.6 Cogénération

Il est possible dans les cimenteries de générer de l'électricité et d'utiliser le surplus de chaleur du procédé de production du ciment. La plus grande partie de la chaleur émise par un four à ciment est normalement utilisée pour les procédés de séchage et de broyage en voie sèche ci-après :

- séchage et broyage de la matière première,
- séchage du laitier,
- séchage du sable,
- séchage et broyage du combustible. **(Rebbouh, 2013)**

### 2.2.7 Broyage et stockage du ciment

Le clinker et les autres constituants du ciment sont stockés dans des silos ou dans des hangars fermés. Si les stocks sont très importants, ils peuvent être entreposés à l'extérieur à condition de prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter l'envol de poussières.

Le ciment Portland est obtenu par broyage et mélange de clinker et de sulfates comme le gypse et l'anhydrite. Les ciments composés contiennent d'autres constituants comme du laitier granulé de haut fourneau, des cendres volantes, des pouzzolanes naturelles ou artificielles, des calcaires ou des fillers inertes. Ces constituants sont broyés avec le clinker ou doivent être séchés et broyés séparément (les stations de broyage peuvent être implantées ailleurs que sur le site de production du clinker). Le type de ciment à fabriquer détermine le choix du procédé et celui de l'installation de broyage. L'aptitude au broyage, l'humidité et le comportement à l'abrasion des

constituants du type de ciment fabriqué sont tous particulièrement importants. Les différents types de ciments sont stockés dans des silos différents, mais il faut souvent plusieurs silos pour stocker un type donné de ciment. Cependant grâce aux nouvelles conceptions, il devient possible de stocker des ciments différents dans un même silo.

### **2.2.8 Conditionnement et expédition**

Le ciment est chargé directement en vrac dans des camions citernes, des péniches ou des wagons ou envoyé dans un atelier d'ensachage.

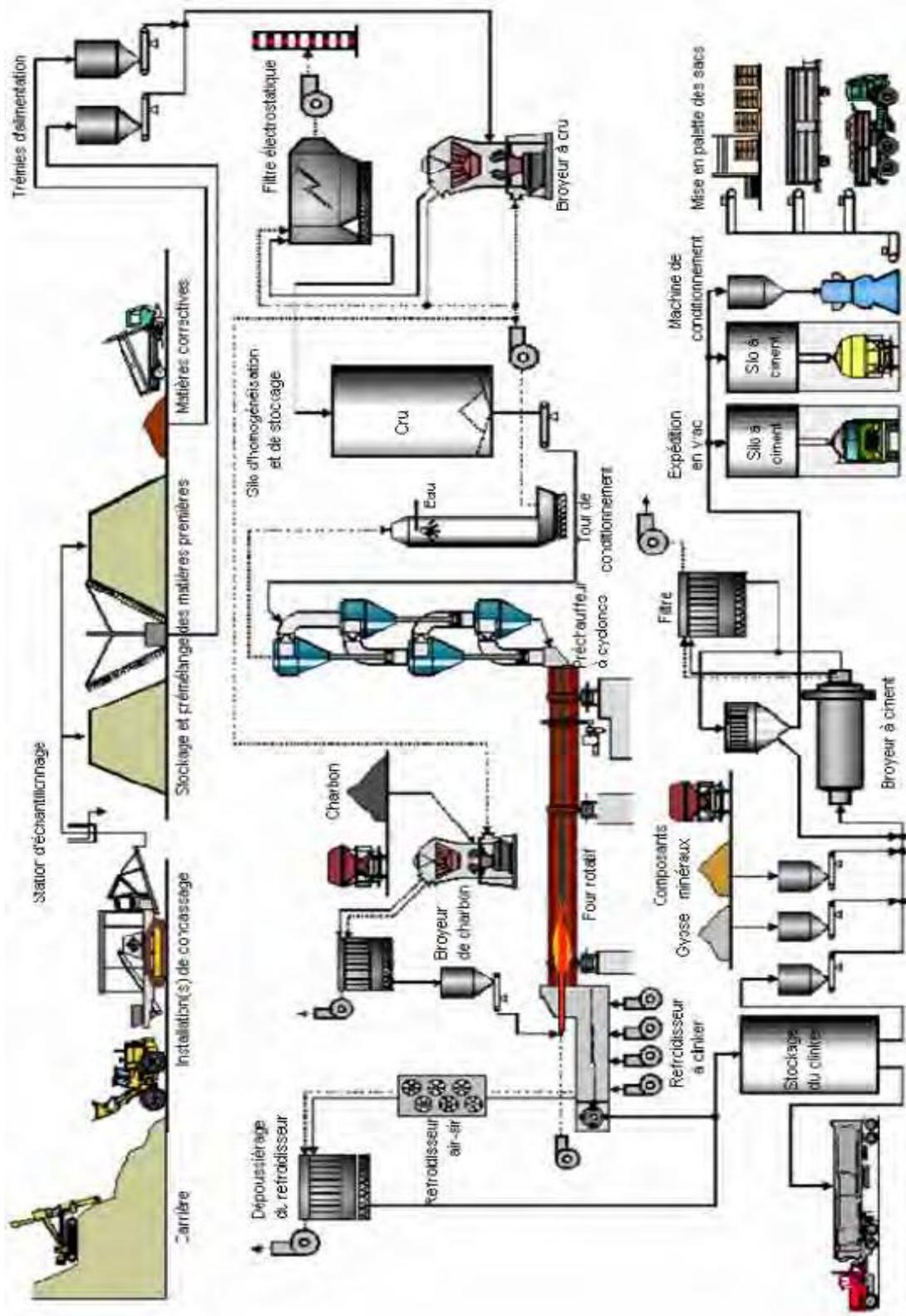


Figure 2.1 Vue d'ensemble d'un procédé de fabrication du ciment. (Rebbouh, 2013)

### 2.3 Emissions atmosphériques

La fabrication du ciment est à l'origine de rejets de polluants dans l'air et d'émissions sonores. Chacune de ces opérations engendre des pollutions affectant les éléments de la nature. La cuisson du clinker est l'étape qui contribue le plus aux problèmes environnementaux associés à la fabrication du ciment, à savoir la consommation d'énergie et les émissions dans l'air. En fonction des procédés de production mis en œuvre, les cimenteries rejettent des émissions dans l'air et produisent des déchets.

Dans de rares cas, des rejets dans l'eau sont possibles. Peuvent s'y ajouter des nuisances sonores et olfactives. Les principales substances polluantes émises dans l'atmosphère sont des poussières, des oxydes d'azote et du dioxyde de soufre. S'y ajoutent des émissions d'oxydes de carbone, de dibenzo-p-dioxines et de dibenzo-furannes polychlorés, de carbone organique total, de métaux, de chlorure d'hydrogène et de fluorure d'hydrogène.

Le type et le volume des polluants atmosphériques dépendent de plusieurs paramètres, notamment des intrants (matières premières et combustibles utilisés) ainsi que du type de procédé mis en œuvre. **(Strenger, 1998)**

Ces pollutions ne sont pas uniquement une agression contre l'environnement, mais peuvent être une source de gênes pour les riverains tout en constituant des sources de conflits potentielles. Cependant, cette panoplie de nuisances exige une étroite surveillance du fonctionnement des ateliers et la mise en œuvre de moyens capables de réduire les inconvénients, ainsi qu'une maintenance accomplie correctement. Il faut aussi remarquer que si la maîtrise des pollutions est assurée dans l'usine, le personnel employé travaillera dans de meilleures conditions, les qualités du produit et de la vie seront meilleures et l'environnement mieux respecté. **(Khelifa, Bada et Al Mukhtar, 2009)**

### 2.4 Types de polluants rejetés : origine et transformation

Les principales émissions sont celles des fours. Elles sont dues aux réactions physico-chimiques des matières premières et à la combustion des matériaux utilisés pour chauffer les fours. Les principaux constituants des gaz résiduels d'un four à ciment sont l'azote, le CO<sub>2</sub> (produit par la calcination du CaCO<sub>3</sub> et par la combustion), la vapeur d'eau (produite par la combustion et les matières premières) et l'excès d'oxygène. Dans tous les procédés, les matières solides progressent à contre-courant des gaz chauds de combustion. Cette circulation à contre-courant a un effet positif sur les émissions de polluants, car elle agit comme un lit fluidisé circulant intégré. De nombreux produits gazeux issus de la combustion ou de l'information des matières premières en clinker sont absorbés par le flux de matières premières circulant à contre-courant ou se condensent. Ce pouvoir

d'absorption des matières premières varie avec leur état physico-chimique qui lui-même dépend de leur position dans le four.

Il existe également des émissions de poussières canalisées provenant d'autres sources, comme les opérations de broyage et de manutention (matières premières, combustible solide et produit).

Tous les stocks extérieurs de matières premières et de combustibles solides ainsi que tous les systèmes de transport des matériaux, y compris ceux servant à charger le ciment, constituent un risque potentiel d'émissions de poussières diffuses qui peuvent être importantes si elles ne sont pas prises en compte correctement du point de vue technique, des problèmes de nuisance peuvent apparaître localement si elles ne sont pas réduites et maintenues à un niveau bas.

### **2.4.1 Composés gazeux**

Les polluants contenus dans les gaz de combustion dépendent de la nature du combustible utilisé (charbon, fuel ou gaz naturel) et de la composition du gisement (qui peut contenir également du soufre). Les principaux polluants gazeux dans l'industrie du ciment sont le SO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub>, le CO, et le CO<sub>2</sub>.

### **2.4.2 Les poussières (particules)**

La pollution par les poussières représente la forme de pollution la plus importante au niveau des cimenteries. La granulométrie des poussières est un facteur important. Les poussières fines restent en suspension dans l'atmosphère alors que les plus grosses sont appelées à se déposer sur le sol à différentes distances de la source selon leur taille.

#### **a) Emission de poussières canalisées**

Traditionnellement, les émissions de poussières (PM), en particulier les rejets des cheminées des fours, ont toujours été l'une des préoccupations environnementales principales pour la fabrication de ciment. Les principales sources d'émissions de poussières sont le procédé de préparation du cru (stations de broyage des matières premières), les unités de broyage et de séchage, la cuisson du clinker (fours et refroidisseurs à clinker), la préparation du combustible et l'unité de broyage du ciment (broyeurs à ciment). Que l'on utilise ou non des déchets, certains procédés secondaires d'une cimenterie sont également à l'origine d'émissions de poussières, par exemple :

- le concassage des matières premières,
- les convoyeurs et tapis élévateurs des matières premières,
- le stockage des matières premières et du ciment.

Dans tous ces procédés, des volumes importants de gaz circulent au travers de matériaux poussiéreux. Pendant le concassage, le broyage et l'expédition, une légère aspiration est maintenue au-dessus des équipements et ces sources de poussières sont normalement équipées de filtres à manches. La conception et la fiabilité des filtres électrostatiques et des filtres à manches modernes

permettent d'abaisser les émissions de poussières à des niveaux négligeables, inférieurs à 10 mg/Nm<sup>3</sup> (moyennes journalière).

### **b) Emission des poussières fines ( PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>)**

Les émissions de poussières de PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont composées de fines particules d'une granulométrie inférieure à 10 et à 2,5 microns de diamètre respectivement qui peuvent se présenter sous forme solide ou d'aérosols. Ces types de poussières fines peuvent provenir d'une série de réactions physico-chimiques de différents gaz précurseurs, comme les oxydes d'azote, le soufre et l'ammoniac qui réagissent pour former du sulfate, du nitrate et des particules d'ammonium nocifs pour la santé. Dans l'industrie du ciment, ce sont les procédés de cuisson et de refroidissement qui produisent les PM<sub>10</sub> ou PM<sub>2,5</sub>, ou les deux, bien que les procédés secondaires puissent également être à l'origine de la formation de fines poussières. En utilisant des filtres électrostatiques, environ 90 % des particules de poussière sont inférieures à 10 µm (PM<sub>10</sub>) et environ 50 % inférieures à 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>). Il est ainsi possible de réduire une grande partie des poussières fines en réduisant la concentration totale de poussières. Les usines équipées d'installations de dépoussiérage à haute efficacité n'émettent que relativement peu de poussières atmosphériques.

### **c) Emission de poussières diffuses**

Des émissions de poussières diffuses peuvent se produire au cours du stockage et du transport des matières premières et des combustibles solides, par exemple sur un lieu de stockage ouvert ou sur les convoyeurs de matières premières, ainsi qu'à la surface des routes à cause du transport. Les émissions qui se produisent lors du conditionnement et de l'expédition du clinker et du ciment peuvent aussi être importantes. Elles peuvent provoquer une augmentation locale du niveau des émissions de poussières alors que les rejets de poussières résultant de la mise en œuvre des procédés (en général, par des cheminées très élevées) peuvent affecter la qualité de l'air d'une zone beaucoup plus étendue. Les convoyeurs et les tapis élévateurs prennent la forme de systèmes clos si des matériaux poussiéreux sont susceptibles de libérer de la poussière. Les routes utilisées par les camions sont pavées et régulièrement nettoyées de manière à éviter les émissions de poussières diffuses. En outre, la pulvérisation d'eau sur le site permet d'éviter ces émissions. Des systèmes de stockage fermés sont utilisés dans la mesure du possible.

## **2.5 Impacts à l'échelle locale : risques pour la santé**

Les pollutions de proximité (près des sources d'émission) urbaines ou de type industriel présentent surtout des risques pour la santé, les impacts sur le patrimoine architectural et les biens n'étant cependant pas à négliger. Les effets liés à des pollutions élevées telles qu'on pouvait en rencontrer dans les années 1950/1970 ne se rencontrent plus actuellement.

**Exemple :** quatre mille décès furent attribués au smog londonien de 1954 où le taux de SO<sub>2</sub> a dépassé 2000 µg/m<sup>3</sup> (pour en savoir plus sur son ampleur, voir les valeurs guides actuelles préconisées par l’OMS dans le tableau ci-dessous).

<b>Polluant</b>	<b>Concentrations maximales (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Durée d'exposition</b>	<b>Principaux risques</b>
SO <sub>2</sub>	500 125 50	10 mn 24 h 1 an	Effets Cardiorespiratoires
CO	10 000 100 000	8 h 15 mn	Risques Cardiorespiratoires Et neurocomportementaux
CO <sub>2</sub> *	3 % 15 %	15 mn qq mn	risque de déficits et de maladies respiratoires
PM <sub>10</sub> PM 2.5**	50 µg/m <sup>3</sup> 40 µg/m <sup>3</sup> -	35 jours / an 1 an -	Les particules fines pénètrent en profondeur dans les poumons. Elles peuvent être à l’origine d’inflammations, et de l’aggravation de l’état de santé des personnes atteintes de maladies cardiaques et pulmonaires
O <sub>3</sub>	120	8 h	Risques respiratoires

**Tableau 2.1 : Valeurs guides de l’air ambiant recommandées par l’OMS**

\* L’air contient aujourd’hui environ 0,04 % de CO<sub>2</sub>

\*\* Pour les PM<sub>2,5</sub>, il n’y a pas de réglementation. L’Union européenne a fixé son objectif de qualité à 20µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur l’année. L’OMS recommande une valeur de 10 µg/m<sup>3</sup>.

## 2.6 L'observation des aérosols (poussières)

Plusieurs techniques d'observations sont utilisées, à savoir : les prélèvements in situ, la télédétection au sol et la télédétection spatiale. La télédétection est définie comme étant un ensemble de techniques de détection d'un objet à distance, donc sans contact physique avec cet objet. Ces techniques utilisent le rayonnement électromagnétique pour obtenir des informations concernant la Terre et l'atmosphère.

**La télédétection active** utilise des instruments comme le RADAR (Radio Detection and Ranging) et le LIDAR (Light Detection and Ranging) pour émettre des ondes électromagnétiques et analyser la composante rétrodiffusée de ces ondes sur l'objet étudié. Le domaine spectral va des micro-ondes au visible. On parle de **télédétection passive** lorsque le rayonnement mesuré provient d'une source naturelle. Selon les propriétés absorbante, diffusante ou émissive de la couche d'atmosphère, le rayonnement mesuré sera plus ou moins affecté. La télédétection de l'atmosphère utilise des instruments visant le ciel depuis le sol, l'atmosphère depuis l'espace (mesures satellitaires) ou encore depuis l'atmosphère elle-même (mesures aéroportées). Le domaine spectral va de l'ultraviolet au proche infrarouge pour les observations utilisant l'éclairage du système Terre – atmosphère par la source solaire extérieure. Le rayonnement terrestre utile est essentiellement l'infrarouge thermique (fenêtre 8 – 13  $\mu\text{m}$ ). La télédétection dans cette fenêtre spectrale concerne les divers éléments de ce système Terre – atmosphère comme la surface de la planète, les nuages, les aérosols et les gaz atmosphériques, utilisant comme source l'émission propre de ces divers éléments.

### 2.6.1 Les prélèvements in situ

Les prélèvements se font lors de mesures aéroportées ou de mesures ballon. Les prélèvements les plus simples se font au sol soit par aspiration de l'air soit par dépôt gravitationnel sur des filtres. Ces mesures sont les seules qui permettent de travailler directement sur les particules pour faire des mesures physicochimiques complètes. Cependant ces mesures sont encore assez rares et limitées dans l'espace et dans le temps (quelques jours à quelques semaines).

### 2.6.2 La télédétection au sol

Les aérosols peuvent être détectés depuis le sol par des mesures de visibilité (intégration horizontale) et par des mesures photométriques (intégration verticale). Ces techniques d'observation font appel à la télédétection passive (mesures réalisées par des photomètres solaires, réseau AERONET) ou active (mesures LIDAR (Light Detection and Ranging), réseau EARLINET). Ces mesures se sont rapidement développées depuis le milieu des années 90 et constituent maintenant une base de données inégalée pour la caractérisation des aérosols en milieu continental. L'amélioration des instruments, aussi bien passifs qu'actifs, permet en effet des mesures très

complètes de la concentration et de la distribution en taille des particules, ainsi que de leur distribution verticale. (VERGÉ-DÉPRÉ, 2007)



Figure 2.2 Lidar déployé à Tamanrasset pendant la campagne de mesure 2006

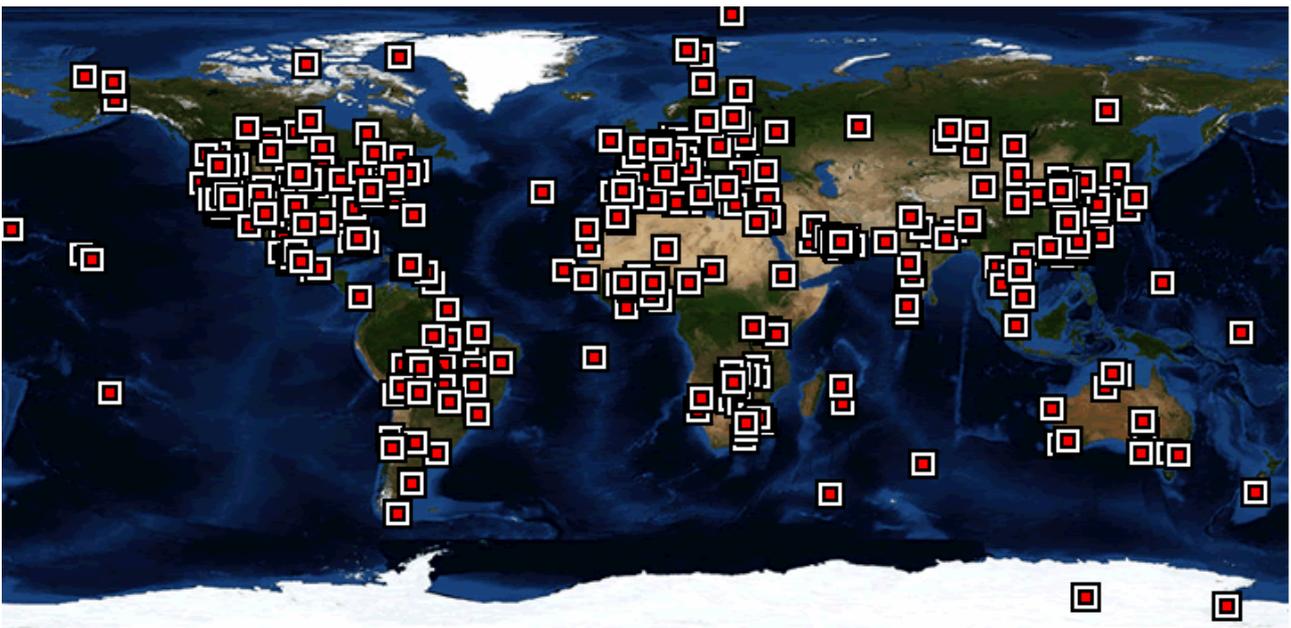
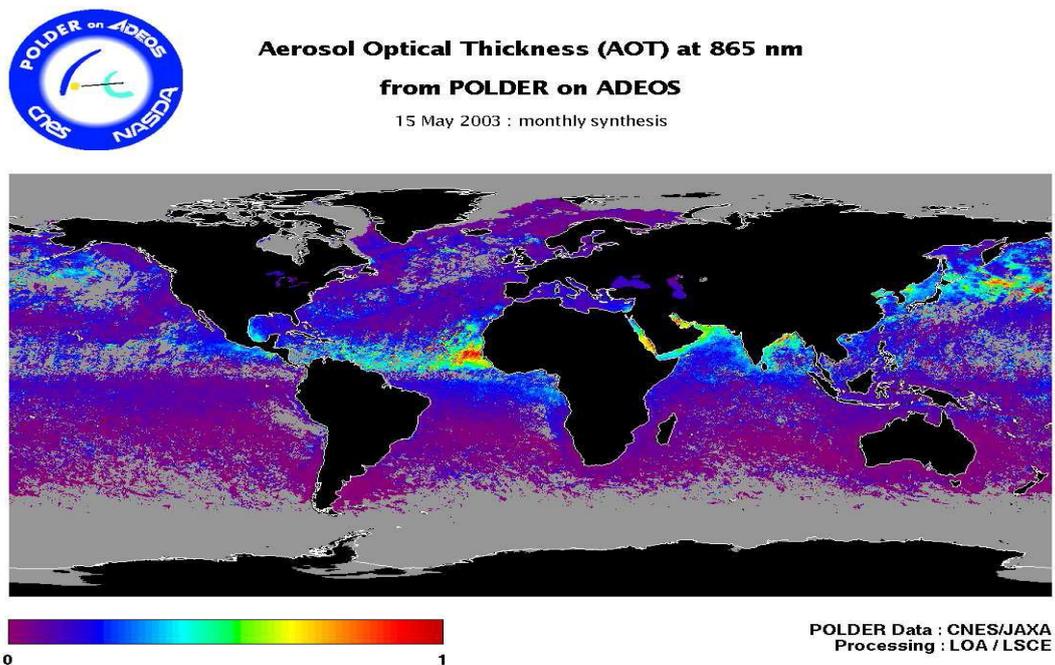


Figure 2.3 Carte globale des stations du réseau AERONET (source : nasa)

### 2.6.3 La télédétection spatiale

Les deux premières techniques d'observation ont le désavantage d'être plus restreintes dans le temps et l'espace que les mesures spatiales. Or les aérosols présentent une forte variabilité spatio-temporelle. Une observation globale depuis l'espace à l'aide d'instruments embarqués sur des satellites apporte donc une plus grande quantité d'informations, même si elles restent plus parcellaires et moins précises que celles fournies par les deux autres techniques.

Parmi les satellites de seconde génération dédiés à l'étude des aérosols, on peut citer ADEOS-2/POLDER (Polarization and Directionality of the Earth's Reflectance) lancé en 1996, Terra/MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) ou Terra/MISR (Multi-angle Imaging Spectroradiometer) tous deux sur la même plate-forme depuis 2000 et MSG (Meteosat Second Generation)/SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imagery) lancé en 2002. Les produits obtenus avec ces instruments sont plus élaborés et diversifiés que ceux provenant des satellites de première génération, mais ils couvrent des périodes de quelques années seulement.

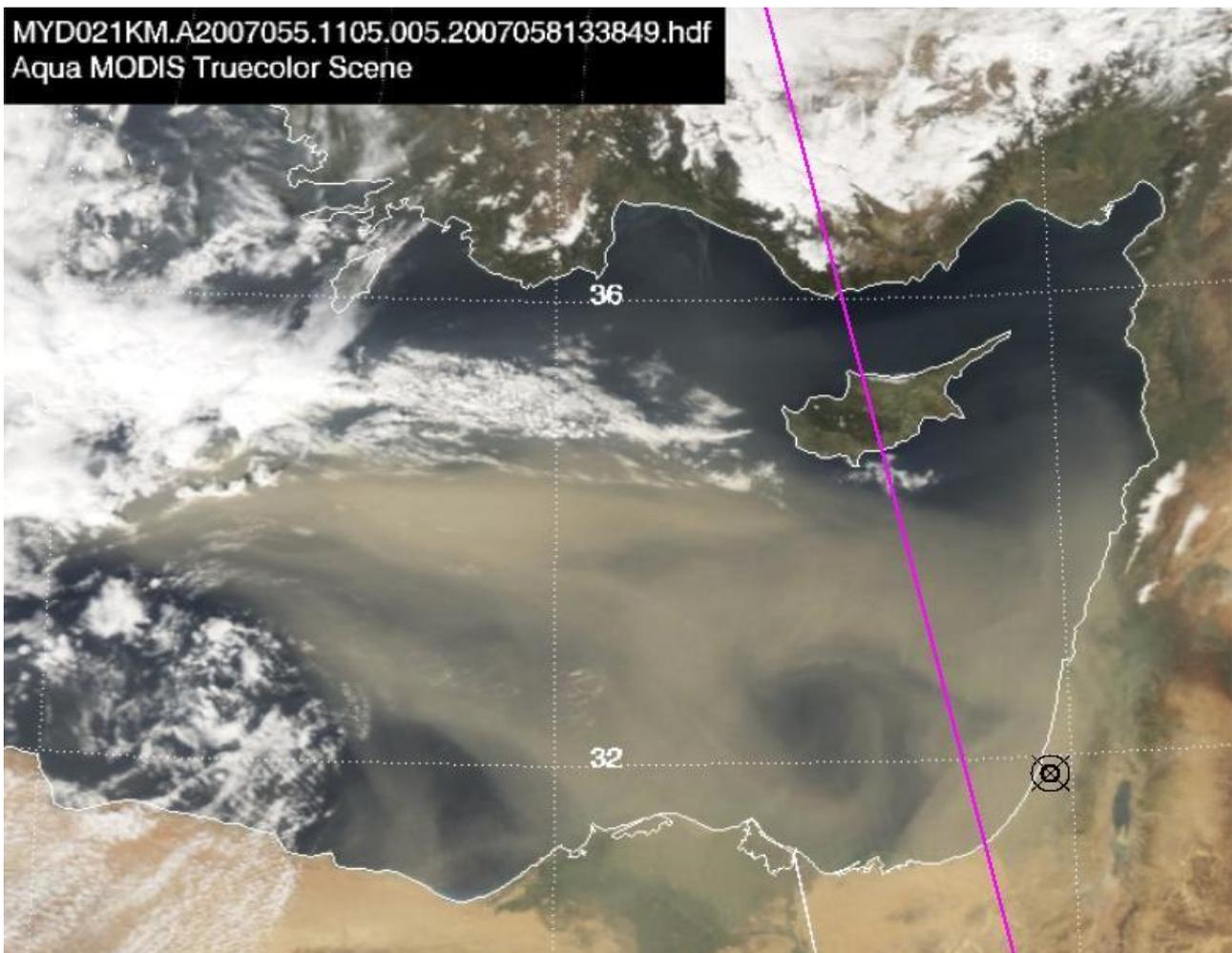


**Figure 2.4 Moyenne mensuelle (mois de mai) de l'épaisseur optique totale à 865 nm à partir de données de POLDER (source cnes)**

Le point commun de tous ces instruments est d'utiliser le soleil comme source de rayonnement. Le rayonnement solaire est réfléchi par la surface et diffusé (éventuellement absorbé) par les constituants atmosphériques (nuages et aérosols principalement) et collecté au niveau du satellite. Ce sont alors les caractéristiques spectrales, directionnelles ou polarimétriques de ce rayonnement qui permettent de séparer les signatures des aérosols des autres éléments du système (surface, atmosphère, nuage, ...).

Mais la Terre est peut être utilisée aussi comme source de rayonnement. Le domaine des longueurs d'onde émises par la surface et l'atmosphère terrestre est celui de l'infrarouge thermique (IRT). Le processus physique permettant de détecter l'aérosol est alors différent. Les particules absorbent (et éventuellement diffusent un peu) le rayonnement infrarouge provenant de la surface ou des niveaux de l'atmosphère situés en dessous, puis le réémettent dans toutes les directions. Une partie est donc réémise vers la surface, ce qui entraîne une diminution du rayonnement montant parvenant au satellite.

Cette diminution de la luminance par absorption est le principe utilisé par (Legrand et al, 2001) pour obtenir des cartes de poussières au-dessus du Sahara à partir des observations du canal IR de Météosat. Parmi les autres travaux utilisant l'IRT, on peut citer ceux de (Ackerman, 1989) et (Wald et al, 1998) pour les poussières désertiques, mais qui n'ont pas donné lieu à des climatologies étendues. (VERGÉ-DÉPRÉ, 2007)



**Figure 2.5 Image en vraie couleur à partir des mesures MODIS dans le visible d'un événement de poussières observé sur la partie Est du bassin méditerranéen le 24 Février 2007.**

## 2.7 Le cas de l'Algérie

Les problèmes de pollution atmosphérique auxquels l'Algérie est confrontée ont évolué depuis les années 1970-1980 en raison de changements notables intervenus dans les émissions de polluants dues à une forte industrialisation.

Les émissions des installations fixes de combustion ont en effet fortement augmenté par suite des rejets des installations, et ajoutons à cela une part importante du trafic automobile en hausse constante cette dernière décennie.

Des études approfondies sur la pollution globale en Algérie n'existent pas à notre connaissance. On trouve des études ou articles ponctuels qui ne concernent pratiquement que des quartiers d'agglomérations urbaines (Alger, Oran, Constantine, Bejaia, Annaba, etc.).

La pollution en Algérie est de plus en plus palpable en raison d'un trafic automobile conséquent, sans oublier les unités industrielles polluantes implantées en majorité ans le Nord du pays.

Le 05 Juin 2001 est la date de naissance du premier réseau de surveillance de la pollution atmosphérique à Alger, baptisé SAMASAFIA, il fait partie de l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable. Ces principales missions :

- La surveillance en continu des niveaux de pollution atmosphérique dans les principaux centres urbains.
- La détection des pics de pollution atmosphérique et les périodes durant lesquelles les seuils limites sont dépassés.
- L'établissement des prévisions de la qualité de l'air en utilisant des modèles de simulations.
- L'alerte des autorités durant les situations critiques.

L'Algérie est parmi les pays qui disposent des ses propres réseaux de surveillance de la qualité de l'air depuis 2002, mais il reste quelque peu insuffisant du fait qu'il se confine aux seules grandes agglomérations, donc peu de données à l'échelle nationale des concentrations particulières permettant d'évaluer les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble.

Un projet de loi prévoit toutefois la mise en place de sites de surveillance de la pollution atmosphérique dans les villes de plus de 500000 habitants, et pourront ainsi fournir un bilan quantitatif et qualitatif de la pollution urbaine.

Ainsi, cela nous incite à souligner l'intérêt et l'importance de disposer d'un réseau le plus dense possible car des niveaux élevés de matières particulaires induisent un excès d'effets sur l'environnement qui incluent le changement climatique, stress de l'écosystème, la santé humaine, la réduction de visibilité et la dégradation du bâti.

Le réseau mondial des photomètres (AEROSOL ROBOTIC NETWORK) existe depuis le milieu des années 1990 (Blida et Tamanrasset en font partie). Il est géré à la fois par la NASA et par le Laboratoire d'Optique Atmosphérique (LOA) à LILLE. Le site internet [www.aeronet.gsfc.nasa.gov](http://www.aeronet.gsfc.nasa.gov) permet de visualiser et de télécharger les mesures AERONET en choisissant la période et la localité. Les données sont transmises via les satellites géostationnaires toutes les heures à un centre de traitement de la NASA (Goddard Space Flight Center).



**Figure 2.6 Photomètre solaire**

# CHAPITRE 03

## Table des matières

3.1	La loi minière n° 01-10 promulguée le 03 juillet 2001 .....	43
3.1.1	L'Agence Nationale du Patrimoine Minier (ANPM) chargée de :.....	43
3.1.2	L'Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier (ANGCM) chargée de :.....	43
	La loi minière n° 01-10 du 3 juillet 2001 offre.....	44
3.2	Le décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 .....	44
3.2.1	Le contenu de l'étude d'impact sur l'environnement .....	44
3.2.2	L'enquête publique .....	45
3.3	Le décret exécutif n° 93-165 du 10 juillet 1993.....	45
3.4	Le décret exécutif n° 06-02 du 07 janvier 2006 .....	46
3.5	Le décret exécutif n° 06-138 du 15 avril 2006.....	47
3.6	Le décret exécutif n° 93-68 du 01 mars 1993 .....	47
3.7	La loi minière n° 14-05 du 24 février 2014.....	48
3.8	Le décret exécutif n° 04-95 du 01 avril 2004.....	49

### **3.1 La loi minière n° 01-10 promulguée le 03 juillet 2001**

Cette loi, s'inscrivant dans le contexte économique mondial gérant le secteur minier, a donc consacré :

- La séparation de la propriété du sous-sol de celle du sol,
- La distinction du rôle de l'état de celui de l'opérateur,
- L'élimination du pouvoir discrétionnaire,
- Le traitement égal de tous les opérateurs économiques,
- L'adoption d'une fiscalité spécifique et stable,
- La garantie des capitaux investis et des revenus,
- Les droits immobiliers distincts de la propriété du sol, de durée limitée, conférés par les titres miniers,
- La transférabilité et la cessibilité des titres miniers qui peuvent être hypothéqués,
- L'obligation de fournir une étude d'impact, un plan de gestion environnemental et des audits.

Deux agences minières furent créées et installées, pour mettre en œuvre la réforme :

#### **3.1.1 L'Agence Nationale du Patrimoine Minier (ANPM) chargée de :**

- L'attribution des titres miniers,
- La gestion du cadastre minier,
- La promotion des activités minières,
- L'adjudication des titres miniers,
- L'assistance aux investisseurs.

#### **3.1.2 L'Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier (ANGCM) chargée de :**

- La gestion du service géologique national,
- La surveillance technique des exploitations minières,
- Contrôler le respect de l'art minier,
- Contrôler la protection de l'environnement,
- Contrôler la réhabilitation des lieux,
- Contrôler la gestion et l'utilisation des explosifs,
- L'exercice de la police des mines,
- L'agrément des experts des mines.

**La loi minière n° 01-10 du 3 juillet 2001 offre**

- L'exonération de la taxe sur l'activité professionnelle (TAP),
- L'exonération de la TVA sur les biens spécifiques acquis ou importés pour l'exercice de l'activité minière,
- L'exonération des droits, taxes et redevances de douane pour les équipements, matériels et produits utilisés dans la recherche minière,
- L'exemption de tous impôts frappant les résultats de l'exploitation minière, hormis l'Impôt sur le bénéfice minier (IBM),
- L'amortissement des frais de prospection et d'exploration en cas d'exploitation,
- Des abattements sur la redevance minière en fonction du type d'exploitation, des efforts de recherche et de la situation de l'exploitation,
- La garantie de transfert du capital investi et des revenus qui en découlent,
- Le report des pertes sur dix (10) ans,

**3.2 Le décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990**

Ce dernier, relatif aux études d'impact sur l'environnement, a pour objet de déterminer les conditions et les modalités d'application du titre V de la loi 83-03. Il définit l'étendue d'application de l'EIE (Etudes d'Impact sur l'Environnement) à tous les travaux, aménagements ou ouvrages qui, par leur importance, constituent une atteinte à l'environnement tout en établissant une liste limitative. Ce décret précise également le contenu de l'EIE et définit les procédures d'enquête publique et les modalités de prise en considération et d'approbation de l'EIE.

**3.2.1 Le contenu de l'étude d'impact sur l'environnement**

L'article 5 du décret 90-78 précise que le contenu de l'étude d'impact doit être en relation avec l'importance des projets concernés et avec leurs incidences prévisibles. A cet effet, il doit comprendre successivement :

- Une analyse de l'état initial du site et de son environnement portant, notamment, sur les richesses naturelles et les espaces agricoles, forestiers, maritimes, hydrauliques ou de loisir, affectés par les travaux, aménagements ou ouvrages ;
- Une analyse des effets sur l'environnement et en particulier sur les sites et paysages, la faune, la flore, les milieux naturels et les équilibres biologiques, sur la commodité du voisinage ou sur l'hygiène et la salubrité publique ;
- Les raisons pour lesquelles le projet présenté a été retenu ;

- Les mesures envisagées par le maître de l'ouvrage ou le pétitionnaire pour supprimer, réduire et compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement, ainsi que l'estimation des dépenses correspondantes.

### **3.2.2 L'enquête publique**

L'étape de consultation publique a été réglementée dès la promulgation du décret. L'article 9 autorise le ou les Walis concernés d'instruire des arrêtés prescrivant la publicité de l'étude d'impact dans le but d'inviter les tiers, personnes physiques ou morales, à faire connaître leurs opinions sur les travaux, aménagements ou ouvrages envisagés. A cet effet, le Wali désignera un commissaire pour consigner (durant une période de deux mois) sur un registre les avis, les vœux et les réclamations écrites ou verbales qui peuvent être portés à sa connaissance. La consultation du rapport de l'EIE est également possible sur demande de la partie intéressée.

### **3.3 Le décret exécutif n° 93-165 du 10 juillet 1993**

Réglementant les émissions atmosphériques de fumées, gaz, poussières, odeurs et particules solides des installations fixes.

Selon les visas de ce décret, il ressort que ce texte est promulgué sur le rapport du ministre de l'éducation nationale, et en application des dispositions du chapitre I du titre III de la loi N°83/03.

Dans l'article 03, il est stipulé que : les installation fixes doivent être conçues, construites, exploitées ou utilisées de manière à ce que leurs émissions dans l'atmosphère de gaz, de fumées, de poussières, d'odeurs ou de particules solides ne dépassent pas à la source les normes de concentration telles que fixées par le règlementation en vigueur.

La question est de mise, vers quelles normes nous renvoie ce texte. Surtout que dans les visas du présent décret, il n'existe aucune référence relative à ce type de normes.

Les autres articles de ce décret parlent des modalités de contrôle de ces installations, et les pouvoirs donnés au wali territorialement compétent et à l'inspecteur de l'environnement, ainsi que les sanctions administratives.

Cependant, l'article 08 énonce qu'à titre transitoire, le ministre chargé de la protection de l'environnement fixe par arrêté les délais à l'issue desquels, les installations fixes existantes à la date de publication du présent décret doivent se conformer aux dispositions de l'article 03 du présent décret.

### 3.4 Le décret exécutif n° 06-02 du 07 janvier 2006

Définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique : Ce décret introduit pour la première fois les notions de seuil d'information et seuil d'alerte, il les définit comme suit :

**Seuil d'information** : Un niveau de concentration des substances polluantes dans l'atmosphère au delà duquel une exposition de courte durée a des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles.

**Seuil d'alerte** : Un niveau de concentration des substances polluantes dans l'atmosphère au delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou pour l'environnement.

La surveillance de la qualité de l'air est confiée à l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable, article 04. Les valeurs limites, ainsi que les objectifs de qualité, sont fixées sur une base moyenne annuelle, et comme suit :

#### 1- Dioxyde d'azote :

Objectif de qualité : 135 microgrammes/Nm<sup>3</sup>

Valeur limite : 200 microgrammes/Nm<sup>3</sup>.

#### 2- Dioxyde de soufre :

Objectif de qualité : 150 microgrammes/Nm<sup>3</sup>

Valeur limite : 350 microgrammes/Nm<sup>3</sup>.

#### 3- Ozone :

Objectif de qualité : 110 microgrammes/Nm<sup>3</sup>

Valeur limite : 200 microgrammes/Nm<sup>3</sup>.

#### 4- Particules fines en suspension :

Objectif de qualité : 50 microgrammes/Nm<sup>3</sup>

Valeur limite : 80 microgrammes/Nm<sup>3</sup>

Les seuils d'information, ainsi que les seuils d'alerte, sont fixés sur une base moyenne horaire, et comme suit :

#### 1- Dioxyde d'azote :

Seuil d'information : 400 microgrammes/Nm<sup>3</sup>

Seuil d'alerte : 600 microgrammes N/m<sup>3</sup>

#### 2- Dioxyde de soufre :

Seuil d'information : 350 microgrammes/Nm<sup>3</sup>

Seuil d'alerte : 600 microgrammes N/m<sup>3</sup>

#### 3- Ozone :

Seuil d'information : 180 microgrammes/Nm<sup>3</sup>

Seuil d'alerte : 360 microgrammes N/m<sup>3</sup>

#### **4- Particules fines en suspension :**

Seront fixés par arrêté conjoint du ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement et du ministre de l'activité engendrant le type de particule considérée.

Le ou les walis concernés prennent toutes les mesures visant à protéger la santé humaine et l'environnement ainsi que les mesures de réduction et/ou de restriction des activités polluantes, lorsque ces seuils d'information et les seuils d'alerte sont atteints ou risquent de l'être.

### **3.5 Le décret exécutif n° 06-138 du 15 avril 2006**

Réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle :

L'article 03 stipule qu'en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de 05 ans, les limites des rejets atmosphériques prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets atmosphériques émanant de ces installations.

Pour les installations pétrolières le délai est de (07 ans) conformément à la loi des hydrocarbures.

L'article 05 mentionne que les rejets atmosphériques doivent être identifiés et captés aussi près que possible de leurs sources d'émission, tandis que l'article 06 parle des points de rejet atmosphériques, qui doivent être en nombre aussi réduit que possible.

D'autres prescriptions techniques relatives aux rejets atmosphériques sont détaillées dans le texte de ce décret. Idem pour les modalités d'autocontrôle et de contrôle externe effectué par les services concernés.

### **3.6 Le décret exécutif n° 93-68 du 01 mars 1993**

Le présent décret a pour objet de préciser les modalités d'application de la taxe sur les activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement en application des dispositions de l'article 117 de la loi n° 91-25 du 18 décembre 1991 portant loi de finances pour 1992. Les activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement sont celles définies dans la nomenclature des installations classées prévues par le décret n° 88-149 du 26 juillet 1988 et sont affectées d'un coefficient multiplicateur compris entre deux et six.

La loi de Finance 2000 du 25 décembre 1999, dans son article 54 détermine le taux de la taxe annuelle, qui est fixé comme suit :

- **120 000 DA**, pour les installations classées dont une activité au moins est soumise à autorisation du ministre.
  - **90 000 DA**, pour les installations classées dont une activité au moins est soumise à autorisation du Wali.
  - **20 000 DA**, pour les installations classées dont une activité au moins est soumise à autorisation du P/APC.
  - **9 000 DA**, pour les installations classées dont une activité au moins est soumise à Déclaration.
- Pour les installations n'employant pas plus de deux personnes les taux de base sont réduits à :
- **24 000 DA** pour les installations classées soumises à autorisation du ministre.
  - **18 000 DA** pour les installations classées soumises à autorisation du Wali.
  - **3 000 DA** pour les installations classées soumises à autorisation du P/APC.
  - **2 000 DA** pour les installations classées soumises à déclaration.
- Avec le même coefficient multiplicateur.
- la définition de ces activités est définie par voie réglementaire.

### **3.7 La loi minière n° 14-05 du 24 février 2014**

Elle s'applique aux activités d'infrastructures géologiques de recherche et d'exploitation des substances minérales ou fossiles.

Ce nouveau texte qui vient amender celui de 2001 ne concerne pas les activités de recherche et d'exploitation des eaux des gisements hydrocarbures liquides ou gazeux et de schistes combustibles pétrolifères et gaziers.

L'exploitation de ces substances font l'objet de dispositions législatives spécifiques mais, néanmoins, restent soumises à l'obligation de dépôt légal de l'information géologique prévue dans le texte.

Cette loi accorde des incitations fiscales aux investisseurs potentiels en exonérant de la TVA sur les équipements et les produits destinés à cette activité. Le même régime est accordé aux services fournis dans le cadre d'études et les opérations de location alors que l'exonération de droits, impôts et taxes douanières est accordée lors d'importation d'équipements et de produits destinés à une utilisation permanente et directe dans ces activités.

La législation et la réglementation sur la promotion de l'investissement sont également appliquées aux investissements d'exploitation minière lorsqu'elles sont destinées à la création ou l'extension des capacités.

Par ailleurs, en vertu de ce texte les prérogatives des autorités publiques relatives aux activités d'infrastructures géologiques de recherche et d'exploitation minières sont exercées par le ministère

de l'Energie. Cette nouvelle loi vise à restructurer les deux agences minières existantes en leur accordant de nouvelles attributions. Elles sont remplacées par des institutions dénommées l'Agence géologique d'Algérie et l'Agence nationale des activités minières.

La première institution est chargée de la gestion des infrastructures géologiques et la seconde va contrôler et gérer les infrastructures minières. Dans ce cadre, l'Etat s'appuie désormais dans son action sur l'administration chargée des mines, et de deux agences minières instituées en vertu de cette loi et dotées de la personnalité juridique et de l'autonomie financière.

Il s'agit de l'agence du service géologique de l'Algérie ASGA, chargée de la gestion de l'infrastructure géologique et de l'agence nationale des activités minières l'ANAM, chargée de la gestion du patrimoine minier et du contrôle des activités minières.

L'ASGA, est chargée notamment de l'acquisition, la validation, la conservation et la restitution des connaissances géologiques de base, de l'élaboration du programme national d'infrastructure géologique de l'analyse et la prévention des risques géologiques hors aléas sismiques.

L'ANAM pour sa part est chargée de promouvoir toute action de nature à contribuer au développement minier du pays, de gérer le cadastre minier, délivrer, renouveler, suspendre et retirer des permis miniers, sous le contrôle du ministre.

En outre, nul ne peut obtenir un permis minier s'il ne possède les capacités techniques et financières nécessaires pour mener à bien ses travaux et assumer les obligations découlant de cette loi.

Pour ce qui est de la durée de ce permis, la loi souligne qu'il ne peut excéder une année et son titulaire peut demander au maximum deux prorogations de six mois chacune, s'il a respecté les obligations lui incombant en vertu du permis de prospection de la période précédente.

Sont soumis à une taxe superficielle annuelle les titulaires de permis, une taxe qui ne remplace en aucune manière le loyer que le propriétaire du terrain ou ses ayants droit peuvent réclamer. Cette loi vise "à créer les conditions idoines pour la relance du secteur à travers un financement suffisant pour l'exploration de nouveaux gisements miniers exploitables commercialement.

### **3.8 Le décret exécutif n° 04-95 du 01 avril 2004**

L'axe principal de ce décret est la fixation des règles de l'art minier applicables aux travaux d'exploitation des substances minérales réalisés à ciel ouvert ou en souterrain, ainsi qu'aux dépendances légales des ces exploitations.

Ces dernières sont des méthodes d'exploitation ou des techniques à respecter dans les activités minières réalisées à ciel ouvert ou souterrain.

**A propos des exploitations à ciel ouvert :**

- Le projet de développement et d'exploitation doit être élaboré par un expert géologue agréé et doit comprendre essentiellement les paramètres suivants :
  - Caractéristiques géo/hydrogéologiques du gisement et géométriques des ouvrages miniers.
  - Méthodes d'exploitation.
  - Effectifs et qualification de personnel.
  - Mesures de sécurité et d'hygiène.
  - Un plan d'exploitation (pistes d'accès...).
- En cas d'exploitation industrielle ou petite ou moyenne exploitation minier, le projet sera complété par d'autres mesures, notamment, des études de stabilité des sols, évacuation des eaux et un programme de soutènement et de contrôle du front.
- Afin de préserver la sécurité du travail, le titulaire du titre minier doit déposer à l'ANGCM, les consignes d'exploitation suivantes :
  - Disposition des engins par rapport au front et conditions de déplacement.
  - Nature, importance et disposition des charges d'explosifs.
  - Conditions de circulation des engins et personnel.
  - Conditions de mise en œuvre d'un plan de secours d'urgence.

# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

Les pollutions de l'air sont variées, les effets sont très nombreux puisque les polluants peuvent influencer la santé humaine, affecter la faune et la flore qui ont subi des altérations profondes du biotope à la suite de modifications défavorables du milieu naturel.

L'analyse des gaz et aérosols et de leur répartition dans la région d'étude nous montre que le fonctionnement des carrières a des conséquences négatives sur l'environnement. Même si la quantité dans l'atmosphère diminue avec la distance à partir des carrières. On constate que les aires polluées sont importantes, leur répartition est fonction des vents dominants qui apportent ainsi les poussières vers les agglomérations proches. Cette pollution provoque des modifications climatiques locales et constitue un danger potentiel.

Cette exploitation sans protection contre les pollutions génère ainsi un déséquilibre de l'écosystème régional. Ce qui nécessite une intervention rapide afin de prendre en compte cette situation nouvelle, et corriger les effets néfastes de cette dynamique anthropisée.

---

# RESUME

---

**Résumé :**

Les problèmes environnementaux liés aux projets d'exploitation de carrières, notamment la fabrication de ciment portent essentiellement sur les émissions des gaz à effet de serre ainsi que les aérosols projetés vers l'atmosphère, autrement dit ' La pollution atmosphérique particulaire'.

Ainsi, l'industrie cimentière est très émettrice de GES et de matière particulaire (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>...), ce qui provoque des impacts néfastes sur l'environnement et la santé humaine.

L'axe principal de notre travail, est de traiter d'une manière aussi bien que possible, le problème de la pollution atmosphérique liée à l'utilisation de carrières à ciel ouvert, et spécialement la fabrication de ciment dans le Nord-ouest de l'Algérie, tout en montrant, les différents gaz et aérosol émises, les procédures de fabrication, méthodes de détection, en particulier par satellite, ainsi que les lois et les textes juridiques qui régissent notre sujet de recherche.

---

**Abstract :**

The environmental problems caused by the exploitation of the cement manufacturing quarries concern essentially the greenhouse gases and aerosols, in other words “The air pollution”.

So, the cement industry is very emitting of the GES and particulate matter (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>...) which causes negative impact on the environment and human health.

The main axis of our work is to deal as well as possible with the problem of air pollution linked to the use of surface quarries, especially the manufacture of cement in the Nord-ouest of Algeria, while showing the various gases and aerosols emitted, the manufacturing procedures, detection methods, in particular by satellite as well as the laws and legal texts which govern our subject of research.

## الملخص:

إن المشاكل البيئية الناجمة عن استغلال المحاجر و خاصة صناعة الإسمنت تتمحور أساسا حول غازات الاحتباس الحراري و الهباء الجوي أو بالأحرى التلوث الجوي.

ومن هنا، فإن صناعة الإسمنت تعد من أكثر الصناعات إنبعاثا للغازات الدفيئة و الجسيمات الدقيقة، مما يؤدي إلى تأثيرات سلبية على البيئة و صحة الإنسان.

يتمثل المحور الأساسي لهذا البحث في معالجة مشكل التلوث الجوي المتعلق بإستعمال محاجر تصنيع الإسمنت في الهواء الطلق شمال غرب الجزائر، مع تبيان الغازات و الهباء الجوي المنبعث منها، مراحل التصنيع، طرق الإستشعار المستعملة بصفة خاصة، الأقمار الصناعية، و أخيرا القوانين و النصوص المتعلقة بهذا البحث.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Abderrahim, H.** : Apport du sondeur à laser dans l'étude de la pollution par les aérosols, *Thèse de Doctorat, 2012.*

**Abderrahim, H.** : Mesures météorologiques et environnement : réalisation d'un détecteur de pollution, *Mémoire de Magister, 2005.*

**Aichoune, M. et Boukraa, N.** : Etude d'impact de la cimenterie de Sour El-Ghozlane sur la Diversité Floristique, *Mémoire de Master, 2019.*

**Al barakeh, Z.** : Suivi de pollution atmosphérique par système multi-capteurs - méthode mixte de classification et de détermination d'un indice de pollution, *Thèse de Doctorat, 2012.*

**Allag, F.** : Contribution à l'étude de la dispersion des polluants, *Thèse de Doctorat, 2016.*

**Aliouche, M.** : Exploitation des substances utiles à ciel ouvert et impact sur l'environnement ; Etude de cas dans l'Est Algérien (Les gisements de Djebel Salah, Région de Constantine), *Mémoire de Magister, 2008.*

**Amrouni, L. et Zetchi, Z.** : Essai de contamination de *Xanthoria parietina* et *Rynchosyrium ripariodes* par la poussière émise par la cimenterie de Sour El Ghozlane Bouira, *Mémoire de Master, 2017.*

**Basly, L.** : Télédétection pour la qualité de l'air en milieu urbain, *Thèse de Doctorat, 2004.*

**Belarbi, N.** : Etude de la pollution atmosphérique par les particules et les métaux lourds (Cr, Zn, Cd.....) au niveau de la ville d'Alger, *Thèse de Doctorat, 2019.*

**Belhadj, H.** : Détection de la pollution atmosphérique à l'aide du lichen *Xanthoria parietina* (L.) bio-accumulateur d'éléments traces métalliques dans le centre urbain de la ville de Sidi Bel Abbes (Algérie occidentale). *Thèse de Doctorat, 2015.*

**Boualla, N.** : Etude de l'influence de l'ajout de la pouzzolane sur les caractéristiques physico- chimiques des ciments, *Mémoire de Licence, 2011.*

**Bouderbala, C. et Makhdoumi, H.** : Etude de l'influence de l'ajout de la pouzzolane sur les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du ciment/cas de la Cimenterie de Hamma Bouziane, Constantine, *Mémoire d'ingénieur, 2019*

**Boussahel, S.** : Analyse des retombées particulaires aux alentours de la cimenterie d'Ain-El-Kebira, *Mémoire d'ingénieur, 2007.*

**Boussouara, K.** : Etude des émissions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs à combustion interne, *Thèse de Doctorat, 2010.*

**Chrit, M.** : Formation des aérosols organiques et inorganiques en Méditerranée, *Thèse de Doctorat, 2018.*

**Derriche, R.** : Utilisation des données de la télédétection pour les prévisions météorologiques, *Mémoire de Magister, 2014.*

**Diop, O.** : Détection de nuages de poussière dans les images Météosat à l'aide des attributs de textures et de la fusion de segmentations : application à la zone sahélienne du continent africain, *Thèse de Doctorat, 2007.*

- Ghazi, S.** : Approche Multi-agents pour la simulation de la pollution de l'air, *Thèse de Doctorat, 2017.*
- Guillaume, B.** : Les aérosols : émissions, formation d'aérosols organiques secondaires, transport longue distance – Zoom sur les aérosols carbonés en Europe-, *Thèse de Doctorat, 2006.*
- Hache, E.** : Apport de la bande de Chappuis pour la mesure de l'ozone depuis un satellite géostationnaire pour la surveillance de la qualité de l'air, *Thèse de Doctorat, 2014.*
- Hadjoudj, M. et Khalfallah, A.** : L'impact des ckd sur l'environnement (cimenterie de lafarje à msila), *Mémoire de Master, 2016.*
- Hammouda, S.A. et Mehdi, A.** : Contribution a l'étude des ressources minérales dans les monts des tracas (calcaire, sable et argile) Etat actuel, perspectives et impact sur l'environnement, *Mémoire de Master, 2011.*
- Kherratia, S.** : Etude d'Impact sur l'Environnement Etude De Cas du Carrière et Cimenterie à Ain CHEGGAG, *Mémoire de Master, 2012.*
- Lachatre, M.** : Etude de la pollution atmosphérique en chine par modélisation et télédétection, *Thèse de Doctorat, 2020.*
- Madoui, Y.** : Recyclage d'un déchet industriel (poussière de By-pass), *Mémoire de Master, 2019.*
- Makhdoumi, H.** : Etude d'impacts d'ajout pouzzolanique au ciment sur l'environnement /cas de la Cimenterie de Hamma Bouziane, Constantine, *Mémoire de Master, 2019.*
- Nobileau, D.** : Caractérisation, détection et quantification des aérosols désertiques à partir des observations satellitaires de la couleur des océans, *Thèse de Doctorat, 2005.*
- Ouzid, S.** : Mesure des polluants atmosphériques générés par la société des ciments de Tébessa, *Mémoire de Master, 2017.*
- Rahhal, F.** : Modélisation et simulation de la pollution atmosphérique. Le cas de la région d'Alger, *Thèse de Doctorat, 2015.*
- Rebouh, S.** : Impact de la pollution de l'air provoquée par la cimenterie Tahar djouad sur la sante publique et le cadre bâti (cas de hamma bouziane), *Mémoire de Magister, 2015.*
- Seffar, M. et Benhaj Djillali, S.** : Impacts des émissions atmosphériques de la cimenterie de Meftah sur les écosystèmes environnants, *Mémoire de Master2, 2015.*
- Selloum, I.** : Impact environnemental de la fabrication du ciment/cas de la cimenterie -AIN TOUTA-Batna, *Mémoire de Master, 2019.*
- Silvestre, A.** : Caractérisation de l'aérosol industriel et quantification de sa contribution aux PM<sub>2,5</sub> atmosphérique, *Thèse de Doctorat, 2016.*
- Tedjar, L.** : Impact des rejets (unités industrielles : cimenterie et BCR) sur l'environnement dans la région d'Ain EL Kebira (Sétif), *Thèse de Doctorat, 2012.*

**Terrouche, A.** : caractérisation de la pollution de l'air par les particules et les éléments métalliques dans la ville de Constantine, *Thèse de Doctorat, 2016.*

**Thouren, L.** : Modélisation dynamique multi-échelle de la pollution atmosphérique en milieu urbain, *Thèse de Doctorat, 2017.*

**Valari, M.** : Modélisation de la pollution atmosphérique urbaine et impact sur la santé, *Thèse de Doctorat, 2009.*

**Vendel, F.** : Modélisation de la dispersion atmosphérique en présence d'obstacles complexes : application à l'étude de sites industriels, *Thèse de Doctorat, 2011.*

**Vergé-Dépré, G.** : Télédétection multispectrale des poussières désertiques dans l'infrarouge thermique au-dessus de l'Afrique à partir de MSG/SEVIR, *Thèse de Doctorat, 2007.*

**Yahia, M.** : Contribution à la valorisation d'un déchet de cimenterie (ciment hydraté) pour l'élaboration d'un nouveau ciment, *Mémoire de Master, 2016.*

**Zeghdoudi, A. et Haouam, A.** : Pollution des villes algériennes, cas d'étude EL MA LABIODH – TEBESSA, *Mémoire de Master, 2016.*

**Zenata, K.** : La pollution urbaine dans la wilaya d'Oran, *Mémoire de Magister, 2008.*

### **Cadre législatif**

Loi n°01-10 du 03 juillet 2001, modifiée et complétée, portant loi minière.

Loi n° 14-05 du 24 février 2014, modifiée et complétée, portant loi minière.

Décret exécutif n° 04-95 du 1er avril 2004, fixant les règles de l'art minier.

Décret exécutif n° 93-68 du 1er mars 1993 relatif aux modalités d'application de la taxe sur les activités polluantes ou dangereuses pour l'environnement.

Décret exécutif n° 93-165 du 10 juillet 1993, réglementant les émissions atmosphériques de fumée, gaz, odeurs et particules solides des installations fixes.

Décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement.

Décret exécutif n° 06-02 du 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.

Décret exécutif n° 06-138 du 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.