



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine 1  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

**Département :** Biologie et Ecologie Végétale      **قسم :** البيولوجيا و علم البيئة النباتية

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Ecologie et Environnement

**Spécialité :** Ecologie Fondamentale et Appliquée

---

## **Evaluation des émissions atmosphériques de la cimenterie Sigus (Wilaya D'Oum El Bouaghi).**

---

**Présenté et soutenu par :**

**Le : 25 /07/2021.**

**Ameur Chaima**

**Jury d'évaluation:**

**Présidente du jury:** BAZRI Kamel Eddine (MCA - UFM Constantine 1)

**Rapporteur:** TOUATI Laid (MCA - UFM Constantine 1)

**Examinatrice:** GANA Mohamed (MCB - UFM Constantine 1)

**Année universitaire : 2020- 2021.**

**Table des matières**

**Dédicaces**

**Remerciements**

**Résumé**

**Abstract**

**المخلص**

**Liste d'abréviations**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Introduction..... 1**

**Chapitre 1 : Synthèse bibliographique**

1.1. Généralités sur la pollution atmosphérique ..... 5

1.1.1. Définition de l'atmosphère..... 5

1.1.2. Les couche de l'atmosphère..... 5

1.1.3. Composition de l'atmosphère..... 5

1.1.4. Définition de la pollution..... 6

1.1.5. Définition de la pollution atmosphérique ..... 6

1.1.6. Les principaux polluants atmosphériques et leur classification..... 7

1.1.7. Nature et origine de la pollution atmosphérique..... 7

1.1.7.1. Les sources naturelles ..... 8

1.1.7.2 Sources anthropique..... 8

1.1.8. Les différents types de polluants..... 9

1.1.8.1 Les polluants primaires..... 9

1.1.8.2. Les polluants secondaires..... 9

1.1.9. Les différents polluants atmosphériques..... 10

a. Le monoxyde de carbone CO..... 10

b. Les particules fines..... 10

d. Le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> ..... 11

e. Les oxydes d'azote NOx.....	11
1.1.10. Facteurs météorologiques influençant la dispersion des polluants.....	12
1.1.10.1. Vent.....	12
1.1.10.2. La température.....	12
1.1.10.3. L'humidité .....	12
1.1.10.4. Précipitation.....	13
1.1.11. Fonctionnement du système atmosphérique.....	13
1.1.11.1 Emission, transport, dégradation et dépôt.....	13
1.1.11.2 Modèles de chimie de transport.....	14
1.1.12. Impacts de la pollution atmosphérique sur l'homme et l'environnement.....	14
1.1.12.1 Effets sur l'environnement.....	14
a. Les pluies acides.....	14
b. L'effet de serre.....	14
1.1.12.2. Impact sur la santé.....	15
1.1.12.3. Impact sur les matériaux .....	15
1.2. Les polluants générés par les cimenteries.....	16
1.2.1 Les polluants gazeux.....	16
a. Le dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) .....	16
b. Les oxydes d'azote (NOx) .....	17
c. Le monoxyde de carbone (CO) .....	17
d. Les poussières .....	17
1.3. Normes algériennes relatives à la qualité de l'air.....	17

## **Chapitre 2 : Matériel et méthodes**

2. 1. Présentation de l'établissement d'accueil (Cimenterie Sigus) .....	20
2. 1.1. Historique.....	20
2. 1.2. Localisation.....	20
2. 1.3. Climat et végétation.....	21
2. 1.4. Hydrographie.....	21

2. 1.5. Organisation de la direction générale.....	21
2. 1.6. Fabrication de ciment .....	21
2. 2. Durée et lieu de stage.....	27
2. 3. Échantillonnage et Analyse au niveau de la cimenterie .....	27
2. 4. Système d'analyse des gaz.....	27
2.4.1. Description du système d'analyse multi gaz EL3020.....	29
2.4.2. Sonde de détection des poussières Opacimètre.....	30
2.5. Analyse des émissions en SO <sub>2</sub> et en poussières.....	31
2.5.1 Description du système d'analyse des gaz testo 350.....	31
2.5.2 Les appareils d'analyses des rejets de poussières-Dust Emission Monitor (DEM100) .....	32
2.6. Traitement des données.....	33

### **Chapitre 3 : Résultats et discussion**

3.1 . Les émissions en NO <sub>x</sub> .....	36
3.2. Les émissions en SO <sub>2</sub> .....	37
3.3. Les émissions en CO.....	38
3.4. Les émissions en poussière.....	39
<b>Conclusion et perspectives</b> .....	42
<b>Références bibliographiques</b> .....	43

### **Remerciements**

Nous tenons tout d'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Un grand Merci à notre enseignante Mr Touati Laid pour tout le temps qu'il nous a consacré, aucune expression ne saurait exprimer notre reconnaissance et notre respect.

A tout le personnel de la société de la cimenterie de Sigus.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury, docteur Bazri Kamel Eddine et docteur Gana Mohamed d'avoir acceptés d'évaluer ce travail.

A toute personne qui nous aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

A tous nos professeurs, nos camarades de la promotion 2020/2021.

## **Dédicace**

Avec mes sentiments de gratitude les plus profonds, je dédie ce modeste travail :

**A mon cher père :**

Non seulement tu as été un bon père, me procurant ta tendresse et ta bienveillance, mais tu as été pour moi l'exemple à suivre. Mille fois merci PAPA pour ton amour et tes efforts, pour que je puisse accomplir mon but. J'implore Dieu, tout puissant, de vous accorder une bonne santé, une longue vie et beaucoup de bonheur.

**A ma chère mère :**

Aucune dédicace très chère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement. Vous avez guetté mes pas, et m'avez couvé de tendresse et ta bénédiction m'a été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Puisse Dieu, tous puissant vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

**A mon mari :**

Je le dis merci beaucoup pour son aide et sa présence.

A mon cher frère et a mon cher fils : "Mohamed et oussaid "

Que Dieu vous protège.

**A mes adorables sœurs : "Hind", "Yousra" et " Anfel"**

Pour l'amour qu'elles me réservent. Je leurs souhaite une vie pleine du bonheur et de succès.

**A mon encadreur Mr Laid Touati :**

Pour sa disponibilité, sa confiance, son encadrement, son expérience et ses conseils qu'il nous a généreusement prodigués.

**A mes tantes Fatiha, Souhaila, Aicha, Nadia, Atika :**

Que dieu leur donne une longue vie.

**A mes chères cousines** "Hanane ", " choubeila ", "Roufeida" Et enfin, à tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

**Ameur chaima.**

## **Résumé**

Ce travail a pour objectif l'évaluation de la qualité des émissions de gaz et de poussières des différentes installations de la cimenterie Sigus (Oum El Bouaghi). Les résultats de la période de surveillance qui s'est étalée de Janvier 2021 à Juin 2021 démontrent que les taux en SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> quantifiés à l'émission au niveau des rejets de la cimenterie sont en dessous du seuil de tolérance fixé par la réglementation algérienne. Pour les poussières les taux enregistrés pour les trois trimestres sont en dessous des valeurs guides (30 mg/ Nm<sup>3</sup>

et 50 mg/ Nm<sup>3</sup>) et ceci quelque soit l'emplacement du filtre et quelque soit la période d'observation. Contrairement, aux SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et la poussière, les taux en CO posent des problèmes en dépassant les seuils tolérables. Ce travail mérite d'être poursuivi, en s'intéressant à l'utilisation des indicateurs biologiques pour la biosurveillance de l'environnement

**Mots clés :** Pollution atmosphérique, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, poussières, cimenterie Sigus, Oum El Bouaghi.

## **Abstract**

The objective of of-study i was based on the assessment of the quality of gas and dust emissions from the various installations of the Sigus cement plant (Oum El Bouaghi). The results of the monitoring period which spanned from January 2021 to June 2021 show that the SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> rates quantified at the emission at the level of the releases from the cement plant are below the tolerance threshold set by Algerian

regulations. . For dust, the rates recorded in the three quarters are below the thresholds set by Algerian regulations (30 mg / Nm<sup>3</sup> and 50 mg / Nm<sup>3</sup>) and this whatever the location of the filter and whatever the observation period. Unlike SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and dust, CO levels are problematic. The latter by exceeding the tolerable thresholds. This work deserves to be continued, or focusing on biological indicators for environmental biomonitoring.

**Key Words:** Atmospheric pollution, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, Dust, sigus cement plant, Oum El Bouaghi.

## ملخص

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو تقييم انبعاث الغاز و الغبار في الغلاف الجوي من مختلف مرافق تصنيع الاسمنت سيقوس ولاية أم البواقي خلال الفترة الممتدة من يناير 2021 إلى يونيو 2021 حيث أظهرت هذه الأخيرة أن معدلات ثاني أكسيد الكبريت و أكسيد النيتروجين تتوافق بشكل عام مع القوانين المعمول بها لدى الحكومة الجزائرية بالنسبة للغبار أظهرت أنه خلال الثلاثي الأول و الثاني و الثالث

كان التلوث تحت الحد المسموح به على عكس ثاني أكسيد الكبريت و أكسيد النيتروجين و الغبار فان انبعاث تركيزات أكسيد الكربون تطرح مشاكل . كما يستحق هذا العمل المتابعة المستمرة للمؤشرات البيولوجية من اجل المراقبة الحيوية للبيئة.

**الكلمات المفتاحية:** التلوث الهوائي, الغبار, مصنع الاسمنت سيقوس, أم البواقي,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $SO_2$

## Liste des abréviations

% : Pourcentage

°C : Degré Celsius

K° : Kelvin

Ar: Argone

As: Arsenic

Be: Beryllium

Bk2: Broyeur ciment 1

Bk3 : Broyeur ciment 3

C : Carbone

CaCO<sub>3</sub> : Carbonates de calcium

Cd : Cadmium

CETIM : Centre d'Etudes et de services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de construction

Cu : cuivre

CH<sub>4</sub> : Méthane

CO : Monoxyde de carbone

COV : Composés Organiques Volatils

CO<sub>2</sub>: Dioxyde de Carbone

Déc : Décembre

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : l'oxyde ferrique

Fév : Février

g/Nm<sup>3</sup> : Gramme par nanomètre cube

GES : gaz a effet de serre

G.I.C.A : Groupe Industriel des Ciment D'Algérie

H : Hydrogène

H<sub>2</sub>O : Eau

H<sub>2</sub>S : Sulfure d'hydrogène

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Acide sulfurique

Ha: Hectare

Hg: Mercure

HNO<sub>3</sub> : acide nitrique

HR : Humidité relative

Jan : Janvier

Km : Kilomètre

Km/h : Kilomètre par heure

m: Mètre

mg/m<sup>3</sup> : Milligramme par mètre cube

mg/Nm<sup>3</sup> : Milligramme par nanomètre cube

Mm: Millimètre

N : Azote

N<sub>2</sub> : Nitrogène

N<sub>2</sub>O : Peroxyde d'azote

NA : Norme Algérienne

NH<sub>3</sub>: Ammoniac.

NH<sub>3</sub><sup>+</sup>: Ammonia ions.

NH<sub>4</sub>: Ammonium

Nm: Nanomètre

NO: Monoxyde d'azote

NO<sub>2</sub>:Dioxyded'azote

Nov: Novembre

NO<sub>x</sub>: Oxydes d'azote

O<sub>2</sub>: Oxygène

OMS : Organisation mondiale de la santé.

Oct : Octobre

OH : Ion hydroxide

Pb : plomb

PM : Particulate matter

ppm : Partie par million

S : Soufre

SCS : société de ciment Sigus

SiO<sub>2</sub> : Silice

Sn : Etain

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

SO<sub>3</sub> : Trioxyde de soufre

SO<sub>x</sub> : Oxyde de soufre

Zn : Zinc

## **Liste des tableaux**

**Tableau 01** : Composition de l'atmosphère

**Tableau 02** : Les principaux polluants atmosphériques et leur classification

**Tableau 03** : Classification des sources naturelles de polluants atmosphériques.

**Tableau 04** : Classification des sources artificielles de polluants atmosphériques.

**Tableau 05** : Les principaux polluants émis par la Cimenterie sigus.

**Tableau 06** : Normes algériennes de la qualité de l'air à l'émission.

**Tableau 07 :** Description de système de gaz (Analyse du gaz de procédé SCS)

**Tableau 08 :** Données statistiques des paramètres mesurés.

**Tableau 09 :** Variations trimestrielle des taux en CO émises.

**Tableau 10 :** Variations trimestrielles des taux en poussières émises.

### **Liste des figures**

**Figure 1 :** Localisation géographique de la cimenterie sigus.

**Figure 2 :** Production du ciment

**Figure 4:** Le four rotatif

**Figure 5 :** Calendrier de la caractérisation des rejets de la cimenterie sigus.

**Figure 6 :** système de contrôle en ligne des mesures de gaz

**Figure 7:** Système d'échantillonnage de gaz.

**Figure 8:** EL3020

**Figure 9 :** Système de mesure Opacimètre

**Figure 10 :** Testo 350

**Figure 11:** Appareil de contrôle des rejets de poussières-DEM100

**Figure 12 :** Variations spatio- temporelles des émissions moyennes en NOx durant la période d'étude.

**Figure 13 :** Variations spatio- temporelles des émissions moyennes en SO<sub>2</sub>

**Figure 14 :** Variations trimestrielle des émissions moyennes en CO

**Figure 15 :** Variations trimestrielle des émissions de poussières

# **Introduction**

## Introduction :

On appelle facteur de changement tout élément naturel ou d'origine humaine qui induit directement ou indirectement un changement dans un écosystème. Les facteurs de changement qui modifient les services des écosystèmes et le bien-être humain ont une portée qui varie entre les échelles locale et mondiale et un impact soit immédiat soit à plus long terme. Cela les rend difficile à la fois à évaluer et à gérer (Green fact, 2005).

La pollution atmosphérique et spécialement celle émise par les cimenteries est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants susceptibles d'être présents dans l'atmosphère. Le ciment est l'un des plus anciens matériaux utilisés par l'homme; il est lui-même un élément polluant et aussi l'un des plus employés car il permet de répondre aux besoins fondamentaux que constituent le logement ou les infrastructures, pour la société civile. C'est pourquoi, ce qu'on appelle le Développement Durable est une démarche inscrite dans les stratégies des groupes mondiaux dont nous faisons partie. La recherche de l'équilibre entre les trois pôles qui le constituent (environnemental, social, économique) est un impératif qui s'exerce au quotidien, une contrainte, certes, mais également une source d'innovation (Rapport environnemental de l'industrie cimentière belge 2006).

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 économique. Cependant le processus de fabrication du ciment engendre des incidences environnementales comme les émissions de gaz ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  et poussières) et diffusion, surtout la concentration et dispersion continues dans l'air provoque des maladies respiratoires. La cimenterie Sigus produit du ciment avec la voie sèche. La production de clinker à l'aide d'un four rotatif nécessite une température élevée de chaleur qui peut atteindre  $1200^\circ\text{C}$ . Cette cimenterie utilise différents gaz de combustion au niveau des fours de cuisson : le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), l'oxyde d'azote ( $\text{NO}_x$ ), le monoxyde de carbone ( $\text{CO}$ ), le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ).

Le travail présenté dans ce mémoire a pour objet :

- La détermination ou l'identification des polluants atmosphériques générés par la cimenterie Sigus, wilaya d'Oum El Bouaghi.
- Faire un suivi analytique (quantitatif) de ces polluants à savoir : les  $\text{NO}_x$ , les  $\text{SO}_x$ , les  $\text{CO}_x$  et les poussières en utilisant des analyseurs spécifiques présents au sein de la cimenterie.

On a structuré notre mémoire en 3 chapitres :

- On commence par une introduction.

- Le premier chapitre sera consacré à une synthèse bibliographique sur la pollution atmosphérique, les différents polluants, leurs sources et impacts sur l'environnement et sur la santé humaine et spécialement ceux engendrés par la cimenterie.
- Dans un deuxième chapitre, on s'intéresse à la présentation de l'établissement de la cimenterie Sigus : sa localisation, son climat et sa végétation et les différents procédés de fabrication du ciment. Dans ce même chapitre, sont décrits les différents matériaux et méthodes utilisés pour la surveillance des gaz et des poussières émis par cette industrie.
- Le troisième chapitre sera consacré aux résultats obtenus et leur discussion.
- Enfin on termine ce travail par une conclusion et quelques perspectives pour d'éventuelles études au niveau de cette cimenterie.

# **Chapitre 1 : Synthèse bibliographique**

## **1.1. Généralités sur la pollution atmosphérique :**

### **1.1.1. Définition de l'atmosphère :**

C'est l'enveloppe qui entoure la terre, en dehors de la vapeur d'eau, quatre gaz composent la majeure partie de l'atmosphère : le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>, 0.04%), l'argon (Ar, 0.93%), l'oxygène (O<sub>2</sub>, 20.95%) et l'azote (N<sub>2</sub>, 78, 08%). D'autres gaz et particules dont ceux qu'on appelle polluants, entrent dans la composition de l'atmosphère en beaucoup plus petites quantités. Les deux gaz atmosphériques les plus importants pour l'homme et les autres organismes, sont l'oxygène et le dioxyde de carbone. Pendant la photosynthèse, les algues, les plantes et certaines bactéries utilisent le dioxyde de carbone pour synthétiser des sucres et d'autres molécules organiques ; ce processus produit de l'oxygène (**Raven et al. 2008**).

### **1.1.2. Les couches de l'atmosphère :**

En se basant sur les variations de température, on distingue la troposphère jusqu'à 15 km (la température baisse), la stratosphère jusqu'à 50 km (la température s'élève et peut dépasser celle du sol) puis la mésosphère (nouvelle baisse) et enfin la thermosphère au-delà de 100 km (la température peut dépasser 1000 °C).

- **La Troposphère** : c'est la région de l'atmosphère en contact avec le sol. Elle est le siège des hydrométéores (nuage et précipitation) et d'une grande turbulence de l'air.
- **La Stratosphère** : c'est la région de l'atmosphère comprise entre la tropopause et une altitude d'environ 50 km. La proportion des gaz constants dans l'air reste même que dans la couche inférieure, mais la densité continue à diminuer.
- **L'ionosphère** : les phénomènes les plus importants au-dessus de 50 km sont la dissociation des molécules d'oxygène (et d'hydrogène dans la haute atmosphère) en atome et l'ionisation des molécules ou des atomes c'est-à-dire la production d'électrons libres aux dépens de ces particules (**Huft, 2001**).

### **1.1.3. Composition de l'atmosphère :**

La composition de l'atmosphère terrestre au voisinage du sol est bien connue. L'air représente environ 98 % de la masse de cette atmosphère, le surplus est constitué d'eau, condensée ou sous forme de vapeur, et d'aérosols divers (Tableau 1). La composition volumétrique des principaux composants de l'air est remarquablement stable jusqu'à environ 80 km d'altitude (**Huber, 2007; Ramade, 2011**).

### **1.1.4. La pollution :**

C'est une dégradation ou une altération de l'environnement, en général liée à l'activité humaine par diffusion directe ou indirecte de substances chimiques, physiques ou biologiques qui sont potentiellement toxiques pour les organismes vivants ou qui perturbent de manière plus ou moins importante le fonctionnement naturel des écosystèmes. Outre ses effets sur la santé humaine et animale.

**Tableau 1 : Composition de l'atmosphère (Ramade, 2011).**

Constituants	Volume en pourcentage
Azote	78,01
Oxygène	20,95
Argon	0,93
CO <sub>2</sub>	0,038
Néon	1,8 10 <sup>-3</sup>
Hélium	5,24 10 <sup>-4</sup>
Méthane	1,7 10 <sup>-4</sup>
Krypton	1,14 10 <sup>-4</sup>
N <sub>2</sub> O	5.10 <sup>-5</sup>
Hydrogène	5.10 <sup>-5</sup>
CO	1.10 <sup>-5</sup>
O <sub>3</sub>	10 <sup>-6</sup> à 4.10 <sup>-6</sup>
NH <sub>3</sub>	1.10 <sup>-6</sup> à 3.10 <sup>-6</sup>
Peroxyde d'azote	1.10 <sup>-7</sup>
SO <sub>2</sub>	2.10 <sup>-6</sup> à 1.10 <sup>-6</sup>

### **1.1.5. Définition de la pollution atmosphérique :**

Selon la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996, la pollution atmosphérique est définie comme: "l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire

aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives (**Magdeleine, 2019**).

Le Conseil de l'Europe dans sa déclaration de mars 1968 propose cette définition : "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 ou une nuisance ou une gêne (**Capdevéil, 2016**).

### 1.1.6. Les principaux polluants atmosphériques et leur classification :

Selon Popescu et al. (1998), les polluants émis peuvent être classés en fonction de leur nature et de leurs degrés de dispersion en : gaz ou substances inorganiques, gaz ou substances organiques, et aérosols (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Les principaux polluants atmosphériques et leur classification (**Popescu et al 1998**).

<b>Gaz ou substances inorganiques</b>	<b>Gaz ou substances organiques</b>	<b>Les aérosols</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Les dérivés oxygénés du soufre (dioxyde et trioxyde du soufre, acide sulfurique).</li> <li>-Les dérivés oxygénés d'azote (monoxyde et dioxyde d'azote).</li> <li>-Monoxyde et dioxyde de carbone.</li> <li>-Autres polluants inorganiques (dérivés du plomb, hydrogènesulfuré, ammoniac, chlore et chlorure, fluor et fluorure).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Les hydrocarbures, les aldéhydes, les cétones et les composés organiques du soufre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Particules de matières solides (poussières et fumées)</li> <li>-Particules de matière liquide (brouillard, gouttelettes).</li> </ul>

### 1.1.7. Nature et origine de la pollution atmosphérique :

La pollution atmosphérique est produite par deux catégories de sources (naturelles et artificielles), les substances émises peuvent être de nature physique (radioactivité, énergie, etc.), chimiques (gaz, particules, aérosols, etc.) ou biologiques (pollens, acariens, moisissures...)

#### 1.1.7.1. Les sources naturelles :

Parmi les sources naturelles (Tableau 3), on peut mentionner les poussières du sol, les plantes et les volcans, et il s'agit des sources induisant des rejets de substances polluantes comme les particules organiques et minérales, les graines de pollen, et les gaz mais qui ne sont pas liées à l'activité humaine. (Matei et Pascu, 1974).

### 1.1.7.2. Sources anthropique :

La pollution atmosphérique est devenue un problème pour les collectivités humaines à cause de l'existence des sources artificielles des polluants, qui en se multipliant et se développant, constituent la principale origine des menaces qui présent sur la population et l'écologie humaine. (tableau 4) (Matei et Pascu, 1974).

Les industries, les transports, le chauffage, les engrais chimiques et les pesticides utilisés en agriculture, les produits en aérosol ou le tourisme sont des exemples de sources anthropiques de pollution.

**Tableau 3 :** Classification des sources naturelles de polluants atmosphériques (Matei et Pascu, 1974).

Catégorie	Source	Agent polluant
Source naturelle	Le sol	Particules organiques de nature végétale et animale, gaz (CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> ), oxydes métalliques, silice.
	Les plantes	Graines de pollen, spores de moisissures et levures.
	Les feux de forêt	NO <sub>x</sub> , CO, Particules fines.
	Les volcans	Particules, gaz (SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S)

**Tableau 4 :** Classification des sources artificielles de polluants atmosphériques (Matei et Pascu, 1974).

Catégorie	Source	Agent polluant
Source artificiel industriel	Les usines thermo énergiques	Poussières de charbon, cendres, fumée...etc. Gaz (CO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S)

	Les usines de métallurgie non ferreuse	Poussières, vapeurs et oxydes métalliques de : Pb, Zn, Cu, Be, As, Sn, Cd, Hg.
	Fabrique de ciment	Poussières de matière première, combustibles...etc.
	Usine chimiques inorganique	Evacuation de gaz (SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> )
Incineration de résidus	Incineration des ordures	Particules et fumée...
	Véhicules	CO, CO <sub>2</sub> hydrocarbure, NO <sub>2</sub> , Pb, particules de fumée, aldéhyde
	Locomotives	Fumée, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , CO...etc.
Transport	Avion	Vapeurs, hydrocarbures, oxydes d'azote
Ménage	Installations de chauffage individuelles et collectives	Cendre, fumée, CO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub>

### 1.1.8. Les différents types de polluants :

#### 1.1.8.1. Les polluants primaires :

Sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission. Par exemple, le CO est un polluant primaire (Schutz, 1995).

#### 1.1.8.2. Les polluants secondaires :

Sont des polluants qui ne sont pas émis directement en tant que tels, mais qui résultent de la transformation physico-chimique des polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère. Par exemple, l'ozone résulte de réactions chimiques impliquant notamment les oxydes d'azote et les COV (polluants primaires) (Lacour, 2001).

### 1.1.9. Les différents polluants atmosphériques :

## a. Monoxyde de carbone CO :

Le monoxyde de carbone est un gaz incolore, inodore et inflammable, il résulte d'une combustion incomplète (par manque d'oxygène) de toute matière organique : pétrole, gaz, charbon, bois. Il est aussi présent dans les rejets de certains procédés industriels (agglomération de minerai, incinération de déchets, etc.).

Les émissions de monoxyde de carbone proviennent à 43 % environ du trafic routier bien que ce polluant ne représente en moyenne que 6 % des gaz d'échappement d'un véhicule diesel en émet 25 fois moins. Il est produit lorsque le moteur tourne au ralenti (stop, feux, embouteillage, tunnels, garages, etc.) et par les appareils de chauffage mal réglés (mauvais tirage ou obstruction de l'arrivée d'air).

Ce composé est très toxique mais, comme il s'oxyde dans l'air en CO<sub>2</sub>, il ne constitue un danger que dans les locaux fermés. C'est un gaz plus lourd que l'air qui touche principalement les animaux domestique et les enfants. Une augmentation de la concentration en milieu confiné peut rapidement conduire à une perte de connaissance et au décès (**Sahli, 2018**). Les valeurs limites pour la protection de la santé (recommandations de l'OMS) sont de l'ordre :

- < 10 mg/m<sup>3</sup> pendant 8 heures
- < 30 mg/m<sup>3</sup> pendant 1 heure
- < 60 mg/m<sup>3</sup> pendant 30 minutes
- < 100 mg/m<sup>3</sup> pendant 15 minutes

## b. Les particules fines :

Polluant particulaire, poussières ou aérosols désignent toutes les particules de matière solides ou liquides en suspension dans l'air, à l'exception de tous les hydrométéores (gouttelettes d'eau nuageuse, cristaux de glace dans les nuages, gouttes de pluie, grêlons et flocons de neige).

Il s'agit d'un mélange complexe de petites particules solides et de gouttelettes liquides. C'est le seul polluant atmosphérique pour lequel aucune définition chimique n'est utilisée du fait de la vaste gamme de composition physico-chimique de ces dernières. En fonction de la température et de l'hygrométrie, certaines particules en suspension peuvent contenir une quantité importante et variable d'humidité et de composés volatils. D'autre particules, entre autres les sels d'ammonium, se dissocient quand la température augmente et l'air devient plus sec (**Sahli, 2018**).

On considère différentes tailles de particules qui sont déterminées en fonction du diamètre :

- Les particules totales (PM) : l'ensemble des particules dans l'air
- Les particules fines (PM10) : les particules de diamètre inférieur à 10 µm

- Les particules très fines (PM<sub>2,5</sub>) : les particules de diamètre inférieur à 2,5 µm
- Les particules ultrafines (PM<sub>1</sub>) : les particules de diamètre inférieur à 1 µm
- Les nanoparticules (PM<sub>0,1</sub>) : les particules de diamètre inférieur à 0,1 µm qui sont considérées comme les particules les plus nocives pour la santé.

### **C. Les Composés Organiques Volatiles(COV) :**

Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse. Les hydrocarbures appartiennent aux COV et on fait souvent l'amalgame à tort. Ceci est sans doute dû au fait que l'on exprime souvent les COV en hydrocarbures totaux (notés HC), en équivalent méthane ou propane, ou par rapport à un autre hydrocarbure de référence. Il est fréquent de distinguer séparément le méthane (CH<sub>4</sub>) qui est un COV particulier, naturellement présent dans l'air, des autres COV pour lesquels on emploie alors la notation COVNM (Belhadj, 2015).

#### **d. Le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> :**

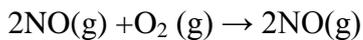
C'est un gaz toxique qui se transforme en anhydride sulfurique (SO<sub>3</sub>) en présence d'oxygène et en acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en présence d'eau. Il est essentiellement formé par la combustion d'énergies fossiles contenant des dérivés soufrés : charbon, pétrole, et à plus faible teneur le gaz naturel (60 % du SO<sub>2</sub> est émis par le charbon, 30 % par les fiouls lourds de 10% par d'autres sources). Les émissions de dioxyde de soufre dépendent de la teneur en soufre des combustibles. Elles sont principalement libérées dans l'atmosphère par les cheminées des usines (centrales thermique, les raffineries, les grandes installations de combustion. . .) ou par les chauffages. Quelques procédés industriels émettent également des oxydes de soufre (production de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, production de pâte à papier, etc.). Même la nature émet des produits soufrés (volcans).

Le SO<sub>2</sub> est un gaz irritant oculaire, cutané et respiratoire. Il provoque des pharyngites, bronchites chroniques et peut déstabiliser un patient atteint d'asthme ou d'une bronchopathie chronique. C'est un des principaux polluants responsables de l'augmentation de la mortalité par maladies respiratoires. Le SO<sub>2</sub>, au contact de l'humidité de l'air se transforme en acide sulfurique et est alors responsable de la formation des pluies acides (Sahli, 2018).

#### **e. Les oxydes d'azote NO<sub>x</sub> :**

Les oxydes d'azote regroupent le monoxyde d'azote (NO) gaz incolore et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) gaz roux et toxique. Ces oxydes d'azote proviennent comme le SO<sub>2</sub> essentiellement dans toutes les installations de combustions à hautes températures de combustibles fossiles (charbon, pétrole . . .), de quelques procédés industriels (production d'acide nitrique, cimenterie, incinérateurs, fabrication d'engrais, etc.).

Le monoxyde d'azote (NO) est produit lors des combustions à haute température (1200 °K). Il se transforme en présence d'oxygène en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). 10% des NO<sub>2</sub> sont émis directement par combustion, mais 90 % sont émis par réaction d'oxydation dans l'air (**Sahli, 2018**) :



### **1.1.10. Facteurs météorologiques influençant la dispersion des polluants :**

La météorologie est un paramètre influençant très fortement la qualité de l'air, par de multiples facteurs. En effet, les différents polluants émis au niveau du sol s'accumulent ou se dispersent dans l'atmosphère sous l'action du vent, de la température, de précipitation et de l'humidité.

#### **1.1.10.1. Vent :**

Le vent est un facteur essentiel dans la dispersion horizontale des émissions polluantes.

Il intervient tant par sa direction pour orienter les panaches de fumées et les masses d'air polluées que par sa vitesse pour diluer et entraîner les émissions. La propagation des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent. En été, un vent fort (41 à 60 km/h) permet la dispersion de l'ozone, ce qui améliore la qualité de l'air. (**Atmo France, 2019**).

Le vent est un facteur essentiel dans la dispersion horizontale des émissions polluantes. Il intervient tant par sa direction pour orienter les panaches de fumées et les masses d'air polluées que par sa vitesse pour diluer et entraîner les émissions. La propagation des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent. En été, un vent fort (41 à 60 km/h) permet la dispersion de l'ozone, ce qui améliore la qualité de l'air. (**Atmo France, 2019**).

#### **1.1.10.2. La température :**

La température agit sur la chimie des polluants. Le froid diminue la volatilité de certains gaz et donc limite leur dispersion tandis que la chaleur et le rayonnement solaire favorisent les processus photochimiques notamment la formation de l'ozone troposphérique (**Michelot, 2014**).

#### **1.1.10.3. L'humidité :**

Lorsqu'on parle d'humidité, on a recours à la notion d'humidité relative (HR), que l'on définit comme la quantité de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air donné par rapport au maximum qu'il pourrait contenir à une température et une pression données. L'humidité relative va de 0 à 100%. L'air est sec quand l'humidité relative est inférieure à 35%. L'air est moyennement humide entre 35 et 65%, et l'air est humide à plus de 65% d'humidité relative. A l'intérieur d'un même espace, l'HR varie en fonction des changements de température : elle augmente si la température baisse et diminue si elle s'élève (**Bergeron, 2016**).

#### **1.1.10.4. Précipitation :**

Les pluies, neiges, conduisent toujours à une diminution de la pollution atmosphérique. Deux phénomènes de lessivage contribuent à cette diminution :

- Incorporation des gaz dans les nuages « in cloud »,
- Lessivage des particules sous le nuage « Under cloud ».

Les gaz solubles (c'est le plus souvent le cas) se dissolvent dans les gouttes d'eau des nuages (incorporation), en tombant la pluie entraîne avec elle les polluants mécaniquement vers le sol. Les particules et certains gaz sont lessivés (abattement) (**Finlayson, 1986**).

#### **1.1.11. Fonctionnement du système atmosphérique :**

Le système atmosphérique débute par émission, dans la biosphère, de gaz et de particules à partir des sources naturelles ou anthropiques. Ces substances sont transportées par des processus divers, tout en réagissant entre elles durant ce transport. Elles finissent par se déposer et quitter le système atmosphérique.

##### **1.1.11.1 Emission, transport, dégradation et dépôt :**

La distribution spatio-temporelle des concentrations atmosphériques des polluants dépend de trois facteurs: (**Masclat, 2005**)

- La dynamique atmosphérique qui est un processus mécanique permettant le transport, le mélange, la dispersion et la dilution des polluants dans l'atmosphère,
- La dégradation chimique ou photochimique des polluants sous l'effet des radicaux de l'atmosphère ou de l'ozone. Ainsi, les polluants primaires se transforment en polluants secondaires,
- Les dépôts qui permettent d'éliminer les polluants de l'atmosphère. Il existe deux types de dépôts :
  - Le dépôt sec dû à la pesanteur ; les polluants se déposent sur le sol, sur les plantes et sur les feuilles des arbres,
  - Le dépôt humide dû au lessivage des polluants par les pluies, les neiges et les brouillards.

##### **1.1.11.2. Modèles de chimie de transport :**

Selon Masclat (2005), la détermination et la connaissance des espèces primaires et secondaires, la connaissance des profils verticaux et horizontaux de leurs concentrations, permettent de développer des modèles atmosphériques à diverses échelles :

- Echelle locale pour le développement des panaches de polluants et pour l'atmosphère urbaine,
- Echelle régionale dite méso-échelle pour la connaissance de la pollution sur une zone de 100 à 1000 km et pour décrire la pollution transfrontière,
- Echelle globale ou planétaire pour les modifications climatiques.

## **1.12. Impacts de la pollution atmosphérique sur l'homme et l'environnement :**

Bien que la concentration des polluants soit très faible dans l'atmosphère, ces substances ont des conséquences préjudiciables sur la santé humaine, l'environnement, les biens matériels (**Lacour, 2001**).

### **1.1.12.1. Effets sur l'environnement :**

Les polluants atmosphériques interviennent dans de nombreuses problématiques

Environnementales, qui ont de multiples effets parmi eux :

#### **a. Les pluies acides :**

Les gouttes de pluie contiennent un certain nombre d'espèces trace, certaines acides, d'autres basiques, qui proviennent des aérosols et qui déterminent le pH des précipitations. On considère que des pluies non polluées ont un pH de 5-6, même si des pH beaucoup plus faibles peuvent se rencontrer dans certains milieux naturels. Les pluies acides est un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluie, neige, grêle, brouillard). On parle généralement de pluie acide pour une valeur de pH inférieure ou égale à 5. Cette acidité est causée principalement par le rejet du dioxyde de soufre et des oxydes d'azote dans l'atmosphère, conséquence de la combustion de matière fossile. Lorsque ces polluants se mélangent à la vapeur d'eau de l'atmosphère, ils sont convertis en acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) et nitrique ( $HNO_3$ ). En effet, les acides organiques et de bases comme l'ammoniac ( $NH_3$ ) et le carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ) jouent aussi un rôle dans la détermination du pH des précipitations. Les effets de retombées acides sont variés.

#### **b. L'effet de serre :**

La Terre et spécialement sa surface absorbent le rayonnement solaire. Cette énergie est ensuite redistribuée par les circulations atmosphériques et océaniques et renvoyées dans l'espace à de plus grandes longueurs d'onde (infrarouge). En moyenne annuelle et pour la Terre dans son ensemble, l'énergie solaire arrivant au sommet de l'atmosphère ( $342 \text{ watts/m}^2$ ) est plus ou moins égale à la somme de l'énergie absorbée puis rayonnée par la Terre ( $235 \text{ watts/m}^2$ ) (atmosphère, continents, océans) et de l'énergie solaire réfléchie par le globe terrestre ( $107 \text{ watts/m}^2$ ) (**Melieres, 2002**).

Les principaux gaz à effet de serre (GES) sont : la vapeur d'eau ( $H_2O$ ), le méthane ( $CH_4$ ), le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) et le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ), contribuent à piéger l'énergie renvoyée, augmentant la

température moyenne de la terre. En effet, ce sont les gaz à structure polyatomique (au moins trois atomes) qui retiennent le rayonnement infrarouge au contraire des molécules diatomiques (99 % de l'atmosphère) qui ont une structure trop simple. Dans le phénomène de changement climatique, c'est la troposphère qui se réchauffe, contrairement à la stratosphère qui se refroidit. Ceci s'explique parce que la très grande partie des gaz à effet de serre sont présents dans la troposphère, ils vont ainsi contenir le rayonnement infrarouge émis par la terre et l'empêcher de réchauffer les plus hautes couches de l'atmosphère. Le refroidissement de la stratosphère est d'ailleurs une preuve supplémentaire que le réchauffement climatique est bien lié à l'augmentation des concentrations en gaz à effet de serre et non à l'augmentation du rayonnement solaire (Magdeleine, 2019).

### **1.1.12.2. Impact sur la santé :**

Les limites de concentration dans l'air ambiant de certains polluants imposé sur le plan international tiennent compte des effets sur la santé de certaines substances.

Certains effets sont associés à des seuils, c'est-à-dire qu'on peut déterminer une valeur de concentration dans l'air en dessous de laquelle la substance n'est pas dangereuse. Les effets sur la santé ayant été le plus étudiés sont les effets à court terme liés à des concentrations élevées. Des études sont également menées pour les conséquences à long terme d'une exposition à un niveau de pollution plus faible. Les polluants atmosphérique engendre plusieurs problèmes sanitaire, elle irrite le système respiratoire humain et peuvent contribuer au déclenchement de maladies respiratoires aiguës, et aussi des maladies cancérigènes (Sahli, 2018).

### **1.1.12.3. Impact sur les matériaux :**

La pollution atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel. En effet, les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide qui entraîne une dégradation des monuments et façades d'immeuble. Le  $\text{SO}_2$  en se dissolvant dans l'eau des précipitations, donne de l'acide sulfurique, agent principal de l'altération des calcaires qu'il transforme en sulfate de calcium ou gypse. Les particules interviennent plutôt sur les aspects de salissures des bâtiments (Sahli, 2018).

## **1.2. Les polluants générés par les cimenteries :**

Les principaux rejets de la fabrication du ciment sont les émissions des fours. Elles sont dues à la combustion des matériaux utilisés pour chauffer les fours. Les polluants contenus dans les gaz de combustion dépendront de la nature du combustible utilisé (charbon, fuel ou gaz naturel) et de la

composition du minerai (qui peut contenir également du soufre) Les principaux polluants dans l'industrie du ciment sont le SO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub>, le CO, le CO<sub>2</sub> et les poussières (tableau 5).

**Tableau 5 : Les principaux polluants émis par la Cimenterie Sigus**

Polluant	Sources principales
Monoxyde de carbone (CO)	Combustion des matériaux utilisés pour chauffer le four.
Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ) et dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	Combustion des matériaux utilisés pour chauffer le four.
Particules	le four, les stations de broyage des matières premières, les refroidisseurs à clinker et les broyeurs à ciment.

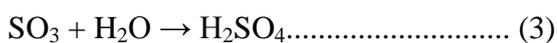
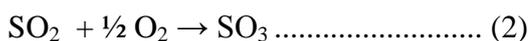
### 1.2.1 Les polluants gazeux :

#### a. Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) :

Le dioxyde de soufre (anhydride sulfureux) est émis principalement par la combustion au niveau du four lorsque le combustible utilisé contient lui-même du soufre (équation 1).



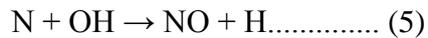
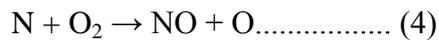
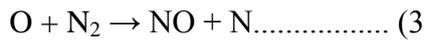
Une fois rejeté, le SO<sub>2</sub> s'oxyde en SO<sub>3</sub> dans l'atmosphère. En présence d'humidité, de fines gouttelettes d'acide sulfurique et de sulfates peuvent être formés (équation 2 et 3).



Le SO<sub>2</sub> est responsable de la formation des pluies acides mais aussi du phénomène de « smog acide », mélange de SO<sub>2</sub> et de particules dont l'impact sur la santé est très connu. Il y a lieu de rappeler que la plupart des cimenteries du pays fonctionnent au gaz naturel, ce qui réduit considérablement les émissions de SO<sub>2</sub> (Ghomrani & Djessas, 2019).

#### b. Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) :

Comme pour le SO<sub>2</sub>, les oxydes d'azote sont produits au niveau du four pendant la combustion. Leur formation est favorisée par un excès d'oxygène mais surtout par la température de la flamme qui conduit à une dissociation des molécules d'azote et d'oxygène (équations 1, 2, 3, 4 et 5).



Le NO formé peut s'oxyder dans l'atmosphère pour former en présence d'humidité de fines gouttelettes d'acide nitrique selon les équations suivantes (6, 7) :



**c. Le monoxyde de carbone (CO) :**

Le monoxyde de carbone est produit au niveau du four lorsque la combustion est incomplète (insuffisance d'air) ou mal réglée (équation 1)



Notons qu'au niveau d'un four fonctionnant au gaz naturel, les émissions de CO dans les gaz de combustion sont très faibles quand la combustion est complète. (Ghomrani & Djessas, 2019).

**d. Les poussières :**

La raison principale pour laquelle les émissions de poussières sont réglementées est qu'elles véhiculent des polluants qui peuvent être de nature chimique organique ou inorganique. Traditionnellement, l'émission de poussières, en particulier les rejets des cheminées des fours, a toujours été la préoccupation principale en matière d'environnement pour la fabrication de ciment. Les principales sources d'émissions de poussières au niveau de la cimenterie-Sigus sont les fours, les stations de broyage des matières premières, les refroidisseurs à clinker et les broyeurs à ciment, car ce sont des équipements où circulent des volumes importants de gaz au travers de matériaux poussiéreux.

**1.3. Normes algériennes relatives à la qualité de l'air :**

La qualité de l'air à l'émission générée par les industries est définie dans le décret exécutif N°06-138 du Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solide, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle (tableau 6).

**Tableau 6 : Normes algériennes de la qualité de l'air à l'émission (JORA, 2006)**

Paramètre	Unité	Valeur limites	Tolérance aux installations anciennes

<b>Poussière</b>	<b>mg/Nm<sup>3</sup></b>	30	50
<b>SO<sub>2</sub></b>		500	750
<b>NO<sub>x</sub></b>		1500	1800
<b>CO et CO<sub>2</sub></b>		150	200

# **Chapitre 2 : Matériel et méthodes**

## **Chapitre 2 : Matériel et méthodes**

### **2.1. Présentation de l'établissement d'accueil (cimenterie Sigus ) :**

#### **2.1.1. Historique :**

La société des ciments de Sigus (SCS), filiale du Groupe industriel des ciments d'Algérie, la première opération de production du clinker est le 29 septembre 2019, entrée en exploitation à la fin de l'année 2019. Elle permet la fabrication en simultané de plusieurs produits (finis ou semi finis) à savoir le clinker et le ciment. La Société de ciment Sigus dispose d'une capacité de production de 6 000 Tonnes de Clinker par Jour, correspondant à une production annuelle de plus de 2 Millions de Tonnes de ciment par an. Réalisée pour un coût global de 51,2 milliards de dinars, la cimenterie occupe une superficie de 570 ha et emploie 450 personnes, entre ouvriers et personnel administratif. L'activité Principale de La société des ciments de Sigus est la fabrication et la commercialisation des ciments. Elle commercialise un ciment de première qualité, conforme à la norme NA 442. Le Ciment est contrôlé régulièrement par le laboratoire interne de la société et le Centre d'Études et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction (CETIM).

### 2.1.2. Localisation :

La cimenterie est située à 5 km au Sud-est de la Daïra de SIGUS, et à 40 Km au Nord-ouest du chef-lieu de la wilaya d'Oum El Bouaghi (Figure 1). Elle dispose d'un accès direct à la route Nationale N°10 qui dessert la Daïra d'Ouled Rahmoune aux frontières tunisiennes en passant par la Daïra de Sigus. Elle est également située dans une zone riche en matières première, la cimenterie de Sigus est implante près de la carrière calcaire de Djebel El Fortas et la carrière argile de Koudiet Birou d'ou sont extraites les matières premières permet à la cimenterie de disposer de toute chaîne de production.

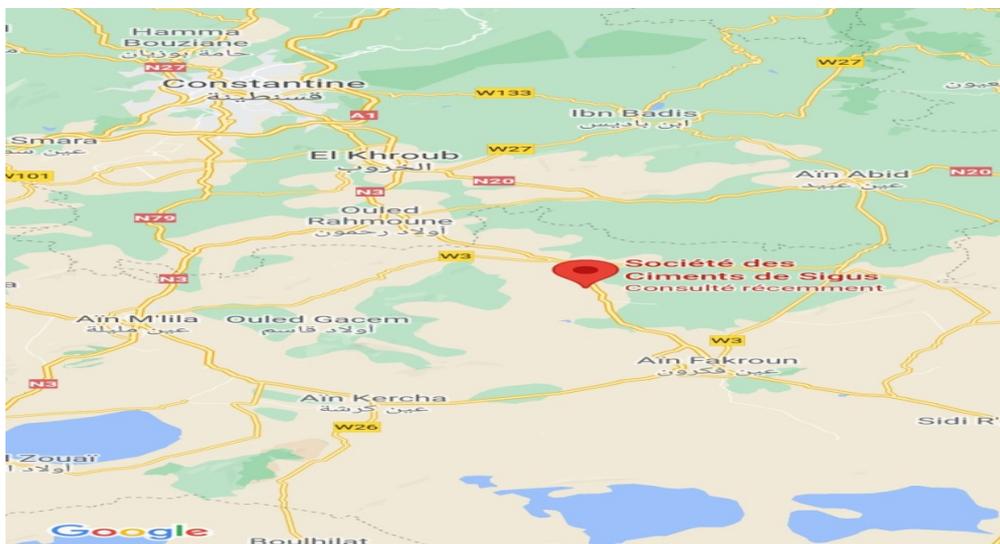


Figure 1 : Localisation géographique de la cimenterie Sigus (Google maps, 2021).

### 2.1.3. Climat et végétation :

Le climat au niveau du groupement d'Oum El Bouaghi a quelques particularités. En effet, la pluviométrie varie dans l'espace et dans le temps. La région est soumise à un climat continental semi-aride, caractérisé par des hivers très froids moyennement pluvieux et des étés très chauds et secs (CETIM, 2012).

La moyenne annuelle de 23,98 mm, traduit la faiblesse des précipitations atmosphériques sur la région de Sigus. En effet les pluies débutent en automne Octobre avec 20,7 mm, elles atteignent des moyennes de 32,8 mm en janvier dès le mois de mars les pluies se font de plus en plus rares et atteignent la moyenne de 10,36 mm en juin/juillet/août. Les températures sont marquées par des variations saisonnières. Les moyennes mensuelles observées correspondent à  $-2^{\circ}\text{C}$  pour les minima en hiver, et  $42^{\circ}\text{C}$  pour les maxima en été. La végétation est caractérisée par des petits endroits boisés, des oliviers. Le couvert végétal est presque absent (CETIM, 2012).

#### 2.1.4. Hydrographie :

Le réseau hydrographique de la wilaya Oum El Bouaghi est représenté par plusieurs oueds : Oued Fzikia, Oued Ain Kercha, Oued Medfoune, Oued Meskiana, Oued Hassi Oued Boulfrayes, Oued Maarouf. Au niveau du site de projet de la cimenterie, on note l'existence de l'Oued El Kleb (Sigus)

#### 2.1.5. Organisation de la direction générale :

- Une direction générale assistée de cinq chefs de département.
- Neuf départements assumant des missions de gestion et de soutien à la production.

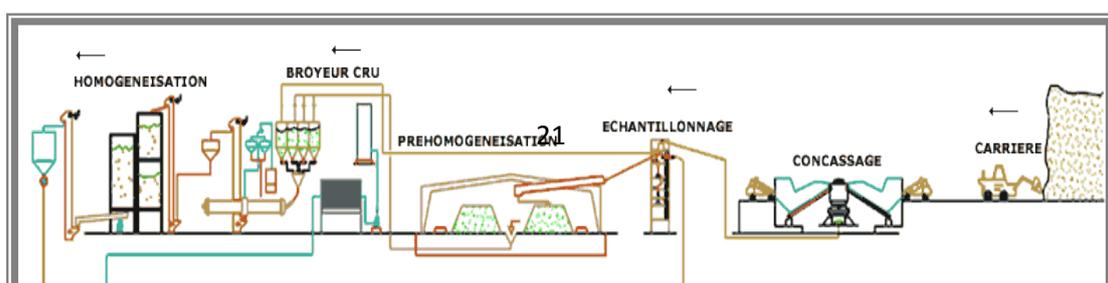
Il n'existe pas une structure au sein de la filiale qui a pour mission exclusivement la prise en charge des problèmes de pollution que génère l'activité. La création d'une telle structure est projetée, absence de service environnemental.

#### 2.1.6. Fabrication de ciment :

##### 2.1.6.1. Définition d'un ciment :

Le ciment est une poudre finement broyée, non métallique et inorganique qui, une fois mélangée avec une adjonction d'eau, forme une pâte qui prend et durcit.

Ce durcissement hydraulique est principalement dû à la formation d'hydrates et silicates de calcium sous l'effet de la réaction entre l'eau du mélange et les constituants du ciment. Dans le cas des ciments alumineux, le durcissement hydraulique est dû à la formation d'hydrates d'aluminates de calcium. Les matières premières entrant dans la fabrication du clinker sont le calcaire et l'argile dans les proportions respectivement proches de 80% et 20%. Le calcaire apporte le calcium, l'argile apporte la silice  $\text{SiO}_2$ , l'alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , et l'oxyde ferrique  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , nécessaire pour le processus de formation du clinker (Figure 2).



**Figure 2 :** Production du ciment (CETIM, 2012).

### **2.1.6.2. Extraction des matières première :**

Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert situées à proximité des cimenteries (Figure 3), par abattage à l'explosif de façon à la fragmenter en blocs, la roche est reprise par des dumpers vers un atelier de concassage afin de réduire leur taille et d'obtenir des cailloux de moins de 8 cm de diamètre. L'argile est une roche meuble elle est exploitée par excavation ou par pelle mécanique puis transporté par camion.



**Figure 3:** Vue d'ensemble de la carrière de Djebel El Fortas

### **2.1.6. 3. Concassage :**

Les pierres arrivent généralement à l'usine en gros blocs et avec leur humidité de carrière, et il faut d'abord les concasser, puis les sécher, ou au contraire les délayer, avant de les passer au broyeur. Pour choisir le type et les dimensions des machines, on tiendra compte de la nature et de la grosseur de la pierre, du degré de finesse désiré, et du rendement escompté.

Généralement le concassage est utilisé pour concasser les roches du calcaire qui ont une dureté importante par rapport à la roche d'argile.

Les principaux types de concasseurs utilisés en cimenteries sont :

- Le concasseur à mâchoires qui convient bien aux matériaux durs même abrasifs mais non collant.
- Le concasseur giratoire.
- Le concasseur à cylindres dentés pour les matériaux humides très collant.
- Le concasseur à marteaux pour les matériaux friable à mi-durs mais non abrasifs (teneur en silice inférieure à 5%).

#### **2.1.6. 4. Préparation du cru :**

La préparation du cru au cours de laquelle on réalise le mélange homogène du calcaire, d'argile de sable et de minerai de fer. Est peut être réalisé suivant quatre procédés différents :

La voie sèche, semi- sèche, semi-humide et humide.

- Dans la voie sèche, les matières premières broyées et séchées forment le cru ou farine qui a l'aspect d'une poudre fluide. Le cru est ensuite introduit dans le préchauffeur du four.
- Dans la voie semi-sèche, la farine mélangée à de l'eau forme des granules qui sont introduits dans un préchauffeur à grilles situé en amont du four ou dans un four long équipé de croisillons
- Dans la voie semi-humide, la pâte est d'abord débarrassée de son eau dans les 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.
- Dans la voie humide, les matières premières (dont la teneur en humidité est souvent élevée) sont broyées dans l'eau pour former une pâte pouvant être pompée. Elle est ensuite introduite directement dans le four où peut passer auparavant dans le sécheur.

#### **2.1.6.5. Préhomonogénéisation :**

Cette phase qui a pour but de réaliser un mélange préliminaire, consiste à déposer les matériaux constitutifs du cru en couche successives, de faible épaisseur.

#### **2.1.6.6. Broyage séchage :**

Les matières premières préhomogénéisées doivent être finement broyées pour être chimiquement plus réactives au cours de leur cuisson dans le four. Les réactions chimiques et les échanges thermiques sont en effet d'autant plus intenses que les surfaces des particules sont plus grandes. Les meilleurs clinkers sont obtenus à partir de la mouture plus fine.

### **2.1.6.7. Séparation :**

Cette phase consiste, suivant le type de séparateur utilisé, à envoyer au broyeur les particules insuffisamment broyées et à récupérer les fines contenues dans les gaz.

### **2.1.6.8. Homogénéisation :**

C'est au cours de cette phase que grâce à un brassage pneumatique ou mécanique vigoureux, peut être obtenu un produit parfaitement homogène, de caractéristiques chimiques uniformes, apte à être cuit.

### **2.1.6.9. La cuisson :**

Le four rotatif est l'élément principal de l'installation de fabrication du clinker. Il est essentiellement constitué par un tube cylindrique dans lequel brûlent des substances combustibles injectées à fort débit en produisant une flamme de plusieurs dizaines de mètres de longueur. Il fonctionne comme un échangeur de chaleur à contre-courant dans lequel la flamme, dirigée de l'aval vers l'amont, porte à hautes températures le cru qui progresse en sens inverse, le tube étant incliné vers l'aval de 3 à 4%. De tels fours ont une longueur de 30 à 100 mètres et un diamètre de 2 à 6 mètres, pour améliorer le rendement thermique mais aussi pour utiliser la chaleur produite par la flamme, les gaz de cuisson qui sortent du four sont utilisés dans l'installation pour préchauffer le cru disposé à l'entrée du four. Ces échanges thermiques sont réalisés dans un système de cyclones séparateurs et de gaines.

A l'issue de cette étape de préchauffage, on emploie des foyers de précalcination qui font passer les matières premières vers 800 à 900°C. Le cru se décarbonate alors (entraînant une consommation énergétique de l'ordre de 400 Kcal/kg) ce qui facilite l'étape de clinkérisation vers 1450°C au niveau du four rotatif.

A l'aval du four, le clinker sort à une température comprise entre 1200 et 1450°C tombe dans le refroidisseur. Cette trempe rapide du clinker fige les phases formées (silicates et aluminates de calcium) à hautes températures.

Le clinker refroidi se présente alors sous forme de granules. Le ciment est obtenu par broyage des granules de clinker, avec addition d'environ 5% de gypse et éventuellement d'autres constituants. L'opération de broyage du clinker est effectuée dans de grands broyeurs cylindriques à boulets (broyeurs les plus généralement utilisés).

La farine crue obtenue à l'issue du processus de broyage et l'homogénéisation de matières premières est transformée en clinker par traitement thermique.

Les fours de cuisson du ciment comportent toujours :

- Un système de préchauffage du cru.
- Une zone de décarbonations.

- Zone de clinkérisation.
- Zone de refroidissement.

La matière passe par les stades thermiques successifs suivants :

- Préchauffage : < 500°C.
- Décomposition des argiles > 500°C.
- Décarbonatation des calcaires : de 500-1050°C.
- Clinkérisation de 1200-1450°C.
- Refroidissement de 1450°C.

#### **2.1.6.9.1. Le préchauffage :**

Le préchauffeur est un échangeur de chaleur dans lequel les transferts thermiques s'effectuent par contact entre la matière et les gaz dans un système de cyclones séparateurs et de gaines où se font les échanges.

La farine crue est introduite dans la partie lente du four et descend par gravité du cyclone supérieur vers le cyclone inférieur par un conduit de diamètre réduit.

La farine entre dans le four à  $T=600$  à  $800$  °C, elle atteint l'entrée du four et sera réchauffée à environ  $850$  °C.

#### **2.1.6.9.2. Le précalcinateur :**

La calcination est la phase la plus vorace d'énergie, elle exige 60% de la consommation du combustible et la moitié du four.

#### **2.1.6.9.3. Le four rotatif :**

Il est constitué par un tube cylindrique incliné de 3 à 5 % et de 2 à 6 m de diamètre et de 60 à 180 m de longueur (Figure 4). Ce cylindre de 15 à 30 mm d'épaisseur est garni intérieurement d'un matériau réfractaire qui assure sa protection vis-à-vis des hautes températures régnantes à l'intérieur de l'appareil.



**Figure 4:** Le four rotatif

### **2.1.6. 10. Refroidissement :**

Les refroidisseurs doivent en outre fournir un air secondaire bien réchauffé pour le four. Le clinker sortant du four avec une température de 1200-1300 °C nécessite un refroidissement qui permet de le transporter d'une part et d'autre part la récupération un maximum de chaleur qu'il en magasiné. Cette récupération réduit sensiblement la consommation spécifique de chaleur nécessaire à la production du clinker par apport thermique. On distingue plusieurs types de refroidisseurs : refroidisseur rotatif, refroidisseur Fuller à grille.

### **2.1.6. 11. Broyage :**

Il est réalisé en continu dans des broyeurs alimentés à partir des stocks de clinker et des différents constituants et ajouts. Le broyage a pour objectif, d'une part de réduire les granules de clinker en poudre, d'autre part de procéder à l'ajout du gypse (dont le rôle est de réguler le phénomène de prise), ainsi qu'à celui des éventuels autres constituants (laitier, cendres. . . ), ce qui d'obtenir les différents types de ciments normalisés.

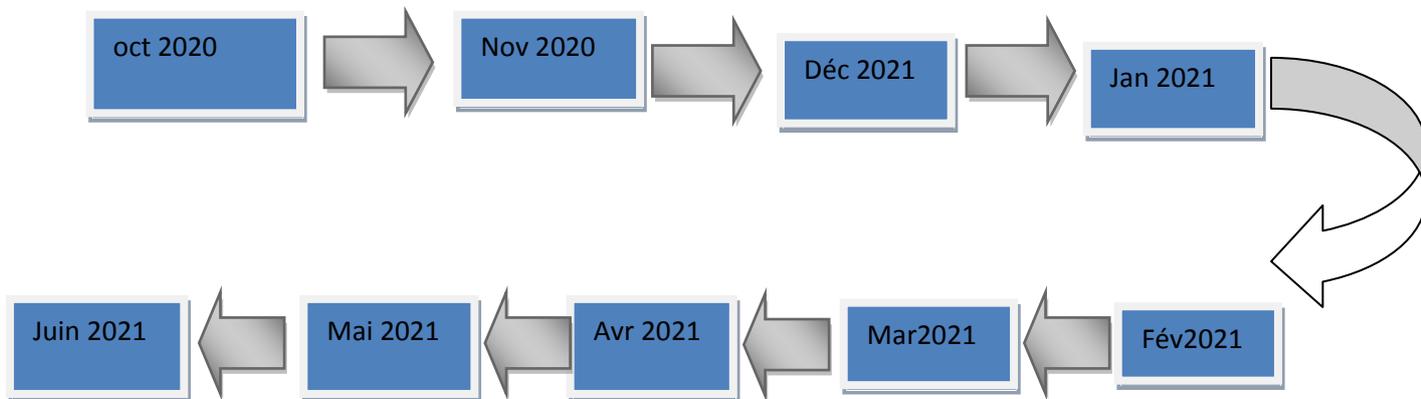
### **2.1.6.12. Stockage, ensachage et expédition :**

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage, pour être soit ensaché soit expédié en vrac. L'ensachage, qui dans les pays industrialisés ne présente qu'environ 30 % de la production de ciment, s'effectue dans des sacs en papier kraft à l'aide de machines capables de remplir de 2000 à 4000 sacs par heure.

La livraison en vrac est assurée par camion, péniches.

## 2.2. Durée et lieu de stage :

Notre stage a été effectué au niveau de la cimenterie sigus et a duré de un mois (le 23 mai-23 juin). (Figure 5).



**Figure 5 :** Calendrier de la caractérisation des rejets de la cimenterie sigus

## 2.3. Échantillonnage et Analyse au niveau de la cimenterie :

Au niveau de la cimenterie Sigus, la mesure des différents polluants est effectuée en utilisant des analyseurs de gaz. Ces derniers permettent une analyse continue 24h/24h des différents polluants. La procédure de mesure des gaz se caractérise par un prélèvement de l'échantillon à analyser à partir de la cheminée principale, cet échantillon est amené à l'analyseur à travers une sonde de prélèvement, puis va emprunter une conduite d'échantillon (ligne chauffée) et un dispositif de préparation de l'échantillon.

Les mesures sont directement transmises à la salle de contrôle pour effectuer le calcul des indicateurs atmosphérique utilisés dans la cimenterie. Le prélèvement des gaz (NOx, SO<sub>2</sub>) ont été mesuré pour la période allant de janvier à juin 2021. Sachant que pour le CO et la poussière, l'échantillonnage a été effectué par trimestre. Les concentrations des gaz obtenus sont exprimées en ppm pour NOx et SO<sub>2</sub> et en % pour CO.

## 2.4. Système d'analyse des gaz :

La cimenterie Sigus a installé des analyseurs de gaz de marque ABB, qui sont réputés pour leurs qualités, leur fiabilité et leurs précisions de mesure, au niveau des unités de productions de ciments pour le contrôle des gaz émis à travers la cheminée principale dans l'atmosphère. Les données des mesures détectées par ces analyseurs sont transférées du coffret d'analyse à l'unité de contrôle.

La salle de contrôle réunit les équipements de systèmes experts d'exploitation, circuits vidéo et résultats en ligne de stations d'échantillonnage qui permettent de surveiller d'une façon continue et les différentes variations des paramètres à l'aide du système de contrôle des mesures de gaz (Figure 6.) Dans le cadre de cette étude, les analyseurs utilisés sont :

- **EL3020**: permet de contrôler les trois gaz (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) de façon continue. L'absorption spécifique des molécules de bandes du rayonnement infrarouge
- **Testo 350** : pour contrôler les taux de CO de façon trimestrielle par Centre d'Etudes et de services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de construction (CETIM)
- **Opacimètre** : pour la mesure en continu de la concentration en poussières
- **DEM100** : pour la quantification de la poussière trimestrielle



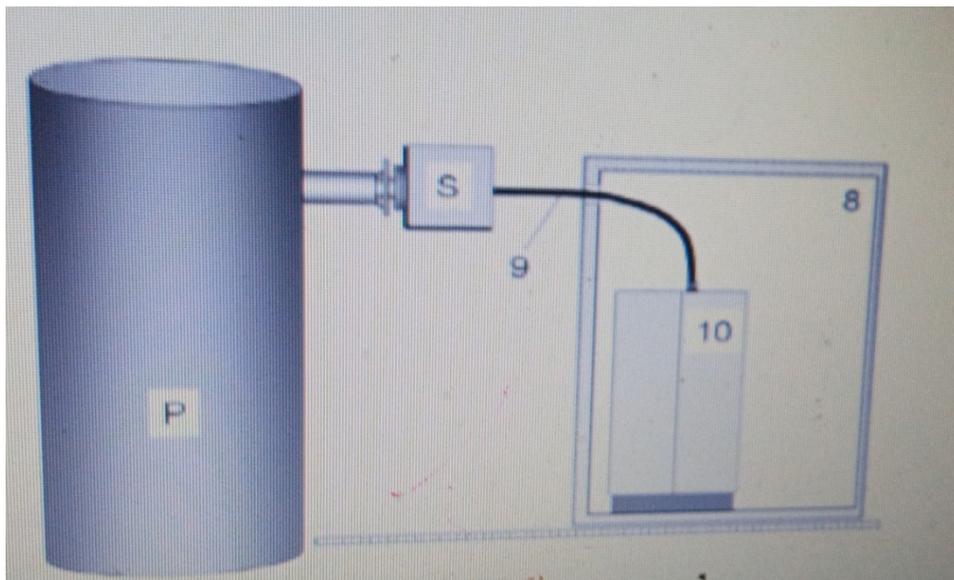
**Figure 6** : système de contrôle en ligne des mesures de gaz

Les systèmes d'analyse du gaz de procédé sont conçus comme des systèmes extractifs. Ce système est généralement composé des éléments suivants (Tableau 7)

Les systèmes d'échantillonnage de gaz (Figure 7) sont composés d'un système à sonde de prélèvement de gaz (S), d'un circuit chauffé de prélèvement de gaz (9) et d'une armoire d'analyseurs de gaz (10) situés dans des conteneurs climatisés d'analyseurs de gaz (8).(Figure 7)

**Tableau 7** : Description de système de gaz (Analyse du gaz de procédé SCS)

Description du système		Composant	Fonction
Système d'analyse de gaz	Prélèvement de gaz	Sonde de Prélèvement de gaz	Dispositif de Prélèvement de gaz
			Filtrage
			Nettoyage
			Refroidissement / chauffage
		Outils complémentaires	Refroidissement / chauffage
			Inverseur
			Entretien
	Analyse de gaz	Conduite de gaz	Acheminement du gaz
		Armoire d'analyse de gaz	Acheminement du gaz
			Traitement de gaz
Analyseur de gaz			



**Figure 7:** Système d'échantillonnage de gaz.

#### 2.4.1. Description du système d'analyse multi gaz EL3020 :

Le ABB EL3020 (Figure 8) est un analyseur conçu pour une mesure qui peut aller jusqu'à cinq composants, des gaz actifs au maximum dans les infrarouges comme par exemple : NO, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et en plus de l'O<sub>2</sub> grâce à une cellule de mesure paramagnétique. Le ABB EL3020 est un Capteur avec différents principes de mesure pour de nombreuses applications destinées à :

- La surveillance des émissions et à l'analyse des procédés.

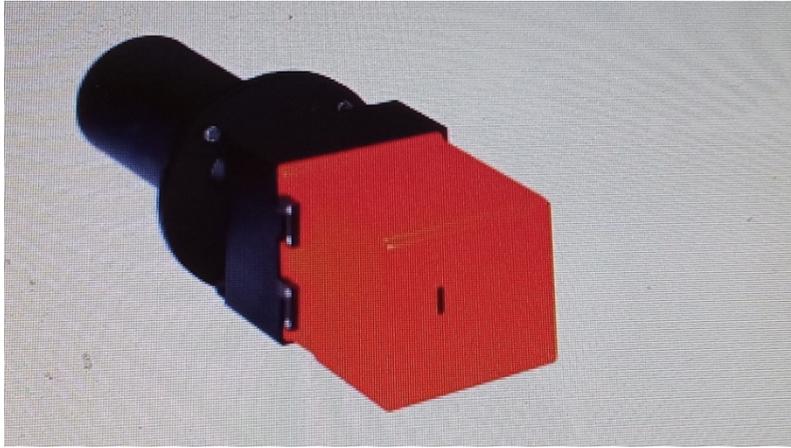
- Adapté à la mesure des gaz inflammables.
- Contrôle de l'air ambiant dans les locaux.
- l'optimisation de la combustion.



**Figure 8:** EL3020.

### **2.4.2. Sonde de détection des poussières Opacimètre :**

Le système de mesure Opacimètre est exclusivement destiné à la mesure en continu de la concentration en poussières dans des conduits d'évacuation de gaz ou d'air (Figure 9). Le système de mesure fonctionne selon le principe de la lumière diffusée (diffusion en retour). Une diode laser irradie les particules de poussières de l'écoulement de gaz avec une lumière modulée dans le domaine visible (longueur d'onde d'environ 650 nm). La lumière diffusée par les particules est détectée par un détecteur de haute sensibilité, amplifiée électriquement et envoyée dans le canal de mesure d'un microprocesseur, composant central du système électronique de mesure, de commande et de traitement. L'intersection du faisceau d'émission avec l'angle d'ouverture du récepteur détermine le volume de gaz mesuré par l'appareil.



**Figure 9 :** Système de mesure Opacimètre.

## **2.5. Analyse des émissions en CO et en poussière :**

La surveillance des émissions en CO et en poussières générées par la cimenterie Sigus est assurée par le Centre d'Etude et de services Technologiques de l'Industrie de Matériaux de construction (CETIM) qui est une filiale du Groupe Industriel des Ciments d'Algérie GICA. Ainsi, chaque trois mois une équipe se déplace sur site et procède aux analyses et mesures de gaz à l'émission et taux de poussière à la source. Les systèmes de mesure utilisée par le CETIM sont :

- Testo 350 : pour les taux en CO
- DEM100 : pour la quantification de la poussière.

Les sites de mesures sont :

- Cheminée filtre principale, filtre broyeur BK3, filtre broyeur BK2, cheminée filtre refroidisseur pour les mesures des taux de poussière à la source.

### **2.5.1 Description du système d'analyse des gaz testo 350 :**

L'appareil de mesure des émissions portatif Testo 350 est l'outil pour une analyse de gaz professionnelle. Cet analyseur de combustion portable utilise le principe de cellule électrochimique et cellule IR, et permet la mesure de température des gaz mesurer. Il dispose d'un grand nombre d'option et d'accessoires, tel qu'une sonde filtrante, un boîtier de commande Bluetooth, et un compartiment de récupération des condensats. Il comprend de :

**L'unité de contrôle :** permet de piloter le coffret d'analyse et afficher les valeurs. Tous les réglages sont réalisés avec les touches de fonction, l'affichage des valeurs de mesure se fait sur l'écran graphique.

L'unité de contrôle peut également être utilisée pour contrôler à distance le boîtier d'analyse lorsqu'il n'est pas positionné sur le tuyau de gaz d'échappement ou le site de mesure.

**Le coffret d'analyse :** est la liaison entre l'unité de contrôle et le coffre d'analyse se fait via des contacts à fiche, via un câble de données ou via Bluetooth.



**Figure 10 :** testo 350.

### **2.5.2 Les appareils d'analyses des rejets de poussières-Dust Emission Monitor (DEM100) :**

Le DEM100 est un contrôleur permet de mesure (Figure 12), de contrôle et de surveillance en continu les rejets des poussières des installations, il se base sur le principe de la tribo-électricité : les particules en suspension provoquent de l'électricité statique par impact sur une sonde induisant un courant de faible intensité, Plus les particules sont nombreuses, plus le courant est élevé. Cet appareil est généralement installé sur les cheminées en aval des dépoussiéreurs.



**Figure 11:** Appareil de contrôle des rejets de poussières-DEM100.

## 2.6. Traitement des données :

Pour évaluer les différents résultats de polluant, nous avons calculé pour l'ensemble des paramètres étudiés : la moyenne, les valeurs extrêmes (min et max) et l'écart type. Par ailleurs et pour mieux visualiser les mesures effectuées, nous avons opté pour la représentation graphique de type histogrammes.

Les concentrations des gaz obtenus sont exprimées en ppm pour NO<sub>x</sub> et CO et SO<sub>2</sub>. La conversion de ces valeurs en mg/Nm<sup>3</sup> est effectuée selon les formules suivantes :

Pour les NO<sub>x</sub> :

$$1 \text{ ppm NO}_x * 2.05 = 2.05$$

Pour le SO<sub>2</sub>

$$1 \text{ ppm SO}_2 * 2.85 = 2.85$$

Pour le CO

$$1 \% \text{ de CO} = 0.0001 \text{ ppm et } 1 \text{ ppm (CO)} = 1.25 \text{ mg/Nm}^3.$$

# **Chapitre 3 : Résultats et discussion**

**Chapitre 3 : Résultats et discussion :**

Le tableau ci-dessous (Tableau 8) représente l'évolution spatio-temporelle des taux de l'oxyde d'azote et l'oxyde de Soufre émis dans l'atmosphère au niveau de la cimenterie Sigus (Oum el Bouaghi) pour la période allant du mois de janvier 2021 au mois de juin 2021.

Les résultats sont représentés par les moyennes et l'écart type de l'oxyde d'azote et l'oxyde de Soufre pour toute la période de surveillance. Sachant que le suivi de la qualité des émissions du CO se fait par CETIM chaque trimestre, en respectant pour tous les rejets gazeux les normes nationales en vigueur (JORA, 2006) et les normes internationales (Wagner & Partner, 2000).

Sur ce même tableau figurent les normes nationales fixées dans 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'exerce leur contrôle. Ce même décret prend en considération l'ancienneté des installations industrielles en précisant les limites des valeurs tolérées pour les rejets atmosphériques émanant de ces installations en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de cinq ans.

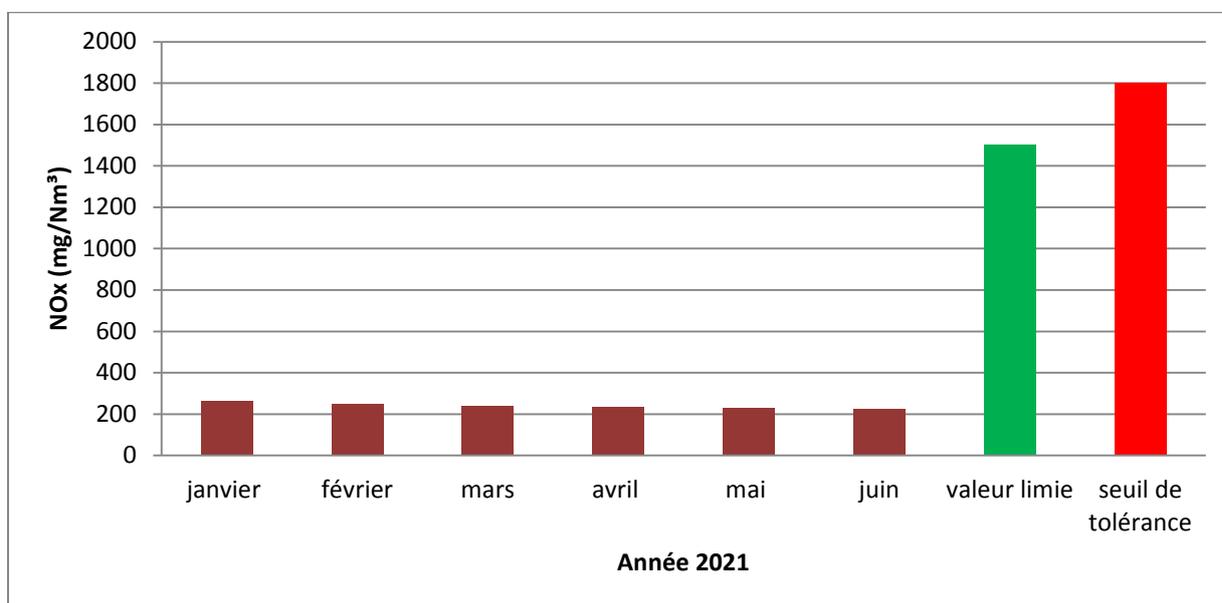
**Tableau 8 :** Evolution mensuelle des NOx et le SO<sub>2</sub> au niveau de la Cimenterie Sigus (Oum El Bouaghi).

Mois	NOx	SO <sub>2</sub>	
<b>Janvier</b>	261 ,68 ± 8,08	90,003 ± 3,68	
<b>Février</b>	248,75 ± 6,64	93,28 ± 8,30	
<b>Mars</b>	239,56 ± 12,57	87,21 ± 9,32	
<b>Avril</b>	233,81 ± 4,20	75,183 ± 1,18	
<b>Mai</b>	229,10 ± 4,40	78,69 ± 0,90	
<b>Juin</b>	224,46 ± 4,60	82,42 ± 0,82	
<b>Normes nationales décret exécutif n°06-138 (JORA, 2006)</b>			
	<b>NOx</b>	<b>CO</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>
Valeurs limites (mg/Nm <sup>3</sup> )	1500	150	500
Tolérance pour les installations anciennes (mg/Nm <sup>3</sup> )	1800	180	750
<b>Normes internationales (d'après Wagner &amp; Partner, 2000)</b>			
<b>Pays</b>	<b>SO<sub>2</sub> (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>NOx (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	

CO(mg/Nm <sup>3</sup> )			
<b>Allemagne</b>	400	500-800	-
<b>Finlande</b>	150-400	1200-1800	-
<b>Espagne</b>	600	1300-1800	-
<b>Italie</b>	600	800	-
<b>Tunisie</b>	400	1200-1800	-

### 3.1. Les émissions en NOx :

Les variations des concentrations moyennes en NOx émises par la cimenterie Sigus durant la période allant du mois de janvier 2021 au mois de juin 2021 sont représentées dans le tableau 8 et illustrées par la figure 13. Les résultats obtenus montrent que les concentrations NOx oscillent entre 224,46 mg/Nm<sup>3</sup> et 261,68 mg/Nm<sup>3</sup> enregistrée aux mois juin et janvier respectivement (Figure 12).



**Figure 12 :** Variations spatio-temporelles des émissions moyennes en NOx émises par la Cimenterie Sigus.

Les NOx se forment soit lors de la combustion dans la zone de clinkérisation, soit dans les zones de calcination ou précalcination. La fabrication de ciments très réactifs nécessite un clinker à plus fort

niveau de saturation, ce qui rend la cuisson plus difficile et produit des émissions en NO<sub>x</sub> plus élevées. Ces paramètres doivent être pris en considération pour comprendre la variation des résultats obtenus (INERIS, 2010). Plus de 95 % des NO<sub>x</sub> mesurés au niveau des cheminées sont des NO (Allemand, 2003). Les résultats de mesures à l'émission de gaz NO<sub>x</sub> au niveau de la cheminée principale sont conformes à la réglementation (JORA, 2006).

La cuisson du clinker est un procédé à haute température qui entraîne la formation d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Ces oxydes jouent un rôle très important dans la pollution de l'air par les cimenteries. Ils se forment au cours de la cuisson par la combinaison soit de l'azote du combustible et de l'oxygène dans la flamme soit de l'azote atmosphérique et l'oxygène de l'air comburant (Aissani & Bouras, 2020).

Les émissions de NO<sub>x</sub> d'un four à ciment sont normalement d'avantage liées à l'azote atmosphérique qu'au combustible brûlé. Le monoxyde d'azote (NO) représente environ 95 % et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) environ 5 % des oxydes d'azote présents dans les gaz résiduaux des installations à fours rotatifs. De même, d'autres types de combustions secondaires dans la partie arrière d'un four (dans la conduite ascendante d'un four à préchauffeur à suspension ou dans la chambre de décarbonatation d'un préchauffeur à grilles) peuvent provoquer la formation de NO<sub>x</sub> combustibles ce qu'on a constaté dans nos résultats.

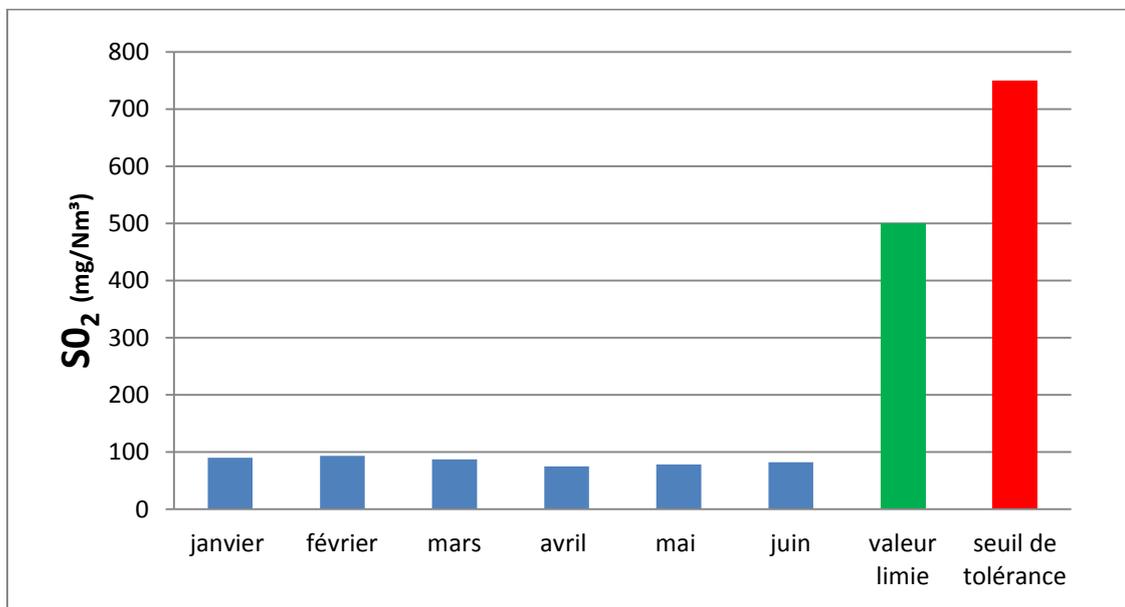
### 3.2. Les émissions en SO<sub>2</sub>:

Les variations spatio-temporelles des concentrations moyennes en SO<sub>2</sub> émis par la cimenterie Sigus durant la période allant de janvier à juin 2021 sont représentées dans le tableau 8 et illustrées par la figure 13.

Les taux en SO<sub>2</sub> quantifiés à l'émission au niveau des rejets des cimenteries Sigus oscillent entre 75,183 mg/Nm<sup>3</sup> et 93,28 mg/Nm<sup>3</sup> enregistrée aux mois avril et février respectivement.

Ces taux enregistrés sont en dessous de la valeur limite (500 mg/Nm<sup>3</sup>) et aussi du seuil de tolérance (750 mg/Nm<sup>3</sup>) fixés par la réglementation algérienne (JORA, 2006).

Au niveau de la cimenterie Sigus le combustible utilisé et la matière première contient du soufre. Ceci pourrait expliquer la présence du SO<sub>2</sub> dans les gaz émis par la cimenterie de Sigus. La zone de décarbonatation d'un four rotatif apporte les conditions idéales pour capturer le SO<sub>2</sub> des gaz qui s'échappent du four. Cependant, lorsque les conditions de conduite du four, par exemple la concentration en oxygène à l'intérieur du four rotatif, n'ont pas été optimisées pour capturer le SO<sub>2</sub>, des émissions peuvent se produire. De surcroît, divers facteurs peuvent influencer l'efficacité de la réaction, comme la température, la teneur en humidité, le temps de séjour, la concentration d'oxydes en phase gazeuse, la disponibilité d'une surface solide,...etc. (CE, 2010).



**Figure 13 :** Variations spatio-temporelles des émissions moyennes en SO<sub>2</sub> émises par la Cimenterie Sigus.

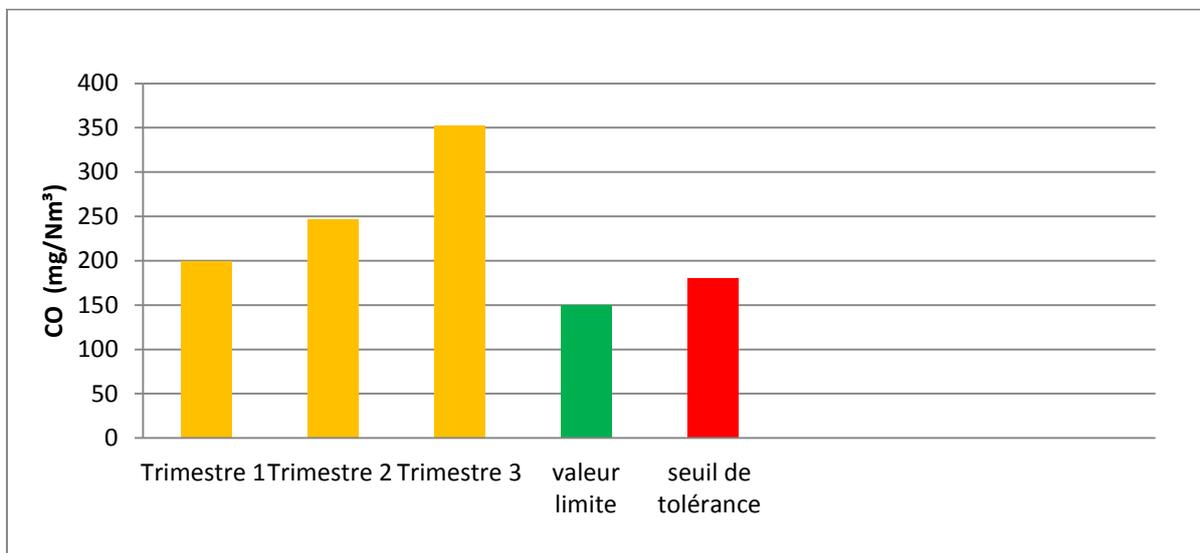
### 3.3. Les émissions en CO :

Les résultats relatifs au monoxyde de carbone CO, sont mentionnés dans le tableau 9 et la figure 14. En rappelant que les mesures sont prises par trimestre par CITIM.

**Tableau 9: Variations trimestrielles des taux en CO émises**

<b>Suivi des rejets atmosphériques (émissions de gaz CO) (CETIM).</b>	
<b>Trimestre</b>	<b>CO (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>
Trimestre 1 (Oct.-Nov-Déc. 2020)	200
Trimestre 2 (Jan-Fév-Mars 2021)	246,25
Trimestre 3 (Avril-Mai-Juin 2021)	352,5
La moyenne	266,25
Ecart type	78,19

Les données collectées montrent que les concentrations en CO oscillent entre 200 mg/Nm<sup>3</sup> (trimestre 1) et 352,5 mg/Nm<sup>3</sup> pour le trimestre 3. La moyenne durant toute la période de surveillance est de l'ordre de 266,25 ± 78,19 mg/Nm<sup>3</sup>.



**Figure 14 :** Variations trimestrielles des émissions moyennes en CO émises par la Cimenterie Sigus.

Les émissions du CO dans l'atmosphère sont réglementées aussi par le décret exécutif n°06-138 (JORA, 2006) qui préconise une valeur limite de l'ordre de 150 mg/Nm<sup>3</sup> et une tolérance de valeur limite pour les installations anciennes de l'ordre de 200 mg/Nm<sup>3</sup>. La comparaison de nos résultats à ces normes montre que les taux en CO estimé au niveau de cheminée principal dépassent largement aussi bien la valeur limite que le seuil de tolérance durant toute la période de surveillance. Ce sont les petites quantités de composants organiques apportés par les matières premières naturelles (restes d'organismes et de plantes incorporés dans la roche au fil de l'histoire géologique) qui sont généralement à l'origine des émissions de CO et du carbone organiquement lié pendant la cuisson du clinker. Pendant le préchauffage du cru introduit dans le four, ces composants subissent une transformation et s'oxydent pour former du CO et du CO<sub>2</sub>. De petites quantités de gaz contenant des traces organiques, comme le carbone organique total, se forment également lors de ce procédé. Dans la cuisson du clinker la teneur en CO et en gaz contenant des traces organiques dans le gaz épuré ne permet donc pas de tirer des conclusions sur les conditions de combustion (CE, 2010).

D'autres émissions de CO peuvent également provenir d'une combustion incomplète de gaz naturel et de conditions insatisfaisantes dans la zone de cuisson secondaire.

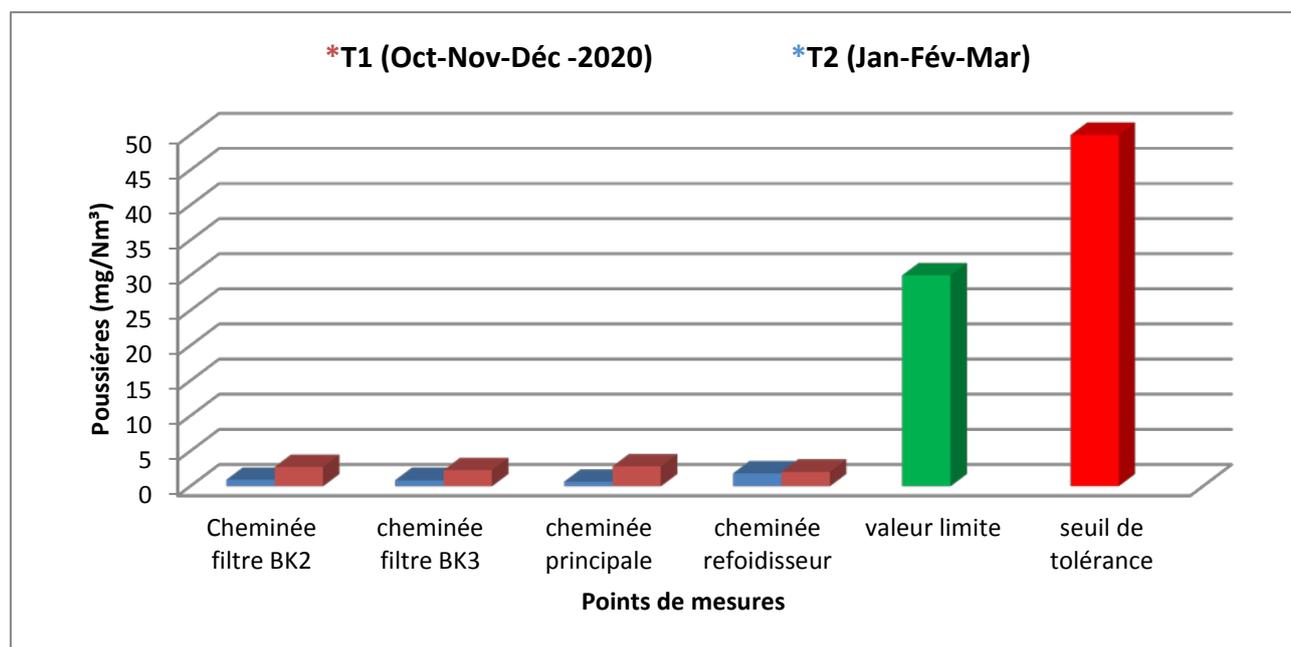
### 3.4. Les émissions de poussière (PM) :

Le tableau ci-dessous (tableau 10) et la figure 15 résume et illustre les résultats des émissions en poussières émises par la cimenterie Sigus durant la période d'étude. Nous tenons à rappeler que la mesure de ce paramètre est effectuée une fois tout les trois mois.

**Tableau 10 :** Variations trimestrielles des taux en poussières émises par la Cimenterie Sigus.

**Suivi des rejets atmosphérique (émissions de poussières) (CETIM).**

Point de mesure	PM(mg/Nm <sup>3</sup> )	
	T1 (Oct-Nov-Déc-2020)	T2 (Jan-Fév-Mars-2021)
Cheminée filtre broyeur ciment BK3	0,87	2,29
Cheminée filtre broyeur ciment BK2	0,92	2,75
Cheminée filtre principale	0,65	2,83
Cheminée filtre refroidisseur	1,84	2,05
Valeur limites (JORA 2006) *	30	
Tolérance pour les installations anciennes (JORA, 2006)	50	



**Figure 15 :** Variations spatio-temporelles des émissions de poussières émises par la Cimenterie de Sigus.

Pour le suivi des émissions de poussières, la cimenterie Sigus dispose des appareils de mesure de type DEM100, positionnés au niveau des filtres BK3, BK2, cheminée filtre principale, cheminée filtre refroidisseur. L'examen de la figure et du tableau montre que les taux en poussières presque convergent d'un emplacement à l'autre. Nous avons enregistré les séquences suivantes pour les périodes T1 (Oct-Nov-Déc

2020) et T2 (Jan-Mars 2021) respectivement : cheminée filtre refroidisseur > BK2 > BK3 >cheminée filtre principale, et cheminée filtre principale > BK2>BK3> cheminée filtre refroidisseur.

Le taux le plus faible (0,87 mg/ Nm<sup>3</sup>) a été enregistré durant la période T1 au niveau du filtre BK3, alors que le taux le plus élevé (2,83 mg/ Nm<sup>3</sup>) a été enregistré durant la période T2 au niveau du filtre cheminée filtre principale. Par ailleurs, il est à noter que les taux de poussières au niveau de la cimenterie Sigus varient en fonction des périodes mais ils sont convergents. Cependant, nos résultats sont en accord avec les seuils fixés par la réglementation algérienne (30 mg/Nm<sup>3</sup> et 50 mg/Nm<sup>3</sup>) et ceci quelque soit l'emplacement du filtre et quelque soit la période d'observation.

Traditionnellement, l'émission de poussières, en particulier les rejets des cheminées des fours, a toujours été la préoccupation principale en matière d'environnement pour la fabrication de ciment. Les principales sources d'émissions de poussières sont les fours, les stations de broyage des matières premières, les refroidisseurs à clinker et les broyeurs à ciment, car ce sont des équipements où circulent des volumes importants de gaz au travers de matériaux poussiéreux.

## **Conclusion et perspectives :**

L'objectif de notre travail était de contribuer à l'évaluation de la qualité des émissions de gaz et de poussières dans l'atmosphère provenant de l'industrie cimentaire et de comprendre les différents procédés et techniques effectués par l'entreprise pour réduire le taux de pollution. Il s'agit de la cimenterie Sigus (W. Oum El Bouaghi)

Ainsi des mesures in situ et continues sont réalisées au niveau de la cimenterie pour quantifier l'émission du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), du monoxyde de carbone (CO) et des taux de poussières.

Les principales conclusions peuvent être résumées comme suit :

- Les émissions en NO<sub>x</sub> sont dans l'ensemble conformes à la réglementation durant la période de surveillance de l'année 2021. Ces derniers se forment soit lors de la combustion dans la zone de clinkérisation, soit dans les zones de calcination ou précalcination.
- Pour les émissions en SO<sub>2</sub> les résultats sont dans l'ensemble conformes à la réglementation durant la période de surveillance de l'année 2021.
- Par contre aux NO<sub>x</sub> et SO<sub>2</sub> le taux de CO dépasse bien la valeur limite (150 mg/Nm<sup>3</sup>) que le seuil de tolérance (200 mg/Nm<sup>3</sup>).
- Cependant, pour les poussières, les taux enregistrés sont en dessous des seuils fixés par la réglementation algérienne (30 mg/Nm<sup>3</sup> et 50 mg/Nm<sup>3</sup>) et ceci quelque soit l'emplacement du filtre et quelque soit la période d'observation.

Bien que l'usine est doté de filtres moderne et bien développés à poussières et de capteurs des gaz avec un système moderne d'optimisation, la pollution de l'air persiste mais d'un degré moindre.

Finalement nous proposons quelques perspectives qui pourraient contribuer à la diminution du taux des émissions de l'industrie cimentaire :

- De quantifier d'autres polluants posant problèmes au niveau des cimenteries notamment les éléments (métalliques) et gaz qui rentrent dans les différents procédés de la fabrication du ciment.
- utilisation des indicateurs biologiques pour le suivi de la pollution atmosphérique.
- étude et suivi des rejets liquides de la cimenterie et son impact sur les écosystèmes aquatique récepteurs.
- Améliorer les systèmes de combustion pour réduire les émissions de CO.
- Améliorer les processus industriels et des rendements.
- substitution du fuel de chauffage, par des combustibles alternatifs (pneus, déchets divers) ou de la biomasse (suivant les disponibilités locales).
- confirmer les résultats obtenus en effectuant une surveillance sur une période beaucoup plus longue.

## **Référence bibliographique :**

**Aissani Z.&Bouras A.2020.** Evolution spatio-temporelle d'indicateurs de pollution mesurés dans la cimenterie Djouad Tahar commune de Hamma Bouziane Wilaya de Constantine.Mémoire de Master 2 en Ecologie fondamentale et appliquée. Universitédes Frères MentouriConstantine 1.40 p.

**Allemand N. 2003.** Estimation des émissions de polluants liées à la combustion du bois en France. Rapport Final. Etude réalisée pour le Centre Technique du Bois et de l'Ameublement dans le cadre du programme :

Recherche des conditions optimales de cadrage réglementaire de la valorisation énergétique des bois faiblement adjuvantes. 105p.

**Atmo France.2019.**Qualité de l'air et météo.

Disponible sur : <https://www.atmo-nouvelleaquitaine.org/article/qualite-de-lair-et-meteo> Consulté le : 13 juin 2021.

**Belhadj H. 2015.** 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 Abbès (Algérie occidentale) .Thèse de doctorat en Sciences. Université Djilali Liabes Sidi Bel Abbès.99p.

**Bergeron A.&Naud C.2016.**l'humidité relative et la température, centre de conservation Québec.

Disponible sur :

[https://www.ccq.gouv.qc.ca/index.php?id=171&id=171&type=98&no\\_cache=1](https://www.ccq.gouv.qc.ca/index.php?id=171&id=171&type=98&no_cache=1) Consulté le : 17 juin 2021.

**Capdeville D.2016.** Le gaz naturel pour véhicules. Quels intérêts écologiques, dans quel contexte économique, avec quelles possibilités juridiques de développement. Mémoire de Master 2, Ingénierie du Développement durable. Université de Toulouse 1, p 69.

Disponible sur:[https://www.memoireonline.com/04/19/10693/m\\_Le-gaz-naturel-pourvehicules-Quels-interts-ecologiques-dans-quel-contexte-economique-avec23.html](https://www.memoireonline.com/04/19/10693/m_Le-gaz-naturel-pourvehicules-Quels-interts-ecologiques-dans-quel-contexte-economique-avec23.html). Consulté le : 17 juin 2021.

**Commission Européenne. 2010.** Industries du ciment, de la chaux et de la magnésie. Document de référence sur les meilleures techniques disponibles. Ministère de l'Énergie et du Développement Durable et de la Mer en France, Paris.526p.

**Finlayson P. 1986.** Atmospheric chemistry: fundamental and experimental techniques. New York : WileyIntersciences. 710-788p.

**Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). 2006.** décret exécutif N°06-138 du Rabie El Aouel 147 correspondant au 15 Avril 2006 règlement l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumés, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.

**uber L. 2007.** Bioclimatologie concepts et application. Edition Santé de Parcevaux.71 p.

**Hufty A.2001.** Introduction de la climatologie : Le rayonnement et la température, l'eau, le climat, l'activité humaine, 172-173-174-175p.

**Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques-ENERIS. 2010.** Possibilités techniques et économiques de réduction des émissions de NOx dans le secteur des cimenteries françaises. Rapport d'étude N°DRC-10-103689-01371A. 73p

**Ghomrani I. & Djessas K. 2019.** Contribution à l'évaluation qualitative et quantitative des émissions dans l'industrie cimentaire: cas de l'unité Djouad Tahar (Hamma Bouziane).Mémoire de Master 2 en Ecologie fondamentale et appliquée. Universités Frères Mentouri Constantine 1. 51p.

**Lacour S. 2001.** Cours de pollution atmosphérique. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement Atmosphérique France. 43 p.

**Magdelaine C.2020.**Changement climatique : climat et effet de serre.

**Masclat P. 2005.** Pollution atmosphérique causes conséquences solutions et perspectives, Ellipses Edition,Paris.18-19p

**Matei B.&Pscu V.1974.**Pollution et protection de l'atmosphère.Edition Eyrolles, Paris. 57-58p

**Melieres M.A. 2002.** Effet de serre.

Disponible sur :<http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/sysfacte/effetserre> consulté le : 5 juin 2021.

**Michelot N. 2014.** L'influence des topoclimats sur la pollution de l'air aux particules dans le sud-ouest des Alpes-Maritimes. Thèse de doctorat. Université de Nice Sophia-Antipolis. 416p.

**Popsu M., Blanchard DJ., & Carre M. 1998.** Analyses et traitement physicochimique des rejets atmosphérique industriels, émission, fumées, odeurs et poussières. Edition Masson. 12- 20p.

**Ramade F. 2011.** Introduction à l'écochimie : les substances chimiques de l'écosphère à l'homme. Edition TCE et DOC, 122-123p.

**Rapport Environnemental de l'Industrie Cimentière Belge. 2006.**

[https://www.febelcem.be/fileadmin/user\\_upload/rapport-environnemental/fr/rapport-environnemental-ciment-2006-fr.pdf](https://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/rapport-environnemental/fr/rapport-environnemental-ciment-2006-fr.pdf). Consulté : le 25 mai 2021

**Raven H.,Berg L.,&Hassenzahl D.M.2008.**Environnement.Traduction de la 6<sup>ème</sup> édition américaine. Ed. Pascale Marie C., HancockA., Lemperierre G.489p.

**Sahli.L.2018.**Cours de pollution atmosphérique. Département Biologie et Ecologie Végétale. Université des Frères Mentouri Constantine 1.

**Schutz M. 1995.** Environnement et pollution .Comment mesuré? Comment réagir ? Ed. Publitrionic, Nieppe.253 p.

**Toupictionnaire: le dictionnaire de politique, Pollution.**  
<http://www.toupie.org/Dictionnaire/Pollution.htm>. Consulté le : 1 juin 2021.

**Wagner etPartner. 2000.** The Europeancements industry. Background Assessment for the IPTS BAT-Competitiveness Project. 73p.

**Intitulé: Evaluation des émissions atmosphériques de la cimenterie Sigus  
(W. Oum El Bouaghi).**

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie  
Fondamentale et Appliquée

**Résumé :**

Ce travail a pour objectif l'évaluation de la qualité des émissions de gaz et de poussières des différentes installations de la cimenterie Sigus (Oum El Bouaghi). Les résultats de la période de surveillance qui s'est étalée de Janvier 2021 à Juin 2021 démontrent que les taux en SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> quantifiés à l'émission au niveau des rejets de la cimenterie sont en dessous du seuil de tolérance fixé par la réglementation algérienne. Pour les poussières les taux enregistrés pour les trois trimestres sont en dessous des valeurs guides (30 mg/ Nm<sup>3</sup> et 50 mg/ Nm<sup>3</sup>) et ceci quelque soit l'emplacement du filtre et quelque soit la période d'observation. Contrairement, aux SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et la poussière, les taux en CO posent des problèmes en dépassant les seuils tolérables. Ce travail mérite d'être poursuivi, en s'intéressant à l'utilisation des indicateurs biologiques pour la biosurveillance de l'environnement.

**Mots clés:** Pollution atmosphérique, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, poussières, cimenterie Sigus, Oum El Bouaghi.

**Jury d'évaluation:**

**Président du jury:** BAZRI Kamel Eddine (MCB-UFM Constantine 1)

**Rapporteur :** TOUATI Laid (MCA - UFM Constantine 1)

**Examinatrice:** GANA Mohamed (MCB - UFM Constantine 1)

**Date de soutenance : 25 /07/2021**