



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



وزارة التعليم العالي والبحث 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 الأخوة منتوري قسنطينة 1  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

**Département :** Biologie et Ecologie Végétale

**قسم:** بيولوجيا 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

**N° d'ordre :**

**N° de série :**

**Intitulé :**

---

**Evolution spatio-temporelle d'indicateurs de pollution mesurés dans la cimenterie  
Djouad Tahar commune de Hamma Bouziane Wilaya de Constantine**

---

**Présenté et soutenu par : AISSANI Zakaria**

**BOURAS Amina**

**Jury d'évaluation :**

**Président du jury : Touati Laid**

**MCA-UFM Constantine 1**

**Rapporteur : ZAIMECHE Saida**

**MCB-UFM Constantine 1**

**Examineurs : AMRI Sihem**

**MAA-UFM Constantine 1**

*Année universitaire  
2019 - 2020*

# **Dédicace**

*J'ai l'honneur de dédie ce travail, qu'on a terminé grâce au bon DIEU le tout puissant.*

*A la mémoire de mon cher grand père paternels Mohammed, à la mémoire de mon grand-père maternels Makhlouf, à la mémoire de mon oncle Ibrahim « Saïd », et à la mémoire de ma cousine «ma sœur » Amira, et mon cher cousin Nadjmeddine, paix à leurs âmes je vous dédie aujourd'hui ma réussite. Que DIEU, les miséricordieux, vous accueille dans son éternel paradis.*

*A la reine de ma vie, et mon cher père, je leur dis je vous aime du fond du cœur, vous étiez à côté de moi dans la joie et la tristesse, que Dieu prolonge leur vie, je veux remercier infiniment pour vos sacrifices, pour vos prières, pour mon bonheur et pour sculpter de moi l'homme d'aujourd'hui.*

*A mes beaux-frères, yacine et Aymen, Je vous souhaite une longue vie pleine de réussites.*

*A ma chère sœur, je la dis merci beaucoup pour son aide et sa présence.*

*A mon cher oncle et mon frère Mourad, je n'oublierai jamais ton aide ton soutien tes conseilles. Je te dis merci beaucoup, que Dieu vous protège, toi et tous les membres de ta famille.*

*A tous mes cousins et cousines : Nabil, Amine, Ayoub, Walid, Yacine, Mohamed, Tigz, Hamza, Marwa, Samira, Siham, faten, Lina, Selma, soulef.*

*A mes chers (es) amis (es) Bilal, Raouf, Badro, Louai, Hayder, Adem, Adel, Ahmed, Hamza, Sadik, Manel, Yamina, Rayan, Choubaila.*

*A tous les membres de la famille AISSANI et la famille CHENNOUF.*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infallible*

*Zakaria*

# Dédicace

*Je dédie ce mémoire :*

*A la plus chère personne dans ce monde « Papa », que ce travail soit un cadeau pour te dire merci pour tout ce que tu as fait pour moi.*

*A ma très chère « Maman », aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma reconnaissance pour les sacrifices que tu n'as cessé de faire.*

*A ma chère grand-mère « Ma Aziza », tu es notre espoir, notre source de bonheur et de joie, merci pour tes conseils ton soutien et ta gentillesse.*

*A la mémoire de mon cher grand père « Djedou » je voulais que tu sois présent et que sois fière de moi.*

*A mon jumeau « Islem », Mon frère, mon ami, pour toute l'aide que tu m'as apporté durant la préparation de ce travail.*

*A mon petit « Adem », Je te souhaite tout le bonheur du monde.*

*Votre affection et votre soutien mes chers frères m'ont toujours été d'un grand secours, je ne vous remercierai jamais assez pour votre amabilité, votre générosité et votre aide précieuse*

*A tous mes oncles, mes chères tantes Spécialement à « khwilaAssia ».*

*A tous mes cousins et cousines :*

*Rayene, Rania, Ghozlene, Racha , Meriem , Aridj, Tanissia, Mouhaned Midou, Rym, Wisal, cerine, soundous, Sahar, Khalil, Abdou, Amine, Badis, Mouhaned, Mehdi, Amir, Ahmed*

*A ma copine, ma moitié, ma confidente et mon âme sœur « Mouna »*

*Tu étais toujours là à mes côtés aux moments de confiance, de folie, d'espérance et de désespérance.*

*A tout ce que j'ai omis de citer leurs noms, je vous dédie ce travail en guise d'estime.*

*Amina*

# **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 Mme ZAIMECHE pour tout le temps qu'elle nous a consacré, aucune expression ne saurait exprimer notre reconnaissance et notre respect.*

*A tout le personnel de la société de la cimenterie de Hamma Bouziane et spécialement Mr Kamel.*

*Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury, docteur TOUATI LAID et madame AMRI SIHEM maitre assistante de l'université de Constantine 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 2019/2020.*

## Résumé

L'objectif de notre stage de fin d'étude s'est basé sur l'évaluation de la qualité des émissions de gaz et de poussières des différentes installations de la cimenterie Djouad Taher située dans la commune de Hamma Bouziane, wilaya de Constantine.

Les résultats de la période de surveillance qui s'est étalée de Janvier 2019 à Juin 2020 démontrent que les taux en SO<sub>2</sub> quantifiés à l'émission au niveau des rejets de la cimenterie sont en dessous du seuil de tolérance fixé par la réglementation algérienne (JORA, 2006).

Pour les émissions en NO<sub>x</sub>, les résultats sont dans l'ensemble conformes à la réglementation durant la période de surveillance de l'année 2019. Par contre une élévation de ces émissions est observée durant l'année 2020 surtout de la période allant d'avril à Juin 2020 où cette concentration est de 5990.05 mg/Nm<sup>3</sup> dépassant ainsi la valeur limite de 1500 mg/Nm<sup>3</sup> et le seuil de tolérance pour les anciennes installations qui est de l'ordre de 1800 mg/Nm<sup>3</sup>.

Contrairement aux SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> le taux du CO estimé au niveau de la cheminée dépasse aussi bien la valeur limite (150 mg/Nm<sup>3</sup>) que le seuil de tolérance (200 mg/Nm<sup>3</sup>) durant toute la période de surveillance.

En dernier, 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 à l'exception des périodes Juillet-Septembre 2019 et Janvier-Mars 2020 où les taux de poussières mesurés est de l'ordre de 37,15 mg/Nm<sup>3</sup> dans le filtre REDECAM et de 40,281 mg/Nm<sup>3</sup> à 45,077 mg/Nm<sup>3</sup> dans les filtres, BK1 et AAF. Ces valeurs dépassent la valeur limite mais restent inférieurs au seuil de tolérance qui est de 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

**Mots clés :** Pollution atmosphérique, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, Poussières, Cimenterie Djouad Tahar, Hamma Bouziane.

## **Abstract**

The objective of this study is to evaluate the quality of gas and dust emissions into the atmosphere from the various cement-manufacturing facilities of the cement factory DjouadTahar situated in the locality of Hamma Bouziane (Constantine).

Continuous monitoring and quarterly in situ measurements carried out to quantify the emissions of the following pollutants  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  and dust during the period from January 2019 to June 2020.

The results obtained show that  $\text{SO}_2$  concentrations are generally in norms of Algerian legislation (JORA, 2006).

However, for the  $\text{NO}_x$ , the results are conforming with the norm in the period of January to June 2019 but a high level of emissions has observed in period of April to June 2020 with  $5990.05 \text{ mg/Nm}^3$ , this value is above the standard ( $1500 \text{ mg/Nm}^3$ ) and the tolerance side authorized ( $1800 \text{ mg/Nm}^3$ ).

Contrary to  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$  the concentration of  $\text{CO}$  is highly compared to the limit value ( $150 \text{ mg/Nm}^3$ ) and the tolerance side ( $200 \text{ mg/Nm}^3$ ) during the all period of surveillance.

Finally, for the dust emissions the values measured are under the limits of Algerian norms ( $30 \text{ mg/Nm}^3$  and  $50 \text{ mg/Nm}^3$ ) in different filters and period of observation. Except for the periods of July-September 2019 and January-Mars 2020, the values calculated are highly compared to the standard ( $30 \text{ mg/Nm}^3$ ) with  $37,15 \text{ mg/Nm}^3$  in filter REDECAM and  $40,281 \text{ mg/Nm}^3$  to  $45,077 \text{ mg/Nm}^3$  in filters BK1 and AAF but under the tolerance side ( $50 \text{ mg/Nm}^3$ ).

**Key Words:** Atmospheric pollution,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ , Dust, DjouadTahar cement factory, Hamma Bouziane.

## ملخص

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو تقييم جودة انبعاث الغاز والغبار في الغلاف الجوي من مختلف مرافق تصنيع الإسمنت في مصنع جواد الطاهر للإسمنت الكائن بحامة بوزيان ولاية قسنطينة خلال الفترة الممتدة من يناير 2019 إلى يونيو 2020 حيث تم إجراء مراقبة مستمرة وقياسات لثاني أكسيد الكبريت، أكسيد النيتروجين، أحادي أكسيد الكربون ومستويات الغبار.

أظهرت النتائج أن تركيزات غاز ثاني أكسيد الكبريت تتوافق بشكل عام مع القوانين المعمول بها لدى الحكومة الجزائرية (JORA, 2006).

بالنسبة لأكسيد النيتروجين الدراسة أظهرت انه خلال فترة 2019 انبعاث التلوث كان تحت الحد المسموح به. بينما خلال فترة ابريل-جوان 2020 انبعاث التلوث تعدى الحد المسموح به حيث سجل  $5990.05 \text{mg}/\text{Nm}^3$ .

فيما يخص انبعاث غاز أحادي أكسيد الكربون فان القياسات المسجلة خلال فترة المراقبة كانت اعلي من الحد المسموح به .

أما قياسات انبعاث الغبار أظهرت التحاليل أن هذه الكمية تعدت الحد المسموح به ( $30 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ ) خلال الفترتين الممتدتين من شهر جويلية - سبتمبر 2019 و جانفي- مارس 2020 حيث سجلت  $37,15 \text{mg}/\text{Nm}^3$  في المصفاة REDECAM,  $40,281 \text{mg}/\text{Nm}^3$  في المصفاة BK1 والمصفاة AAF على التوالي.

**الكلمات المفتاحية:** التلوث الهوائي,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ , الغبار, مصنع الاسمنت جواد الطاهر, حامة بوزيان

## Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Abstract

الملخص

Liste d'abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction..... 1

### Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1. Généralité sur la pollution atmosphérique..... 4

1.1 L'atmosphère..... 4

1.2 Composition de l'atmosphère..... 5

1.3 La pollution..... 5

1.4 Définition de polluants atmosphériques..... 6

1.5 La pollution atmosphérique..... 6

1.6 Niveaux de pollution ..... 7

1.6.1 Niveau local ..... 7

1.6.2 Niveau régional..... 7

1.6.3 Niveau planétaire..... 7

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

1.7.1 Sources naturelles..... 8

1.7.2 Sources anthropiques..... 8

<b>1.8 Les différents types de polluants.....</b>	<b>9</b>
1.8.1 Les polluants primaires.....	9
1.8.2 Les polluants secondaires.....	9
<b>1.9 Les différents polluants atmosphériques.....</b>	<b>9</b>
<b>1.10 Facteurs météorologiques influençant la dispersion des polluants .....</b>	<b>11</b>
1.10.1 Vent .....	11
1.10.2 Température et rayonnement .....	11
1.10.3 Humidité.....	11
1.10.4 La précipitation.....	12
<b>1.11 Dépôt des polluants .....</b>	<b>12</b>
1.11.1 Forme des dépôts atmosphériques .....	13
1.11.1.1 Les dépôts humides .....	13
1.11.1.2 Les dépôts secs .....	13
1.11.1.3 Les dépôts occultes .....	14
1.11.1.4 La sédimentation.....	14
1.11.1.5 L'enlèvement.....	14
<b>1.12 les cycles de la pollution.....</b>	<b>14</b>
1.12.1 le cycle annuel.....	15
1.12.2 Le cycle hebdomadaire .....	15
1.12.3 Le cycle journalier.....	15
<b>1.13 les effets des différents substances polluantes.....</b>	<b>15</b>
1.13.1 effets sur l'environnement au niveau local et régional.....	15
1.13.2 effets sur l'environnement au niveau planétaire.....	16
1.13.3 Impact sur la santé .....	16
1.13.4 Impact sur les matériaux.....	17
<b>2 Types de polluants engendrés par la cimenterie (origine et transformation) .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>).....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Les oxides d'azote (NO<sub>x</sub>) .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Le monoxyde de carbone (CO).....</b>	<b>18</b>

<b>2.4 Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)</b> .....	<b>18</b>
<b>2.5 Les poussières</b> .....	<b>19</b>
<b>2.6 Normes sur la qualité de l'air en Algérie</b> .....	<b>19</b>

## Chapitre 2 : Matériel et méthodes

<b>1 Présentation générale de l'établissement de la cimenterie de Hamma Bouziane SCHB)</b> .....	<b>21</b>
<b>1.1 Historique</b> .....	<b>21</b>
<b>1.2 Localisation</b> .....	<b>21</b>
<b>1.3 Processus de la fabrication du ciment</b> .....	<b>22</b>
1.3.1 L'extraction des matières premières.....	23
1.3.2 La préparation du cru .....	23
1.3.3 La cuisson .....	24
1.3.4 Le refroidissement .....	25
1.3.5 Les ajouts.....	25
1.3.6 Le broyage .....	26
1.3.7 L'expédition.....	26
<b>1.4 Durée et lieu du stage</b> .....	<b>27</b>
<b>1.5 Caractérisations des mesures</b> .....	<b>27</b>
<b>1.6 Échantillonnage et Analyse au niveau de la cimenterie</b> .....	<b>28</b>
1.6.1 L'analyseur multi-gaz ULTRAMAT 23.....	29
1.6.1.1 Domaine d'application.....	29
1.6.1.2 Principes de mesure.....	30
1.6.2 La sonde de détection des poussières DUSTHUNTER T.....	32
<b>1.7 Analyse in-situ des gaz</b> .....	<b>33</b>
1.7.1 Testo350.....	33
1.7.2 Appareil d'analyses des rejets de poussières Dust Emission Monitor (DEM100).....	33

<b>1.8 Traitement des données.....</b>	<b>34</b>
--	-----------

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

<b>1. Résultats et discussion des indicateurs de pollution.....</b>	<b>36</b>
---	-----------

1.1 Les émissions en SO <sub>2</sub> .....	37
--	----

1.2 Les émissions en NO <sub>x</sub> .....	39
--	----

1.3 Les émissions en CO .....	40
-------------------------------	----

1.4 Les émissions de poussière (PM) .....	42
---	----

<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>47</b>
--	-----------

<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>49</b>
---	-----------

## Liste des abréviations

**%** : Pourcentage

**°C** : Degré Celsius

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Alumine

**C** : Carbone

**C2S** :Bélite

**C3A** :Célite

**C3S** : Alite

**C4AF** :Félite

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

**CaSO<sub>3</sub>**: Sulfite de calcium

**CaSO<sub>4</sub>** : Sulfate de calcium

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

**CFC** : Chlorofluorocarbures

**CH<sub>4</sub>** : Méthane

**CO** : Monoxyde de carbone

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**COT** : Carbone Organique Total

**COV**: Composés Organiques Volatils

**COVID 19** : Corona Virus Disease 2019

**COVNM** : Composés Organiques Volatils Non Méthanique

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

**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

**HC** : Hydrocarbures totaux,

**HCl** : Chlorure d'hydrogène

**HF** : Fluorure d'hydrogène

**HNO<sub>3</sub>** : Acide nitrique

**HOCl** : Acide hypochloreux

**Hz** : Hertz

**ISO** : Organisation Internationale de Normalisation

**Kg** : kilogramme

**Km** : Kilomètre

**KV**: Kilo Volte

**KWh** :kilowatt-heure

**m/s** : Mètre par seconde

**m**: Mètre

**m<sup>3</sup>/heure** : Mètre cube par heure

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

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

**Min** : Minute

**Mm**: Millimètre

**N** : Azote

**N<sub>2</sub>** : Nitrogène

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

**NH<sub>4</sub>** : Ammoniaque

**NO**:Monoxyded'azote

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

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

**O<sub>2</sub>**:Oxygène

**O<sub>3</sub>** : Ozone

**OH** : Ion hydroxide

**PCDD** :Polychlorodibenzo-p-dioxines

**PCDF** :Polychlorodibenzo-furanes

**PM** : Particulatematter

**R.H.S** :Res, Humet Sociale

**S** : Soufre

**S.C.H.B** : La société des ciments de Hamma Bouziane

**SiO<sub>2</sub>** : Silice

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

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

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

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau 1:</b> Composition de l'atmosphère	<b>5</b>
<b>Tableau 2:</b> Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère	<b>6</b>
<b>Tableau3:</b> Normes algérienne qualité de l'air à l'émission	<b>19</b>
<b>Tableau 4:</b> Données statistiques des paramètres mesurés (Janv 2019-Juin 2020)	<b>37</b>
<b>Tableau 5:</b> Variations temporelles des taux en poussières émises	<b>42</b>
<b>Tableau 6:</b> Séquences des taux en poussières émises en fonction des emplacements et des périodes.	<b>44</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Schéma structurel de l'atmosphère terrestre	4
<b>Figure 2:</b> Emissions, transformation et dépôts de polluants	12
<b>Figure 3:</b> Schéma simplifié des processus Multiphasiques intervenant au sein d'une Goutte d'eau nuageuse	13
<b>Figure 4 :</b> Localisation géographique de la cimenterie Hamma Bouziane	22
<b>Figure 5:</b> Synoptique de la fabrication du ciment	23
<b>Figure 6:</b> Extraction de la matière première	23
<b>Figure 7:</b> Tour de préchauffage	24
<b>Figure 8 :</b> Four rotatif	25
<b>Figure 9:</b> Aspect du produit semi fini clinker	25
<b>Figure 10 :</b> Broyeur à cru	26
<b>Figure 11:</b> Ensachage du ciment	26
<b>Figure 12:</b> Calendrier de la caractérisation des rejets de la cimenterie Hamma Bouziane	27
<b>Figure 13:</b> Constitution typique d'un réseau des mesures de gaz	28
<b>Figure 14:</b> ULTRAMAT 23, constitution	29
<b>Figure 15:</b> ULTRAMAT 23,clavier à membrane et afficheur graphique	30
<b>Figure 16:</b> ULTRAMAT 23, fonctionnement d un canal infrarouge	31
<b>Figure 17 :</b> ULTRAMAT 23, fonctionnement du détecteur d'oxygene	32
<b>Figure 18 :</b> Systme de mesure DUSTHUNTER T	32
<b>Figure 19 :</b> Appareil de mesure des émissions des gazs-Testo 350	33
<b>Figure 20 :</b> Appareil de contrôle des rejets de poussières-DEM 100	34

<b>Figure 21 :</b> Variations temporelles des émissions moyennes en SO <sub>2</sub> (janv 2019- Juin2020)	<b>38</b>
<b>Figure 22 :</b> Variations temporelles des émissions moyennes en NO <sub>x</sub> (janv 2019- Juin2020)	<b>39</b>
<b>Figure 23 :</b> Variations temporelles des émissions moyennes en CO (janv 2019- Juin2020)	<b>41</b>
<b>Figure 24 :</b> Variations temporelles des émissions de poussières (Janv-déc 2019)	<b>43</b>
<b>Figure 25 :</b> Variations temporelles des émissions de poussières (Janv-juin 2020)	<b>44</b>

# **Introduction**

## **Introduction**

Au XXI<sup>e</sup> siècle, la protection de l'environnement est devenue un enjeu majeur, en même temps que s'imposait l'idée de sa dégradation à la fois globale et locale à cause des activités humaines polluantes. La préservation de l'environnement est un pilier du développement durable.

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 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. Les niveaux de cette pollution dans l'air et au sol dépendent de la nature et des conditions de rejets polluants ainsi que des conditions atmosphériques qui déterminent le transport, la diffusion et les retombées de ces mêmes polluants (Makhdoumi, 2019).

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 (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>) mais surtout les émissions de poussières à tous les niveaux de la production. De cela leur diffusion, concentration et dispersion continues dans l'air provoque des maladies respiratoires.

Toutefois ce processus ne cesse d'être amélioré avec des technologies nouvelles afin de réduire les impacts sur l'environnement (Henni et al. 2011).

Le ciment est fabriqué à partir de matières premières ; calcaire et argile, extraits des carrières. Les matières premières sont préparées et homogénéisées sous forme soit de pâte liquide, soit de poudre sèche selon le procédé employé : voie sèche ou voie humide. Le produit est clinkérisé dans des fours de très grandes dimensions, le clinker est ensuite broyé avec des matières d'ajouts : pouzzolane, gypse, laitier ... etc., variant avec la qualité du ciment fabriqué, ces ajouts minéraux sont largement utilisés dans la production des ciments à travers le monde (Beninak, 2014).

La cimenterie «Djouad Tahar» localisée dans la commune de Hamma Bouziane Wilaya Constantine, est implantée dans cette région depuis les années 70. Cette cimenterie utilise différents gaz de combustion au niveau des fours de cuisson : le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), l'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Cette cimenterie rejette dans l'air de la fumée ainsi que des émissions de poussières(CE, 2007).

Pour évaluer l'impact de la pollution par les différents rejets de la cimenterie Djouad Tahar sur l'environnement nous avons effectué une période de stage au niveau de cette entreprise. Cette période de stage nous a permis de réaliser notre thème de mémoire de Master.

Le travail présenté dans ce mémoire a pour objet :

- ❖ La détermination ou l'identification des polluants atmosphériques générés par la cimenterie Djouad Tahar de Hamma Bouziane, wilaya de Constantine.
- ❖ Faire un suivit analytique (quantitatif) de ces polluants à savoir : les NO<sub>x</sub>, les SO<sub>x</sub>, les CO<sub>x</sub> et les poussières en utilisant des analyseurs spécifiques présents au sein de la cimenterie.

On a structuré notre mémoire en 3 chapitres :

- ❖ Le premier chapitre sera consacré à une synthèse bibliographique sur la pollution de l'air, les différents polluants, leurs sources et impacts sur l'environnement et spécialement ceux engendrés par la cimenterie.
- ❖ Dan sun deuxième chapitre, on s'intéresse à la présentation de la cimenterie Djouad Tahar de Hamma Bouziane :sa localisation et les différents procédés de fabrication du ciment. Dans ce même chapitre, sont décrits les différents matériaux 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.

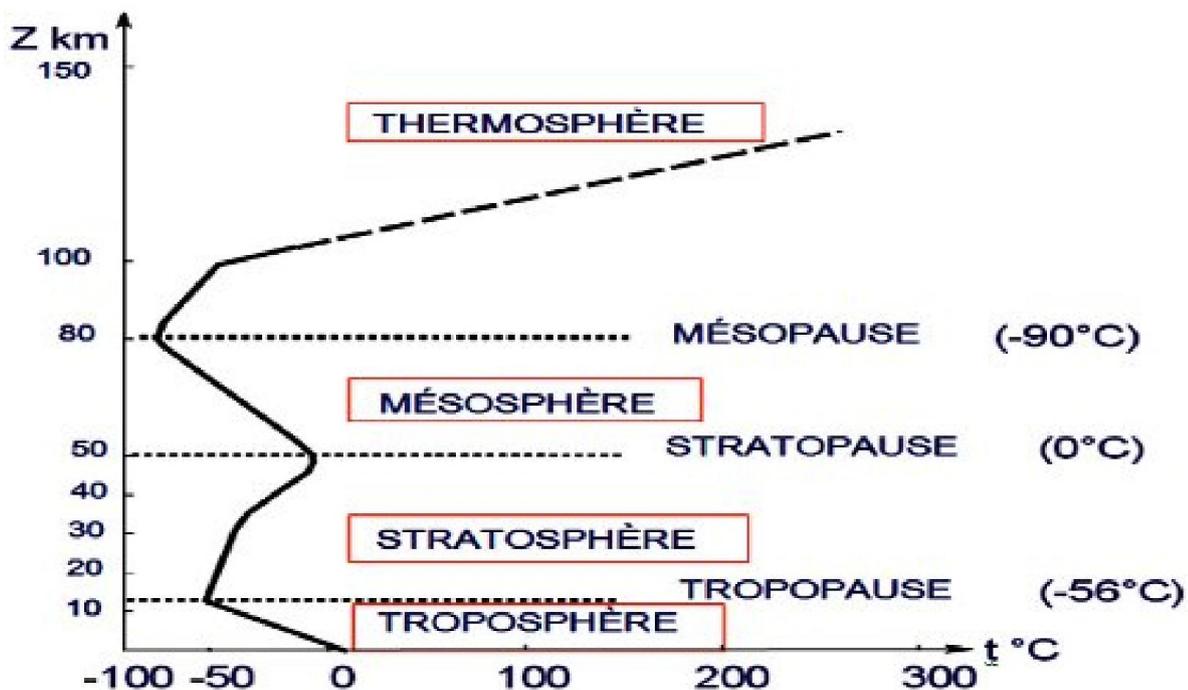
# **Chapitre 1 : Synthèse bibliographique**

## 1. Généralité sur la pollution atmosphérique :

### 1.1 L'atmosphère :

La contamination de l'atmosphère est souvent transitoire car ce compartiment constitue un lieu important de transfert de pollution vers les eaux et les sols par l'intermédiaire des précipitations sèches ou humides.

L'atmosphère terrestre est la couche gazeuse entourant la terre. Elle a un rôle protecteur très important, permettant la vie sur la planète. Elle protège la terre de certains rayonnements cosmiques et solaires. Elle peut être décrite comme une superposition de quatre régions, du niveau le plus élevé en altitude au niveau le plus bas : la thermosphère, la mésosphère, la stratosphère et la troposphère (Fig. 1). Les couches de transition sont des zones de transition où les gradients de température verticale changent de signe (Elichegaray, 2008).



**Figure 1:** Schéma structurel de l'atmosphère terrestre (Vendell, 2011)

Le terme «air pur» est fréquemment utilisé pour décrire un air «naturel» exempt de tout polluant, qui ne serait constitué exclusivement que d'azote ( $N_2$ ) et d'oxygène ( $O_2$ ). L'air pur n'existe pas et il n'a jamais existé naturellement car la composition réelle de l'atmosphère résulte de processus à la fois physiques à savoir la combustion, l'évaporation, la condensation et le dégazage des roches, biologiques telle que la fermentation et chimiques complexes qui existent depuis la formation de la terre (Ramade, 2002).

## 1.2 Composition de l'atmosphère

L'atmosphère actuelle est composée essentiellement d'azote (78,01% en volume) et d'oxygène (20,95%) elle renferme en outre un nombre élevé de gaz sous forme de traces dont les plus importants sont l'argon (0,93%) et le CO<sub>2</sub> (360 ppm) (tab.1). L'eau atmosphérique se présente à la fois à l'état de vapeur et d'aérosol ; fines gouttelettes de diamètre inférieur ou égale à 20 unités constituant les brouillards et les nuages. (Ramade, 2000).

**Tableau 1** : Composition de l'atmosphère (Ramade, 2000)

Gaz	Symbole chimique	Pourcentage dans l'air (%)
Azote	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>78.01</b>
Oxygène	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>20.95</b>
Argon	<b>Ar</b>	<b>0.93</b>
Dioxyde de carbone	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>0.036</b>
Néon	<b>Ne</b>	<b>18.18 .10<sup>-4</sup></b>
Hélium	<b>He</b>	<b>5.239 .10<sup>-4</sup></b>
Krypton	<b>Kr</b>	<b>1.139 .10<sup>-4</sup></b>
Hydrogène	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>0.5 .10<sup>-4</sup></b>
Xénon	<b>Xe</b>	<b>0.086 .10<sup>-4</sup></b>
Radon	<b>Rn</b>	<b>6 .10<sup>-18</sup></b>

## 1.3 La pollution

Toute modification directe ou indirecte de l'environnement provoquée par tout acte qui provoque ou qui risque de provoquer une situation préjudiciable pour la santé, la sécurité, le bien-être de l'homme, la flore, la faune, l'aire, l'atmosphère, les eaux, les sols et les biens collectifs et individuels (JORA, 2003).

## 1.4 Définition de Polluants atmosphériques

Sont des substances gazeuses ou particulaires introduites par les activités humaines dans l'atmosphère ou naturellement présentes dans cette dernière mais dont la concentration est accrue par suite de diverses sources technologiques (Ramade, 2000).

## 1.5 La pollution atmosphérique

Plusieurs définitions ont été développées pour expliquer la pollution de l'atmosphère.

En Algérie, les pouvoirs publics ont défini la pollution atmosphérique, à travers l'article 4 de la Loi N° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, comme suit : « la pollution atmosphérique est l'introduction de toute substance dans L'air ou l'atmosphère provoquée par l'émanation de gaz, de vapeur, de fumée ou de particules liquides ou solides susceptibles de porter préjudice ou de créer des risques au cadre de vie » (JORA, 2003).

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE, 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 ».

Le tableau 2 renseigne sur l'ordre de grandeur de la durée de vie dans l'atmosphère de quelques polluants :

**Tableau 2 :** Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère (Lacour, 2001).

Substances	Durée de vie des polluants dans l'air
CH <sub>4</sub>	Année
CO	Mois
SO <sub>2</sub>	Jours à mois
OZONE	Quelque jour
COV	Heurs à jours
Aérosols 1-10µm	Minutes à jours
Aérosols 1 µm	Jours à semaines

## **1.6 Niveaux de Pollution :**

On distingue trois niveaux de pollutions : local, régional et planétaire. La pollution locale est principalement incriminée car elle a un impact sur l'homme et sur sa santé à plus ou moins long terme, en raison notamment de sa propension à favoriser de nombreuses maladies.

### **1.6.1 Niveau local :**

Elle est rencontrée au voisinage direct des sources d'émissions comme les foyers industriels de combustion, les axes de circulation, le chauffage domestique, l'incinération de déchets, etc. Elle engendre des pollutions de proximité et des nuisances olfactives à des distances inférieures à quelques kilomètres. Son impact sur la santé dépend de la durée d'exposition, de l'état général et de l'âge des personnes concernées (Ouzid, 2017).

### **1.6.2 Niveau régional :**

Dite aussi « méso échelle » pour la connaissance de la pollution sur une zone de 100 à 1000 km et pour décrire la pollution transfrontière. La pollution photochimique avec la formation d'ozone à partir de polluants primaires, sous l'effet du rayonnement solaire et la pollution acide (liée au dioxyde de soufre, et aux oxydes d'azote...) est à l'origine des pluies acides qui entraînent le dépérissement des forêts et la dégradation des sols. La pollution régionale peut être constatée jusqu'à plus de mille kilomètres autour de sa source (Masclat, 2005).

### **1.6.3 Niveau planétaire :**

On distingue deux phénomènes, la dégradation de la couche d'ozone à très haute altitude (stratosphère), observée depuis quelques années, diminue la protection contre les rayons solaires nocifs et augmente la fréquence d'apparition des mélanomes et autres cancers de la peau. Par ailleurs, l'accroissement de l'effet de serre, dû à l'accumulation de certains gaz (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote...), est responsable du réchauffement climatique (Ouzid, 2017).

## **1.7 Nature et origine de la pollution atmosphérique**

D'origine naturelle ou anthropique, les substances émises peuvent être de nature physique (radioactivité, énergie, etc.), chimiques (gaz, particules, aérosols, etc.) ou biologiques (pollens, acariens, moisissures ...). Cette première partie présente succinctement les sources de la pollution atmosphérique ayant directement ou indirectement un impact sur la

santé et en se limitant aux rejets chimiques d'origine anthropique (hors gaz à effet de serre et hors semi-volatils comme les pesticides).

### 1.7.1 Sources naturelles

Il s'agit des sources induisant des rejets et des substances polluantes naturellement dans l'atmosphère, parmi ces émetteurs, on peut distinguer :

- Les feux de biomasse (Forêts, Savanes) qui rejettent du carbone particulaire, du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et des oxydes d'azote (NO, NO<sub>2</sub>).
- La respiration des plantes qui émette des COV (isoprène, terpènes)
- Emissions biogéniques des sols par les plantes, arbres et les débris de végétaux (humus) qui émettent des particules organiques, des cristaux des protoxydes d'azote (N<sub>2</sub>O) et du méthane (CH<sub>4</sub>)
- Les émissions biogéniques par les océans qui émettent des DMS, des particules ioniques (Sulfate, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) (Zamoum, 2019).

### 1.7.2 Sources anthropiques

On appelle source atmosphériques anthropiques les émissions d'origine humaine, dont la distinction se fait couramment d'après la nature des sources d'émissions (sources mobiles ou immobiles). La majorité des activités humaines est à l'origine, directe ou indirecte, d'émissions de polluants. Parmi ces émetteurs, on distingue :

- **L'agriculture et l'élevage des animaux** : le fonctionnement de ces sources est proche de celui de sources naturelles. Les rizières et les décharges d'ordures agricoles sont fortement émettrices de méthane. L'élevage est également une source d'ammoniac atmosphérique et l'emploi d'engrais azoté cause en le lieu l'augmentation continue du N<sub>2</sub>O (Zamoum, 2019).
- **La circulation automobile** : elle est presque partout dans le monde la source de pollution majeure. Ces polluants restent assez localisés dans les grandes cités urbaines (Masclat, 2005). Si la combustion était complète, la totalité du carburant se transformerait en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O. En réalité elle est incomplète et le véhicule émet aussi du Soufre, du monoxyde d'azote et du monoxyde de carbone (Louadah, 2016).
- **Les combustibles fossiles et production d'énergie** : Les émissions de polluants dans l'atmosphère dues à la combustion des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) interviennent dans de nombreux secteurs d'activités ; les principaux sont les transports et la production d'énergie (Ramade, 2000). Parmi les polluants émis par ce secteur on distingue les NO<sub>x</sub>, les SO<sub>2</sub>, les COV, le CO et le CO<sub>2</sub>.

- **Les sources industrielles** : La pollution atmosphérique d'origine industrielle est d'autant plus mal connue que sa popularisation par les media, en attirant l'attention sur des incidents, laisse dans l'ombre la pollution régulière, ou donne à son sujet qu'une information sans que l'aspect spatial soit pris en compte. Les rejets atmosphériques des cimenteries et des usines chimiques ne sont pas négligeables, principalement pour les CO les CO<sub>2</sub> ou les NO<sub>x</sub> (Zamoum, 2019).

## **1.8 Les différents types de polluants :**

### **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).

### **1.8.2 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).

## **1.9 Les différents polluants atmosphériques :**

### **a. 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).

### **b. Monoxyde de carbone (CO) :**

À la température ambiante, le monoxyde de carbone (CO) est un gaz incolore, inodore et sans goût. Il est très peu soluble dans l'eau. Son poids moléculaire est de 28,01g. Sa densité par rapport à l'air est 0,97 ce qui explique sa rapide diffusion à partir du moment où il est émis. La molécule de CO est stable au-dessus de 1000° C. En dessous de cette température, elle peut se décomposer selon l'équilibre réversible suivant :



Le monoxyde de carbone provient de la combustion incomplète (par manque d'oxygène) des produits carbonés. Il est majoritairement émis par le transport mais aussi par diverses activités industrielles (la production de l'énergie thermique et électrique), par la nature (la fermentation qui a lieu dans la biosphère, les volcans, les feux de végétation) et par le chauffage collectif (Kanda, 2004).

**c. Dioxydes d'azote (NO<sub>2</sub>) :**

Le monoxyde NO et le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> sont la plus part du temps étudiés simultanément et exprimés sous la forme de NO<sub>x</sub>. Le NO est un gaz incolore, légèrement soluble dans l'eau (Koller, 2004).

Dans l'atmosphère, en présence de photons de lumière hv, le NO se combine rapidement avec l'ozone pour former le NO<sub>2</sub> (Westerdahl, 2009) :



**d. Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>):**

Appelé aussi Anhydride sulfureux, le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> est un gaz incolore plus lourd que l'air, inflammable, soluble dans l'eau avec une odeur piquante. C'est le polluant classique par excellence, car l'un des mieux étudiés. Il a été pris comme témoin de la pollution atmosphérique depuis de nombreuses années. Dans les grandes villes industrielles, il se lie aux particules pour former les "complexes- SO<sub>2</sub> ". En présence d'humidité et d'oxydants, il se transforme en acide sulfurique (Louadah, 2016).

**e. Les particules :**

Le terme "particules" concerne, en général, les aérosols créés par la dispersion dans l'air de solides et de liquides atomisés, poudres ou gouttelettes et implique donc les termes de poussières, fumées, suies, brumes, brouillard, smog.

Les particules fines de différentes classes granulométriques PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>1</sub> constituent un important facteur de pollution de l'air, particulièrement en milieu urbain où le trafic routier est dense.

Les particules en suspension dans l'atmosphère sont engendrées par une grande variété de processus physiques (condensation de vapeurs saturées, érosion mécanique de matériaux) et chimiques. Elles sont émises dans l'atmosphère à partir de sources nombreuses, parmi lesquelles les combustions, les procédés industriels (sidérurgies, charbonnages cimenteries, etc.) et les phénomènes naturels (volcans et feux de forêts). Parmi les véhicules à moteur, les véhicules Diesel sont les principaux émetteurs de particules (suies et fines). Elles contiennent des substances toxiques comme des métaux lourds ou des hydrocarbures (Louadah, 2016).

Souvent, les particules sont classées en fonction de leur granulométrie (CE, 2007) :

- PM10 : particule en suspension dans l'aire, d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10  $\mu\text{m}$ .
- PM2.5 : dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2.5  $\mu\text{m}$ , appelée « particule fine».
- PM1.0 : dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 1,0  $\mu\text{m}$ , appelée « particule très fine».
- PM 0,1 : dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 0.1 $\mu\text{m}$ , appelée « particule ultra fine» ou nanoparticule.

La composition chimique des particules est également un paramètre très important pour les études de pollutions atmosphériques.

## **1.10 Facteurs météorologiques influençant la dispersion des polluants :**

### **1.10.1 Vent :**

Le vent est un mouvement d'air visant à rétablir l'équilibre entre les zones de haute pression (les anticyclones) et les zones de basse pression (les dépressions). C'est un facteur essentiel expliquant la dispersion polluante. Le vent intervient tant par sa direction pour orienter les émissions dans une direction que par sa vitesse pour les diluer. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent. En revanche, lorsque les vents sont faibles, le poids de l'influence du relief local est fort et des brises apparaissent au gré des contrastes thermiques (Lacour 2001 ; Koller, 2004).

### **1.10.2 Température et rayonnement :**

Ces deux paramètres, fortement corrélés, agissent sur la chimie des polluants ; le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que le rayonnement estival est favorable aux réactions photochimiques (Ramade, 2002).

### **1.10.3 Humidité :**

Un des principaux rôles de l'humidité est le « captage » des particules polluantes par les gouttelettes d'eau en suspension. En retenant les polluants, elles accroissent leur stagnation et peuvent finir par concentrer ces substances, ce qui n'est pas sans conséquences en montagne, où pluies et brouillards sont plus fréquents (Masclat, 2005).

### **1.10.4 La 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 »,

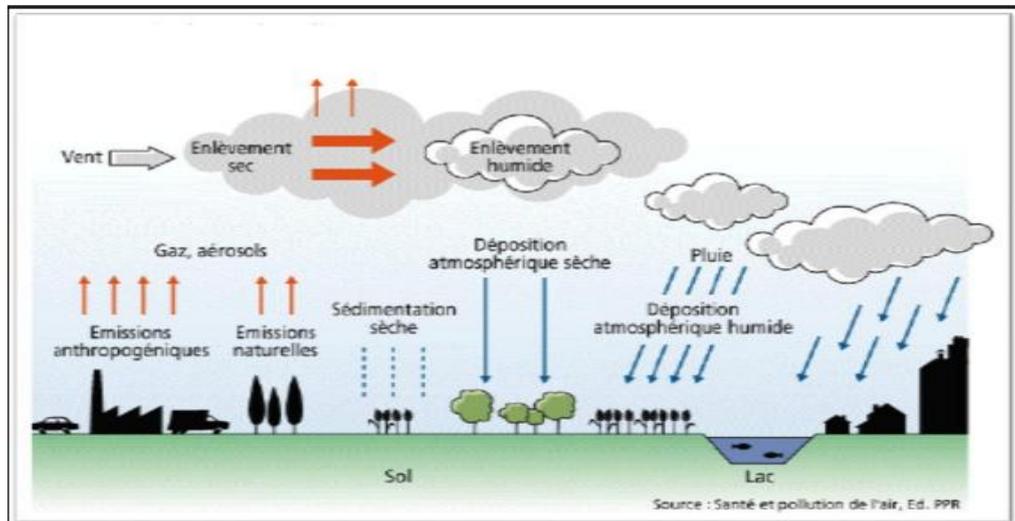
- Lessivage des particules sous le nuage « Under cloud ».

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).

Dans les deux cas, la pollution est beaucoup plus faible lorsqu'il pleut car elle est purifiée, mais il peut y avoir transfert de pollution de l'air vers les sols ou les eaux de surface.

### 1.11 Dépôt des polluants :

Dans le langage courant, les phénomènes de retombée de la pollution atmosphérique sont improprement appelés « pluies acides ». Le terme est effectivement peu approprié car la réalité des dépôts de polluants atmosphériques est plus variée et sont loin d'avoir lieu uniquement sous forme humide. On préférera les termes de dépôt, déposition, retombée de polluants ou retombée atmosphérique ; termes qui correspondent mieux aux divers modes de transfert des polluants primaires ou secondaires de l'air, sous forme solide, liquide, ou gazeuse vers le sol (fig. 2).



**Figure 2:** Emissions, transformation et dépôts de polluants (CITEPA, 2001).

#### 1.11.1 Forme des dépôts atmosphériques :

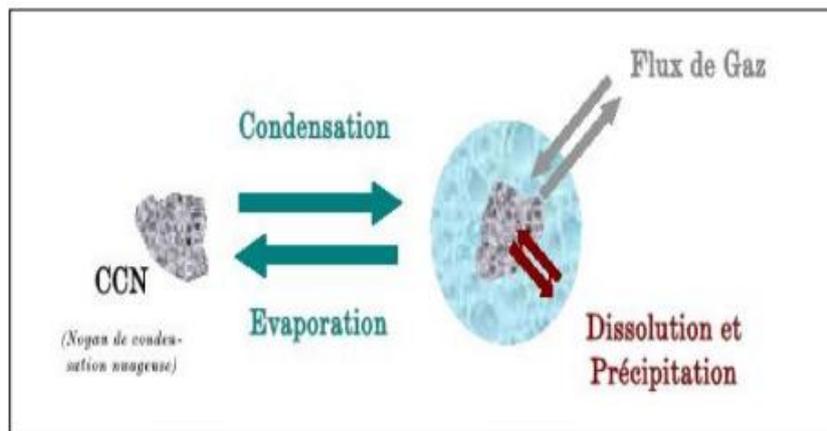
Les dépôts ont lieu sous forme sèche ou humide. Quelques processus intermédiaires peuvent être distingués :

### 1.11.1.1 Les dépôts humides :

Ils proviennent des précipitations (pluie, neige, bruine, brouillard, brume, givre). Ces dépôts résultent de la solubilisation des polluants gazeux au sein de gouttelettes formées autour de fines particules, ou de l'entraînement mécanique des particules au cours d'événements pluvieux (Malbreil, 1997).

L'atmosphère est un milieu complexe dans lequel coexistent des espèces gazeuses, des particules solides d'aérosols et des gouttelettes liquides. Les interactions pouvant avoir lieu entre ces différentes phases sont regroupées sous le terme de chimie multiphasique (fig. 3).

Il s'avère toutefois que les interactions impliquant ces deux phases permettent des réactions qui ne peuvent se faire en phase gazeuse homogène telles que les réactions de surface ou les réactions incluant des espèces ioniques (Desboeufs, 2001).



**Figure 3:** Schéma simplifié des processus Multiphasiques intervenant au sein d'une Goutte d'eau nuageuse (Desboeufs, 2001).

Une croissance importante de la taille des gouttes peut aboutir à la formation de précipitations. Les grosses gouttes formées, principalement par collision ont une masse assez élevée pour tomber, entraînant les plus petites gouttes sur leur passage.

### 1.11.1.2 Les dépôts secs :

Ils sont composés de gaz et de diverses particules solides (poussières, aérosols, etc.). De taille généralement inférieure à  $2\mu\text{m}$ , et ils constituent pour les polluants gazeux, un transfert des molécules de gaz depuis l'atmosphère jusqu'à la surface du sol ou de l'eau (Lorenzini, 1992).

### **1.11.1.3 Les dépôts occultes :**

Ce terme est parfois employé pour distinguer les dépôts humides sous forme de pluies, des dépôts humides se faisant par interception : un flux d'air plus ou moins humide (brume, brouillard, essentiellement) frôle la végétation qui capte alors les polluants (Mazoue, 1994). Ce processus peut avoir une réelle influence. C'est le cas des brouillards et bruines en montagne où le phénomène est fréquent (Jussy, 1998).

### **1.11.1.4 La sédimentation :**

Ce terme désigne le dépôt des particules les plus grosses sous leur propre poids (force gravitaire). Ce phénomène se produit à proximité des sources. Les particules plus fines, se comportant comme des gaz, peuvent être transportées plus loin et participent à la déposition sèche ou humide (Belhadj, 2015).

### **1.11.1.5 L'enlèvement :**

#### **a. L'enlèvement sec: « Dryremoval »:**

Désigne un processus de coagulation et d'agglomération de fines particules sur d'autres particules, plus grosses (Mazoue, 1994).

#### **b. L'enlèvement humide : « Wetremoval »:**

Correspond à l'absorption de gaz et d'aérosols par les microgouttelettes des nuages et du brouillard. Les enlèvements (sec et humide) entraînent la concentration des polluants dans l'air et concourent ainsi à diminuer les teneurs. Le dépôt peut se faire par interception : flux d'air plus ou moins humide frôlant la végétation qui capte alors les polluants (Mazoue, 1994).

## **1.12 Les cycles de la pollution :**

Si les « **polluants** » émis naturellement par les écosystèmes obéissent à des cycles (Les émissions varient selon les saisons), il en est de même pour ceux d'origine anthropique dont les teneurs évoluent en fonction de deux facteurs principaux : les conditions météorologiques et les fluctuations des émissions. Ces deux éléments sont eux-mêmes régis par un fonctionnement à plusieurs cycles : cycle annuel, hebdomadaire, et journalier.

### **1.12.1 Le cycle annuel :**

Les concentrations des différents polluants évoluent au fil des mois. Elles permettent de mettre en évidence, soit l'influence de la saison dans les émissions de polluants (ceux liés au chauffage ou à l'augmentation des besoins en électricité), soit l'influence directe de conditions météorologiques particulières sur le comportement des polluants (transformation chimique notamment : stabilité atmosphérique plus ou moins marquée) (Belhadj, 2015).

### **1.12.2 Le cycle hebdomadaire :**

Si les conditions météorologiques ne connaissent pas de cycle hebdomadaire, la semaine rythme en revanche les activités humaines : les émissions varient fortement entre les jours ouvrés et les week-ends (trafic, activité économique) (Roul, 1998 ; Durrieu, 1999).

### **1.12.3 Le cycle journalier :**

A l'échelle de la journée, on observe des variations dans les émissions liées aux activités humaines (heures de pointes) ainsi que les grands phénomènes physiques et chimiques induits par le cycle solaire (variation de l'ensoleillement). Les conditions dispersives évoluent au long d'une journée complète : stabilité des basses couches pendant la nuit, conditions dispersives plus favorables pendant la journée d'une manière globale, le cycle journalier met en évidence de grandes différences entre le jour et la nuit (Roul, 1998).

## **1.13 Les effets des différentes substances polluantes :**

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).

### **1.13.1 Effets sur l'environnement au niveau local et régional :**

#### **• Les pluies acides :**

Les pluies acides sont un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluies, neige, grêles, brouillard). Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et les dioxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) sont les principales causes de pluies acides.

Ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ou des sels. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émissions, (pollution transfrontière à longue distance). Ceci concourt à des dépôts acides et à l'acidification accrue des pluies par rapport à celles résultante de la seule présence de gaz carbonique dans l'air, ce qui fait que le pH « naturel » d'une pluie est toujours acide, de l'ordre de 5,6.

D'autres polluants peuvent contribuer aux pluies acides, notamment l'acide chlorhydrique émis par incinération de certains déchets plastiques, ou l'ammoniac des activités agricoles. Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà acides. Ceci peut se répercuter par des atteintes sur la faune et la flore aquatique, des carences nutritives engendrent des chutes de rendement et des lésions visibles chez les végétaux, ainsi que des jaunissements et la défoliation des arbres (Beyer et al, 1990).

### **1.13.2 Effets sur l'environnement au niveau planétaire :**

#### **• L'effet de serre :**

L'effet de serre est avant tout un phénomène naturel indispensable, sans lequel la température moyenne de la surface de la terre avoisinerait les moins 18° C, interdisant toute forme de vie. Agissant comme les vitres d'une serre, certains gaz présents dans l'atmosphère « piègent » les rayons infrarouges, ce qui provoque une hausse de la température. La vapeur d'eau, le méthane, les chlorofluorocarbures (CFC) et spécialement le gaz carbonique (ou de dioxyde de carbone, CO<sub>2</sub>) sont les principaux responsables de l'effet de serre.

Depuis 1750, les analystes observent une modification notable de la concentration de ces gaz à effet de serre dans l'atmosphère, notamment du CO<sub>2</sub>, avec une augmentation estimée à 30 %. L'un des principaux effets attribués à cette progression est le réchauffement de la planète.

Même si ces changements climatiques ne peuvent être seulement attribués à l'effet de serre et à l'activité humaine, toutes les analyses s'accordent pour confirmer l'influence de ces activités sur ces changements (AFSSET, 2006).

### **1.13.3 Impact sur la santé :**

Les polluants atmosphériques pénètrent dans l'organisme par 3 voies possibles :

-les voies respiratoires : par inhalation (voie principale). De nombreuses enquêtes épidémiologiques et tests toxicologiques montrent que les atteintes respiratoires (irritation des muqueuses des voies aériennes et augmentation de certaines pathologies comme l'asthme, bronchiolites, allergies...) sont plus fréquentes dans les zones de forte pollution atmosphérique. La majorité des gaz atteint les alvéoles pulmonaires. Les particules, quant à elles, y pénètrent plus ou moins selon leur taille.

-la voie digestive : par ingestion d'aliments contaminés par retombées des polluants sur le sol et dans l'eau. (Dioxines issues de certains processus de combustion que l'on retrouve dans le lait de vaches, pesticides, métaux lourds).

-les voies cutanées (mode marginal de pénétration) : concerne quelques toxiques (ex : insecticides) pouvant traverser la peau pour pénétrer dans l'organisme et provoquer des pathologies (Belhadj, 2015).

### **1.13.4 Impact sur les matériaux :**

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide (surtout liées au SO<sub>2</sub>) qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. Il s'agit bien souvent de la décomposition de certaines pierres calcaires sous l'effet des acides. Les particules interviennent plutôt sur les aspects de salissures des bâtiments. La pollution

atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façade ou de restauration des monuments (Belhadj ,2015).

## **2. Types de polluants engendrés par la cimenterie (origine et transformation) :**

Dans l'industrie du ciment, les principaux rejets vers l'atmosphère sont constitués essentiellement par les poussières pendant l'extraction et fabrication du ciment, les gaz de combustion au niveau des fours de cuisson mais surtout par les émissions de poussières à tous les niveaux de production du ciment (de l'extraction de la matière première au niveau des carrières jusqu'à l'ensachage du ciment).

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  $\text{SO}_2$ , les  $\text{NO}_x$ , le CO, le  $\text{CO}_2$  et les poussières.

### **2.1 Le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) :**

Est le principal oxyde de soufre émis par les cimenteries. Ces émissions sont essentiellement la conséquence de la présence de soufre dans la pierre (présence de pyrite ou de soufre organique) et ne dépendent généralement pas directement de la combustion de déchets. Les émissions de  $\text{SO}_2$  sont donc fortement dépendantes du gisement exploité, ce qui explique des différences parfois importantes entre les émissions des différents fours.

Le  $\text{SO}_2$  est également responsable du phénomène de « smog acide », mélange de  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  (Makhdoumi, 2019).

### **2.2 Les oxydes d'azote ( $\text{NO} + \text{NO}_2 = \text{NO}_x$ ) :**

La cuisson du clinker est un procédé à haute température qui entraîne la formation d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ). 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. Il existe deux grandes sources de production de  $\text{NO}_x$  :

- Les NOx thermiques : À haute température, l'azote de l'air (sous forme de N<sub>2</sub>) réagit avec l'oxygène de l'air pour former des oxydes d'azote. Il s'agit du principal mécanisme de formation d'oxydes d'azote dans la flamme du four.

- Les NOx combustibles : Lors de la combustion, les composés contenant de l'azote, lié chimiquement dans le combustible, réagissent avec l'oxygène de l'air et forment des oxydes d'azote (CE, 2010).

### **2.3 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. On aura :



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.

### **2.4 Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) :**

Est l'un des principaux gaz à effet de serre. En cimenterie, plusieurs sources d'émissions de CO<sub>2</sub> sont identifiables, toutes liées au processus de fabrication du ciment. Il en va ainsi pour :

- L'utilisation des combustibles (combustibles fossiles et de substitution). C'est ce que l'on appelle le CO<sub>2</sub> énergétique direct.

- L'utilisation de l'électricité, principalement dans les installations de broyage. C'est le CO<sub>2</sub> énergétique indirect (ces émissions ne représentent qu'une petite partie du total).

- Le processus chimique. Dans le four à clinker, le calcaire (principale matière première du ciment) est soumis à des températures très élevées et subit une réaction chimique appelée calcination. Le calcaire se décompose alors en chaux (CaO) et en CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> sous-produit de cette réaction est appelé CO<sub>2</sub> de procédé (Makhdoumi, 2019).



### **2.5 Les poussières :**

La pollution par les poussières représente la forme de pollution la plus importante au niveau des cimenteries. Leur granulométrie 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 (CE, 2010).

## 2.6 Normes sur la qualité de l'air en Algérie :

En Algérie, les normes pour l'air à l'émission et l'ambient sont énoncées dans le règlement sur la qualité de l'atmosphère (ministère de l'Environnement et l'Aménagement de territoire) 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 solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exercent leur contrôle (tab. 3).

**Tableau 3 :** Normes algériennes de la qualité de l'air à l'émission

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérance pour les installations anciennes
Poussières	mg/Nm <sup>3</sup>	30	50
SO <sub>2</sub>		500	750
NO <sub>x</sub>		1500	1800
CO et CO <sub>2</sub>		150	200

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

## **1 Présentation générale de l'établissement (cimenterie de Hamma Bouziane-SCHB) :**

### **1.1 Historique:**

Vu le besoin en matériaux de construction, l'état algérien a implanté dans l'Est du pays une unité de production du ciment. La cimenterie « DJOUAD Tahar » est entrée en production en 1982. Sa capacité nominale de production est de 3000 tonnes/j de clinker, destinée essentiellement à la fabrication de ciment CPA 400, CPA 325 et éventuellement CPAZ (pouzzolanes).

L'énergie électrique nécessaire à la production est fournie par deux lignes de 60 Kv (Kilo volts). L'énergie thermique nécessaire au séchage du cru et la cuisson est fournie par le gaz naturel; cette cimenterie utilise le procédé à « voie sèche » qui est un procédé économique.

La fabrication d'une tonne du ciment nécessite :

- ☛ 1600 kg de matière première.
- ☛ 0.080 à 0.085 tonnes d'Eq de pétrole.
- ☛ 90 à 110 kilowatt/heure.

L'usine est pratiquement implantée sur trois niveaux :

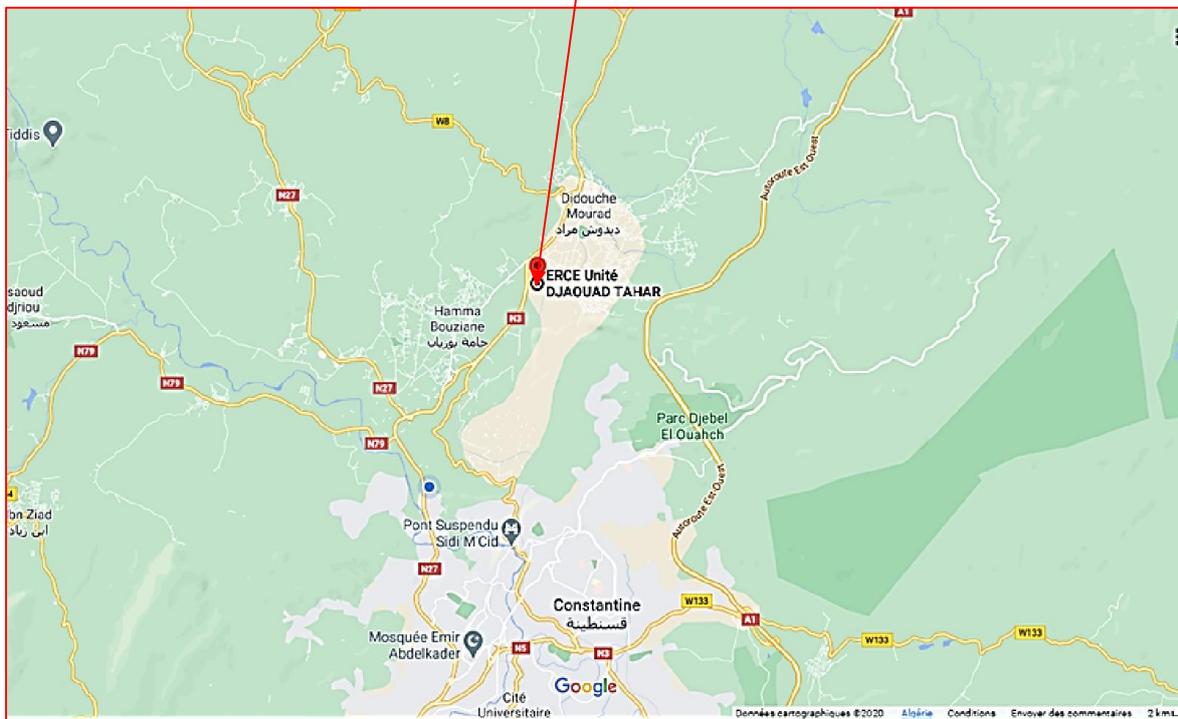
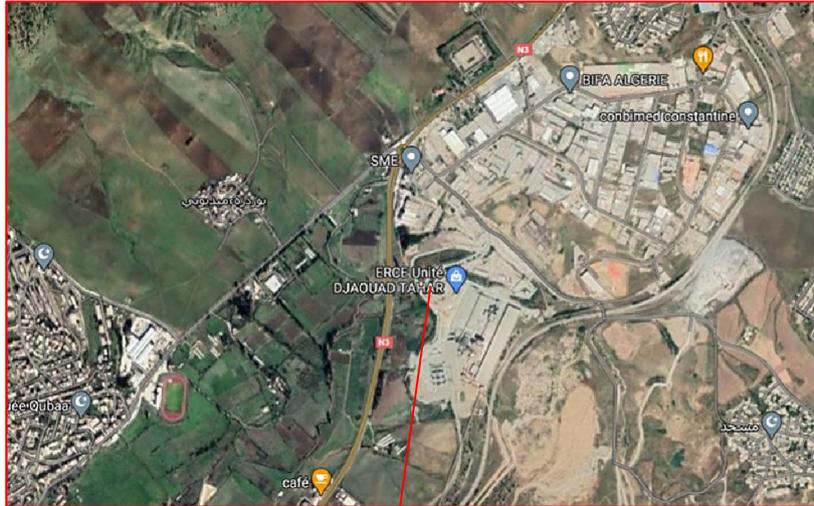
- ☛ Un premier niveau pour la pré-homogénéisation.
- ☛ Un second niveau où sont regroupés les équipements de production du ciment.
- ☛ Une troisième plate-forme essentiellement réservée à l'ensachage, l'expédition et le stockage des ajouts.

L'équipement de production de clinker, de broyage du cru, d'homogénéisation et de cuisson sont implantés en ligne.

La société des ciments de Hamma Bouziane est certifiée ISO 9001 V2008 au system management qualité depuis l'année 2007 et ISO 14001 depuis sa mise à jour en 2015.

### **1.2 Localisation :**

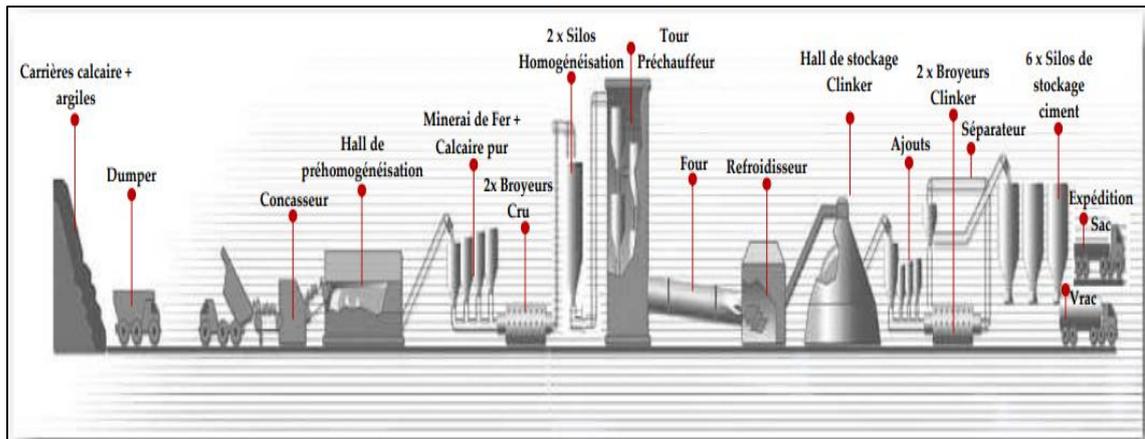
La cimenterie se trouve sur la route nationale N°3. Elle se situe à 12 km de Constantine et à 7 km de Hamma Bouziane à une altitude de 525 m (fig. 4). Elle s'étale sur une superficie de 129 ha (EHS, 2010).



**Figure 4:** Localisation géographique de la cimenterie Hamma Bouziane (Google Maps)

### 1.3 Processus de fabrication du ciment :

La majorité des cimenteries modernes utilise le procédé dit « en voie sèche », qui est le plus économique en consommation d'énergie (environ 0,9 KWh, par kg de clinker). Le procédé de fabrication du ciment consiste à « cuire », à haute température (1450 °C), un mélange de calcaire et d'argile, convenablement dosé et broyé sous la forme d'une « farine crue » (Ouzid, 2017). Il est entièrement automatisé depuis la carrière jusqu'aux expéditions (fig. 6), le suivi de la marche des ateliers se fait Online depuis la salle de contrôle.



**Figure 5 :** Synoptique de la fabrication du ciment

La fabrication du ciment repose sur 7 étapes principales :

### 1.3.1 L'extraction des matières premières :

Les matières premières qui entrent dans la fabrication du ciment sont extraites de la carrière située à Kef Salah, à proximité de la cimenterie, à partir des gisements calcaire de 160 ha et argiles brune et rouge de 69 ha, par abattage à l'explosif et ripage au bulldozer (fig. 7). Elles sont ensuite acheminées par dumpers vers l'atelier de concassage.



**Figure 6 :** Extraction de la matière première

### 1.3.2 La préparation du cru :

À ce stade, le mélange constitué de 70% de calcaire, de 10 à 15% d'argile siliceuse et de 15 à 20% d'argile alumineuse, préalablement concassé en éléments de 25 mm maximum, est séché puis broyé mécaniquement. Le minerai de fer et de calcaire pur

sont en général ajoutés afin de corriger la composition chimique du mélange. Ce premier broyage permet de produire une fine poudre, c'est la farine crue.

Pour produire un ciment de qualité, toutes les matières premières sont soigneusement dosées et mélangées. La composition de la farine crue reste dans des proportions bien définies : de Carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), Silice ( $\text{SiO}_2$ ), Alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et d'oxyde de fer.

### 1.3.3 La cuisson :

Après avoir été homogénéisé et broyer une première fois, le cru est porté à haute température dans un système de cuisson en deux parties :

- La farine crue est acheminée vers une tour préchauffage (fig.8) dans laquelle circulent en sens inverse les gaz très chauds qui émanent du four. La matière progresse jusqu'à l'entrée de ce dernier où la température avoisine les  $900^\circ\text{C}$ . Ce préchauffage permet ainsi de faire débiter le processus de décarbonatation.



**Figure 7 :**Tour de préchauffage

- La farine crue pénètre ensuite dans le four rotatif (fig.9), horizontal (légèrement incliné de  $3^\circ$ ) et cylindrique de 90 m de long et de 5,4 m de diamètre. Ce mode de cuisson permet d'acheminer progressivement la matière à contre-courant des gaz chauds grâce à une lente rotation de 2 tour/min. Le temps de séjour de la matière est d'environ 45 minutes. L'intérieur du four est revêtu de briques réfractaires, ce qui permet d'atteindre une température de  $1450^\circ\text{C}$  et de déclencher un phénomène physico-chimique appelée la "clinkérisation" (des différents oxydes).



**Figure 8 :**Four rotatif

#### **1.3.4 Le refroidissement :**

Dès la sortie du four, les granules incandescents sont brusquement refroidis. On obtient alors des grains solides, il s'agit du clinker, il est ensuite transporté vers un immense hall de stockage d'une capacité de 90 000 tonnes.

Le clinker est constitué des cristaux suivants : C3S (alite), C2S (bélite), C3A (célite) et C4AF (félite).



**Figure 9 :** Aspect du produit semi fini clinker

#### **1.3.5 Les ajouts :**

Cette étape consiste à doser les différents constituants du ciment. Une petite quantité de gypse de l'ordre de: 3 à 5 % est ajoutée au clinker afin de réguler les caractéristiques de prise du ciment. Le clinker est mélangé et broyer avec 20 % d'ajouts tel que: la pouzzolane, le tuf et le laitier de haut-fourneau.

### 1.3.6 Le broyage :

Le clinker enrichi de ses ajouts est ensuite broyé de façon à obtenir une poudre homogène et très fine : le ciment.

Lors de cette étape deux broyeurs ciment à boulets sont utilisés.

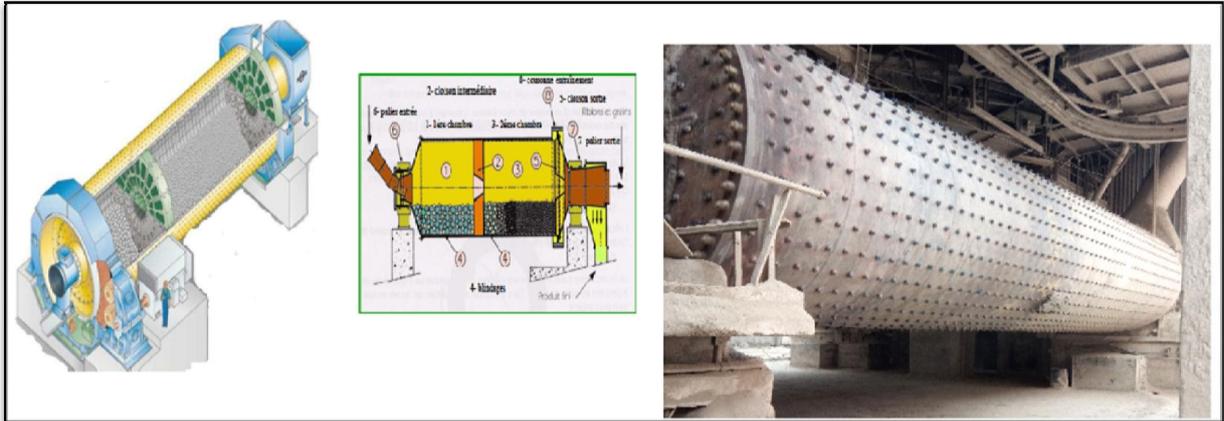


Figure 10 : Broyeur à Cru

### 1.3.7 L'expédition :

Enfin, le ciment est stocké dans six silos avant d'être expédié, soit en vrac soit dans des sacs conditionnés.



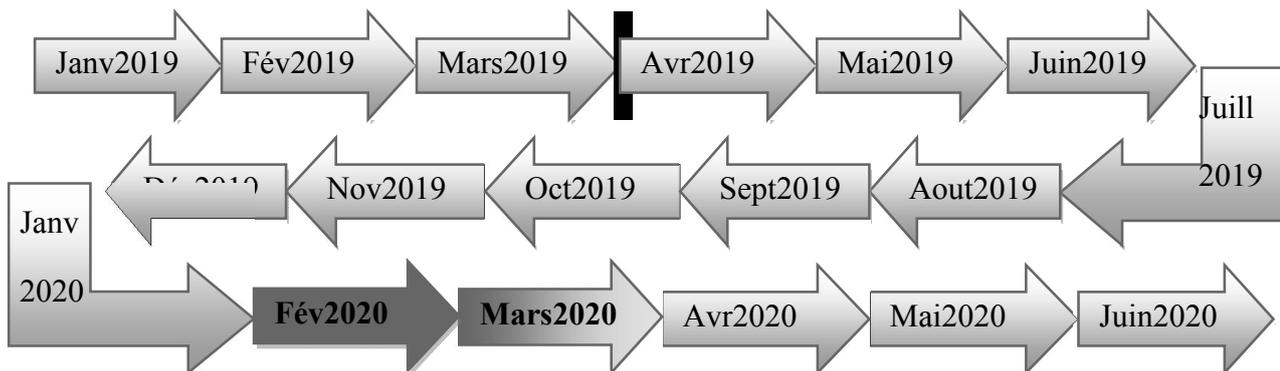
Figure 12 : Ensachage du ciment

#### 1.4 Durée et lieu du stage :

Notre stage a été effectué au niveau de la cimenterie Djouad Tahar à Hamma Bouziane. En raison de la pandémie COVID 19, notre stage prévu initialement pour une durée de 2 mois a été réduit à 1 mois et demi soit du 1 février au 15 mars 2020. Aussi il y'a lieu de préciser que les données recueillies relatives à la caractérisation des rejets de ladite cimenterie sont celles des moyennes trimestrielles, des mesures effectuées durant la période allant du mois de janvier 2019 au mois de juin 2020 selon le calendrier décrit dans la figure 13.

Cette période de stage de courte durée nous a permis de découvrir le monde du travail d'une part et d'autre part d'apprendre et comprendre les différents procédés de la production de ciment depuis l'extraction des matériaux de base jusqu'à sa mise en sacs pour commercialisation.

Ce stage nous a aussi permis de connaître le matériel utilisé pour la surveillance de gaz à effet de serre et des poussières émises par cette cimenterie.



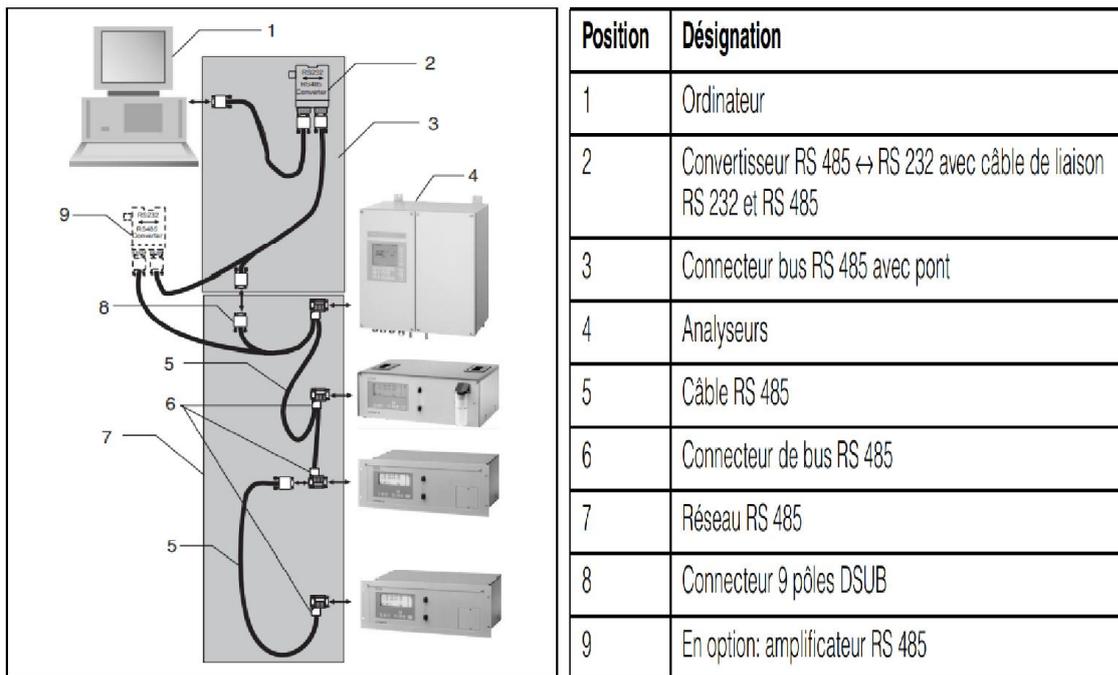
**Figure 12 :** Calendrier de la caractérisation des rejets de la cimenterie Hamma Bouziane

#### 1.5 Caractérisations des mesures :

L'usine est dotée d'analyseurs spécifiques pour mesurer in situ les polluants suivants :CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> et taux de poussières d'une façon permanente. Les données des mesures détectées par ces analyseurs sont transférées du coffret d'analyse à l'unité de contrôle. Si nécessaire, plusieurs coffrets d'analyse peuvent être commandés et gérés simultanément par une unité de contrôle.

La salle de contrôle réunit tous les équipements : systèmes experts d'exploitation, circuits vidéo et résultats en ligne de stations d'échantillonnage qui permettent de piloter la cimenterie et de surveiller d'une façon continue les différentes variations des paramètres à l'aide du système de contrôle des mesures de gaz (fig. 14) et qui seront par la suite enregistrés

dans le système archive.



**Figure 13 :** Constitution typique d'un réseau des mesures de gaz

### 1.6 Échantillonnage et Analyse au niveau de la cimenterie :

Au niveau de cette industrie, la mesure des différents polluants est effectuée en utilisant des analyseurs de gaz. Ces derniers permettent une analyse continue des différents polluants. La procédure de mesure des gaz se caractérise par un prélèvement de l'échantillon à analyser à partir de la cheminée de la tour finale, cet échantillon est amené à l'analyseur à travers une sonde de prélèvement, une conduite d'échantillon (ligne chauffée) et un dispositif de préparation de l'échantillon.

Les gaz à mesurer doivent arriver à l'analyseur exempt de poussières. La formation de condensât doit être évitée dans les cellules de mesure. C'est pourquoi les mesures appropriées requièrent une préparation de gaz. Cette préparation des échantillons permet d'ajuster par exemple la pression, la température et le débit et si nécessaire de débarrasser le gaz de mesure de la poussière et de l'humidité. On est ainsi assuré que la mesure est effectuée dans des conditions bien définies.

## 1.6.1 Analyseur multi-gaz ULTRAMAT 23 :

### 1.6.1.1 Domaine d'application :

L'analyseur de gaz ULTRAMAT 23 (Fig. 15 et 16) permet la mesure simultanée de 4 composants gazeux : trois gaz actifs au maximum dans les infrarouges comme par exemple : CO, CO<sub>2</sub>, NO, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et en plus de l'O<sub>2</sub> grâce à une cellule de mesure à oxygène. Il est adapté à un large éventail d'applications standard telles que :

- Optimisation de la combustion ;
- Surveillance de la concentration des gaz émis dans les installations de combustion pour tout type de combustible (fuels lourds, gaz et charbon) ;
- Contrôle de l'air ambiant dans des locaux ;
- Contrôle dans le pilotage des procédés industriels.

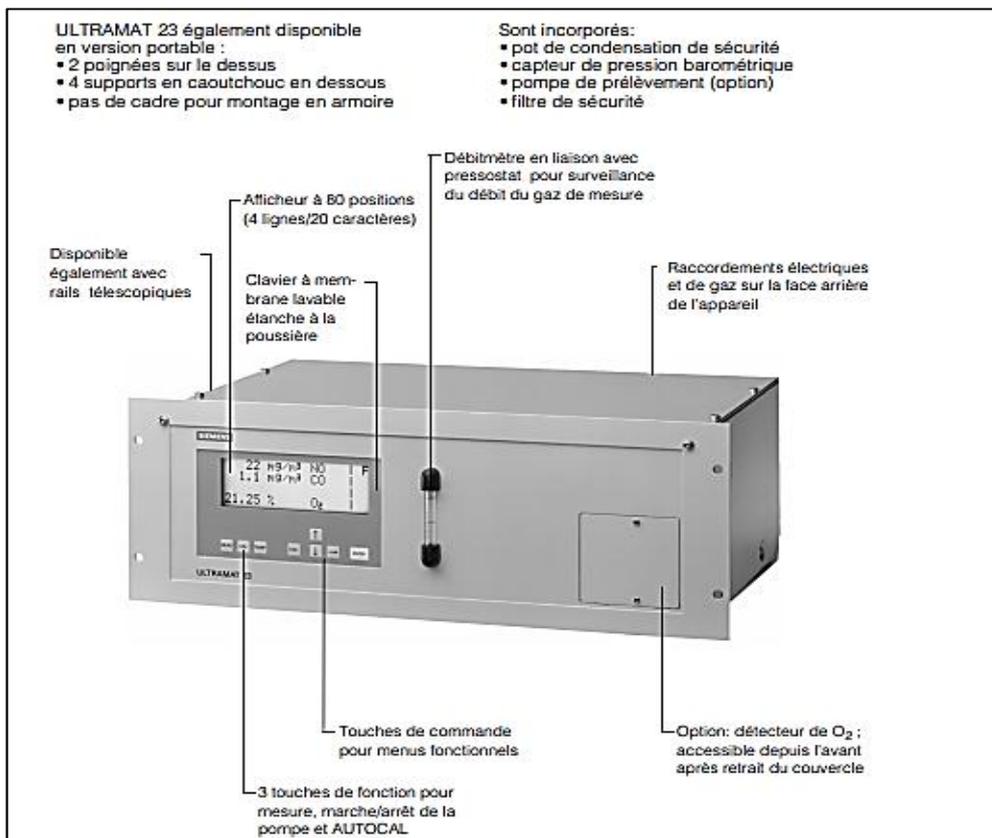
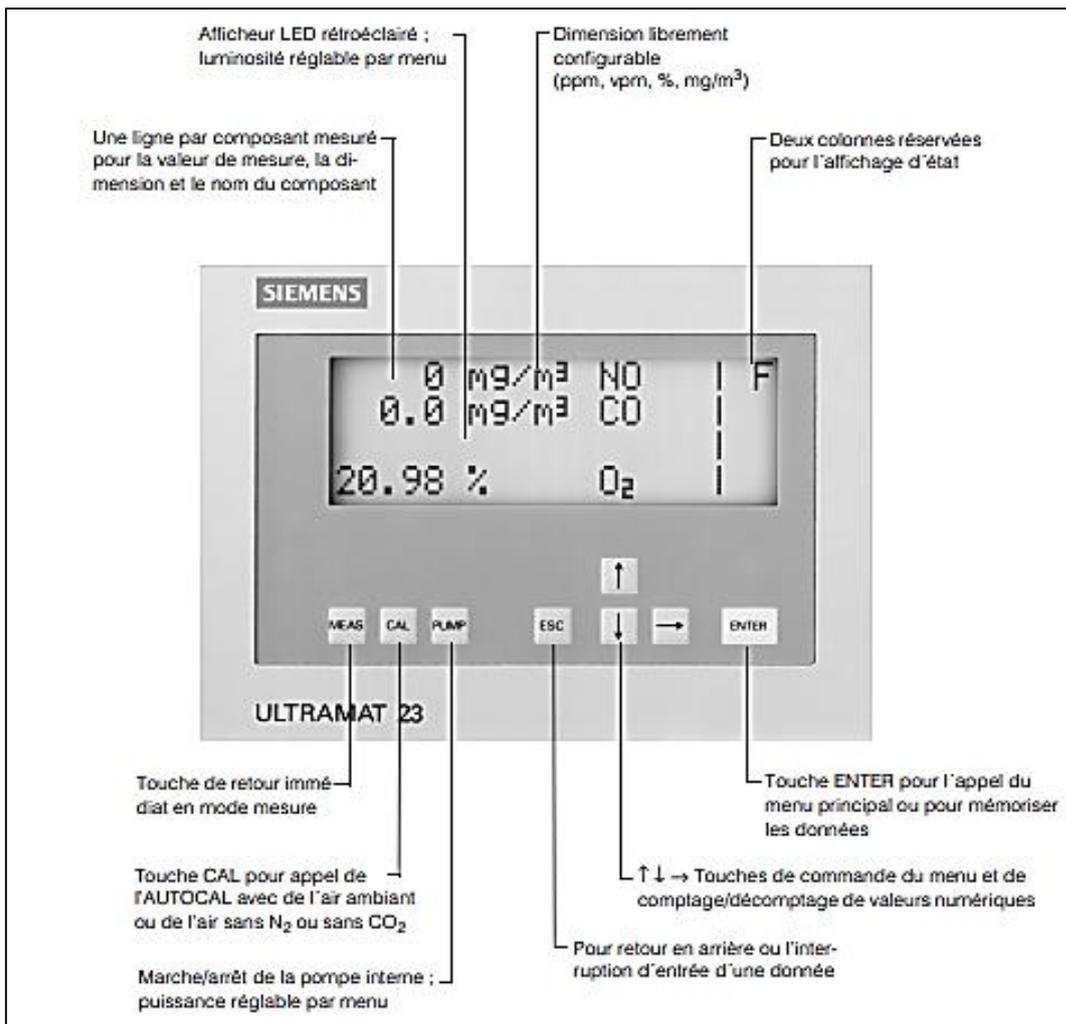


Figure 14 : ULTRAMAT 23, constitution

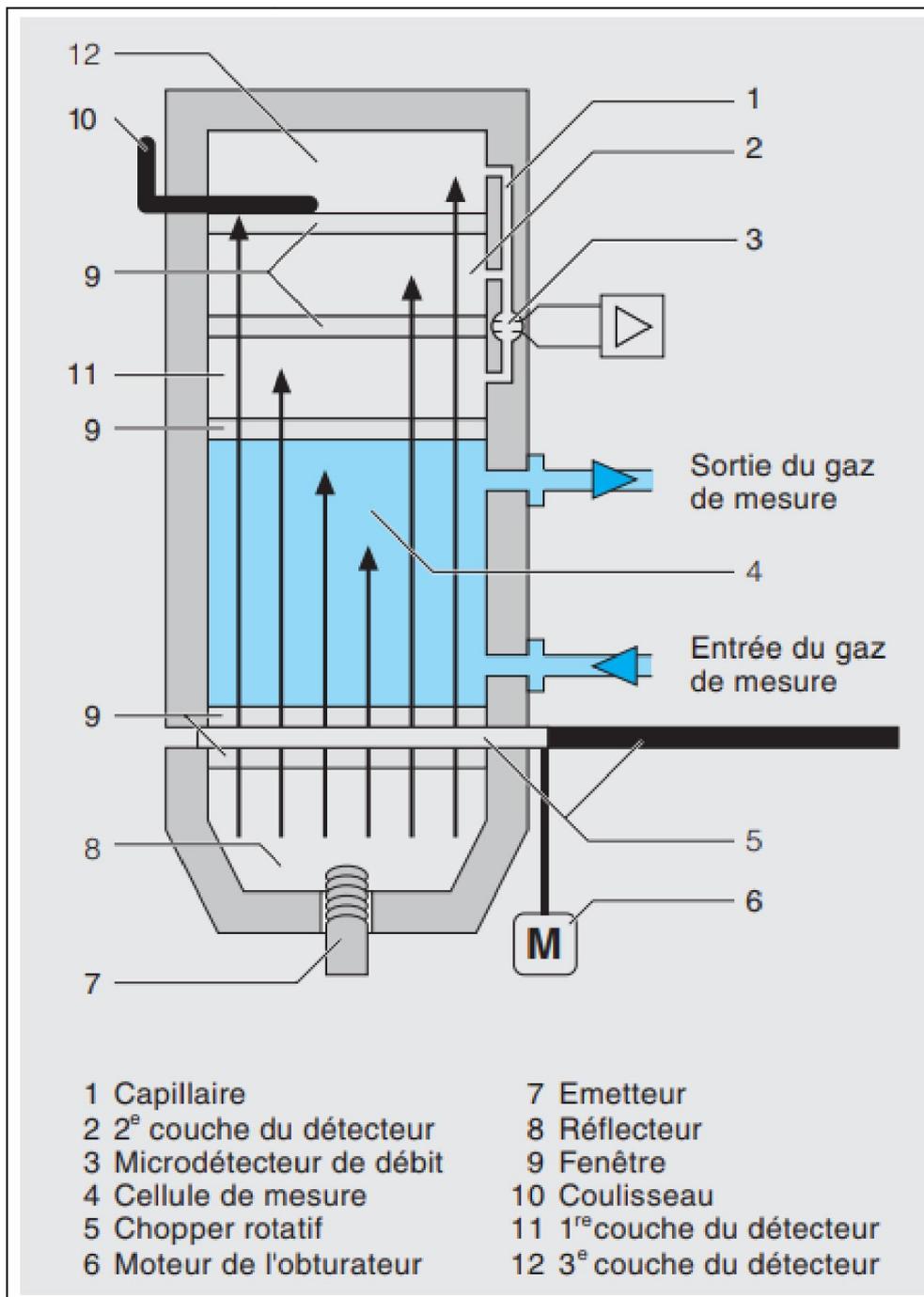


**Figure 15** : ULTRAMAT 23, clavier à membrane et afficheur graphique

### 1.6.1.2 Principes de mesure :

L'ULTRAMAT 23 dispose de deux principes de mesures sélectives totalement indépendantes.

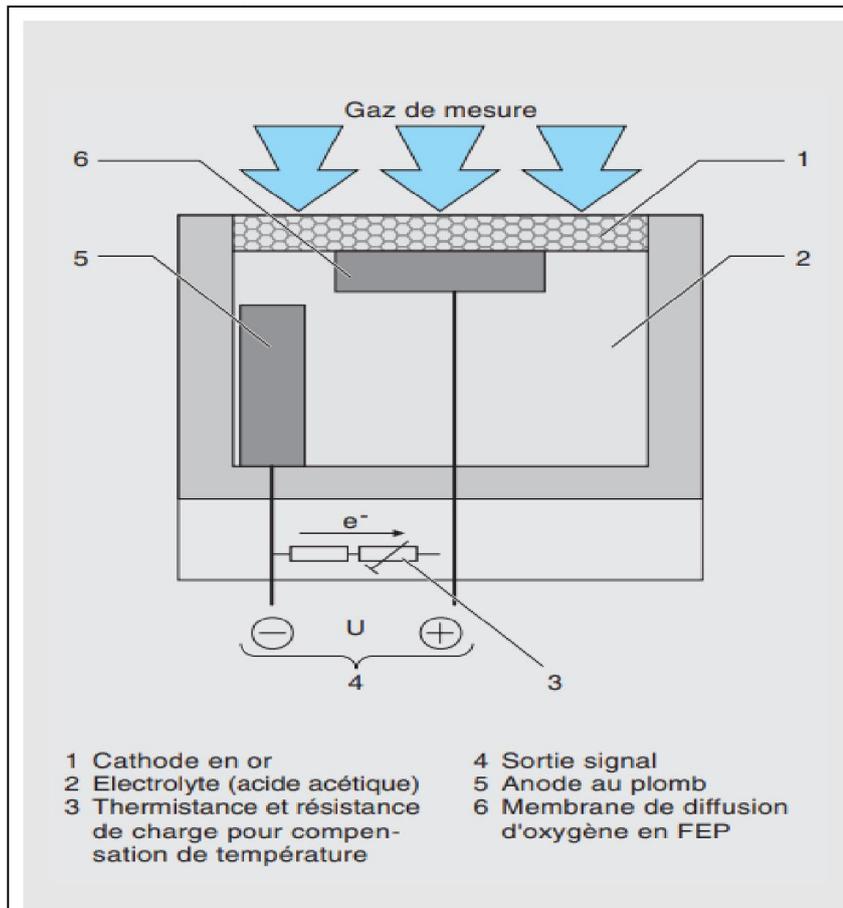
➤ **Mesure infrarouge** : Ce principe spectroscopique repose sur l'absorption de rayonnements infrarouges non dispersifs. Selon la longueur d'onde, la différence d'atténuation du rayonnement IR est représentative de la concentration du gaz concerné.



**Figure 16 :** ULTRAMAT 23, fonctionnement d'un canal infrarouge

➤ **Mesure d'oxygène**

Le détecteur d'oxygène fonctionne comme une pile combustible. L'oxygène est converti à la couche de jonction cathode/ électrolyte ; le courant qui en résulte est proportionnel à la concentration d'oxygène.



**Figure 17 :** ULTRAMAT 23, fonctionnement du détecteur d'oxygène

### 1.6.2 Sonde de détection des poussières DUSTHUNTER T :

Le système de mesure DUSTHUNTER T est exclusivement destiné à la mesure en continu de la concentration en poussières dans des conduits d'évacuation de gaz ou d'air.



**Figure 18 :** Système de mesure DUSTHUNTER T

## 1.7 Analyse in-situ des gaz :

Des mesures in-situ se font chaque trois mois par CETIM sur les SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO et poussières auxquelles nous nous sommes intéressés durant notre période de stage. Les gaz NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> et CO sont choisis parce qu'ils sont des indicateurs de pollution industrielle et parce que leurs effets nuisibles sur l'environnement et/ou la santé sont déterminés.

Dans le cadre de cette étude, les analyseurs utilisés sont :

### 1.7.1 Testo 350 :

L'appareil de mesure des émissions portatif Testo350 est l'outil idéal pour l'analyse de combustion professionnelle. Il comprend l'unité de contrôle et le coffret d'analyse. L'unité de contrôle est l'unité de commande et d'affichage amovible du Testo350. Les valeurs de mesure sont clairement affichées sur l'écran graphique couleur de l'unité de contrôle. L'instrument de mesure proprement dit se trouve dans le coffret d'analyse. Grâce à la mémoire interne, les données de mesure peuvent être transférées du coffret d'analyse à l'unité de contrôle. Si nécessaire, plusieurs coffrets d'analyse peuvent être commandés et gérés simultanément par une unité de contrôle.



**Figure 19 :** Appareil de mesure des émissions des gaz-Testo350

### 1.7.2 Appareil d'analyses des rejets de poussières Dust Emission Monitor (DEM100) :

Le DEM100 est un contrôleur d'émission de poussières basé 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. Généralement installé sur les cheminées en aval des dépoussiéreurs.



**Figure 20** : Appareil de contrôle des rejets de poussières-DEM100

### **1.8 Traitement des données :**

Pour évaluer les indicateurs de pollution, l'analyse et l'interprétation des données pris en considération sont : les moyennes trimestrielles ainsi que les moyennes générales et l'écart type, la valeur moyenne et 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 en % pour CO. La conversion de ces valeurs en mg/Nm<sup>3</sup> est effectuée selon les formules suivantes :

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

$$1 \text{ ppm (NO}_x\text{)} * 2.05 = 2.05 \text{ mg/Nm}^3$$

- 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**

## 1. Résultats et discussion des indicateurs de pollution

Dans résultats et discussion des indicateurs de pollution nous représentons les données d'une période allant de janvier 2019 à juin 2020. Ces données concernent l'évolution temporelle de : l'oxyde de soufre, l'oxyde d'azote et l'oxyde de carbone des rejets gazeux de la cimenterie Djouad Taher, Commune de Hamma Bouziane wilaya de Constantine.

Ces résultats (tableau 4) représentent les moyennes trimestrielles ainsi que les moyennes générales et l'écart type des différents paramètres pour toute la période de surveillance. Notons que le suivi de la qualité de ces rejets gazeux se fait chaque trimestre par CETIM en respectant les normes nationales en vigueur (JORA, 2006) et les normes internationales (Wagner & Partner, 2000).

Il est important de le signaler que dans le tableau 4 il y'a absence des résultats des trois paramètres (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO) surveillés du 4<sup>ème</sup> trimestre 2019. C'est pourquoi, ces paramètres sont exprimés par un résultat nul (0 mg/Nm<sup>3</sup>) dans les histogrammes illustrés par les figures 21, 22 et 23.

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 4 : Données statistiques des paramètres mesurés (Janvier 2019-Juin 2020)**

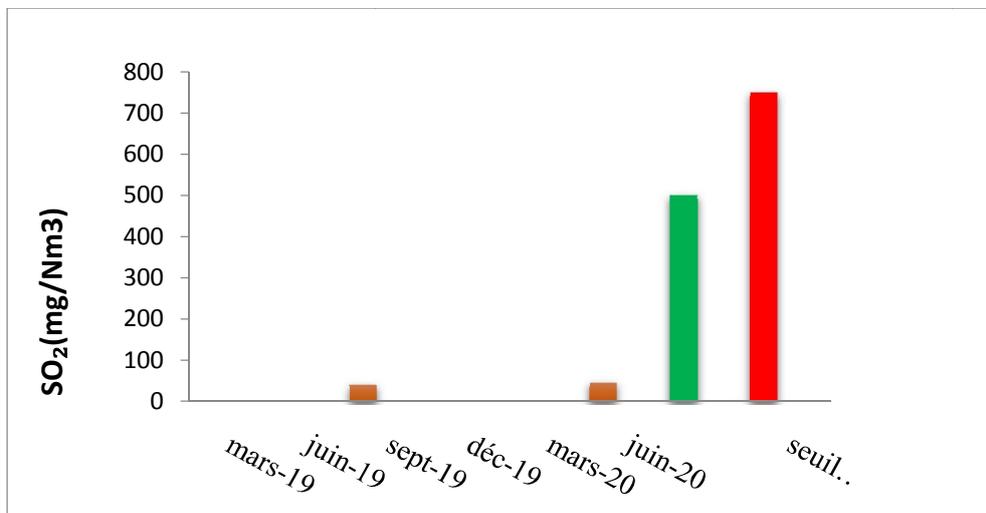
<b>Suivi des rejets atmosphériques (émission de gaz) (CETIM)</b>			
<b>Trimestre 2019/2020</b>	<b>SO<sub>2</sub>(mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>NOx (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>CO (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>
<b>Trimestre 1 (janv, févr, mars 2019)</b>	0	668,3	390
<b>Trimestre 2 (avr, mai, juin 2019)</b>	0	959,4	1271,25
<b>Trimestre 3 (juill, aout, sept 2019)</b>	40,04	319,8	3055
<b>Trimestre 4 (oct, nov, déc 2019)</b>	<b>En attente de remise des résultats</b>	<b>En attente de remise des résultats</b>	<b>En attente de remise des résultats</b>
<b>Trimestre 5 (janv, févr, mars 2020)</b>	0	4920,4	1143,75
<b>Trimestre 6 (avr, mai, juin 2020)</b>	45,76	5990,05	212,5
<b>Moyenne</b>	17,16	2571,59	1214,5
<b>Ecart-type</b>	21,09	2387,25	1007,91
<b>Normes nationales décret exécutif n° 06-138(JORA, 2006)</b>			
<b>Valeurs limites(mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	500	1500	150
<b>Tolérance pour les installations anciennes (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	750	1800	200
<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>	<b>CO (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>
<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	800-1200	-

## 1.1 Les émissions en SO<sub>2</sub>:

Les variations temporelles des concentrations moyennes en SO<sub>2</sub> émises par la cimenterie Djouad Taher durant la période allant de janvier 2019 à juin 2020 sont représentées dans le tableau 4 et illustrées par la figure 21.

Les taux en SO<sub>2</sub> quantifiés à l'émission au niveau des rejets de la cimenterie Djouad Taher sont nuls durant toute la période de surveillance à l'exception des périodes (Juillet-Sept 2019) et (Avril-Juin 2020), mais 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 du décret exécutif N°06-138 (2006) et le rapport de la réglementation internationale (tab. 04).

Au niveau de la cimenterie Hamma Bouziane, le combustible utilisé (gaz naturel) est exempt de soufre. La matière première ne contient que 0,2 %. Ceci pourrait expliquer l'absence du SO<sub>2</sub> dans les gaz émis par la cimenterie Hamma Bouziane. Etant donné la présence insignifiante de soufre dans les matières premières c'est pourquoi les SO<sub>x</sub> existent a priori sous forme de traces (EHS, 2010).



**Figure 21 :** Variations temporelles des émissions moyennes en SO<sub>2</sub> (Jan2019-Jui2020)

Les émissions de SO<sub>2</sub> des cimenteries dépendent de l'apport total de composés soufrés et du type de procédé utilisé ; elles sont principalement déterminées par la quantité de soufre volatil présent dans les matières premières et éventuellement par les combustibles. La production et les émissions potentielles de SO<sub>x</sub> dépendent également de la circulation du soufre à l'intérieur du four. Dans le four, le soufre provient de différentes sources, comme le

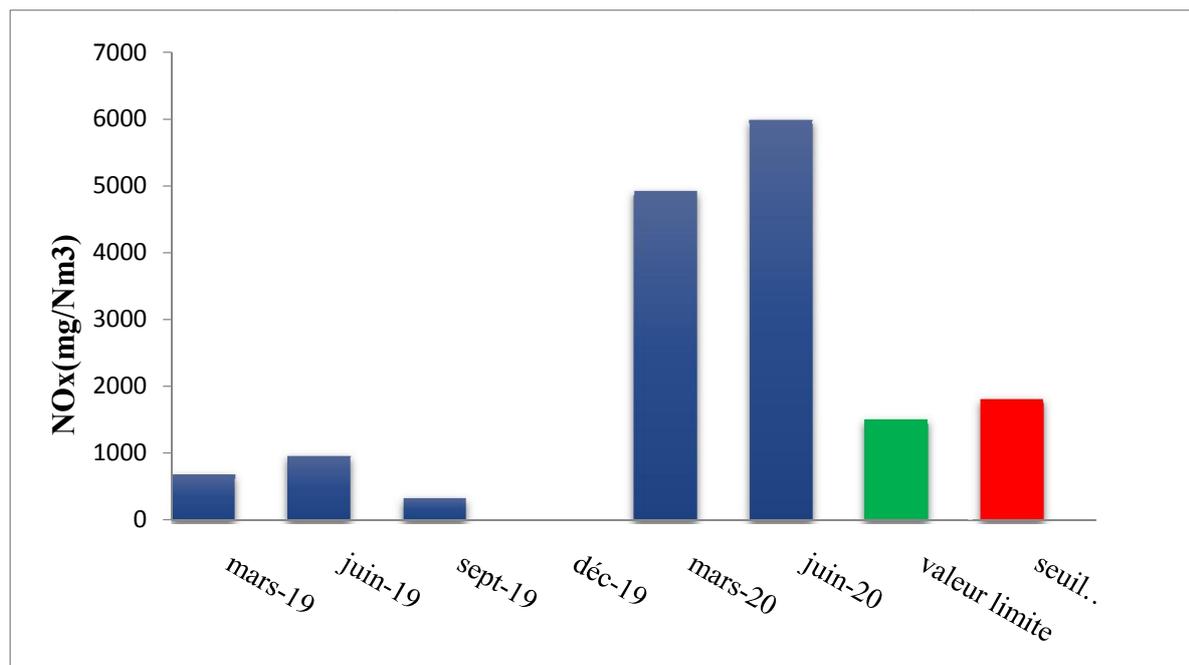
SO<sub>2</sub> des gaz résiduaux, le CaSO<sub>4</sub> et d'autres composés combinés dans le clinker et les poussières. Cependant, la plus grande partie du soufre est absorbée par le clinker ou bien rejetée du système par le procédé.

La zone de décarbonation 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).

### 1.2 Les émissions en NOx :

Les variations des concentrations moyennes en NOx émises par la cimenterie Djouad Taherde Hamma Bouziane durant la période allant du mois de Janvier 2019 au mois de Juin 2020 sont représentées dans le tableau 4 et illustrées par la figure 22.

Le tableau 4 et la figure 22 montrent que les concentrations en NOx oscillent entre 319.8 mg/Nm<sup>3</sup> enregistrée durant la période Juillet-Septembre 2019 et 5990.05 mg/Nm<sup>3</sup> enregistrée durant la période d'Avril-Juin 2020. La moyenne durant toute la période de surveillance est de l'ordre de 2571,59 ± 2387,25 mg/Nm<sup>3</sup>.



**Figure 22 :** Variations temporelles des émissions moyennes en NOx (Jan2019-Juin 2020)

En matière de réglementation, le décret exécutif n°06-138 (JORA, 2006) préconise une valeur limite de l'ordre de 1500 mg/Nm<sup>3</sup> et une tolérance de valeur limite pour les installations anciennes de l'ordre de 1800 mg/Nm<sup>3</sup>. La comparaison de nos résultats avec ces normes montre que ces valeurs limites sont dans l'ensemble respectées durant la période de Mars à Décembre 2019. Par contre on remarque une élévation de ces émissions durant l'année 2020 surtout durant la période allant d'avril à Juin 2020 où cette concentration est de 5990.05 mg/Nm<sup>3</sup>. Les valeurs enregistrées durant ces deux trimestres sont de 3 à 4 fois supérieures aux normes fixées par la réglementation algérienne dépassant ainsi la valeur limite et le seuil de tolérance autorisés.

La cuisson du clinker est un procédé à haute température qui entraîne la formation d'oxydes d'azote (NOx). 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.

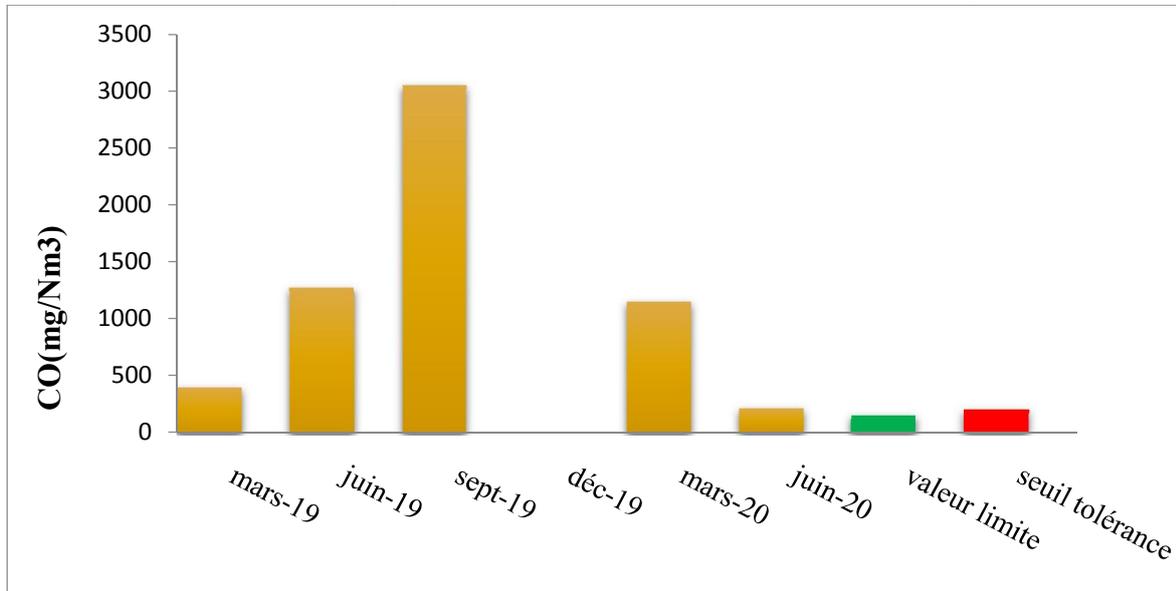
Les émissions de NOx d'un four à ciment sont normalement davantage liées à l'azote atmosphérique qu'au combustible brûlé. Le monoxyde d'azote (NO) représente environ 95 % et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) environ 5 % des oxydes d'azote présents dans les gaz résiduaux des installations à fours rotatifs. 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 NOx combustibles ce qu'on a constaté dans nos résultats.

Les émissions de NOx varient en fonction du procédé de cuisson utilisé. Outre la température et la teneur en oxygène (facteur d'excès d'air) la formation des NOx peut être influencée par la forme et la température de la flamme, par la configuration de la chambre de combustion, la réactivité et la teneur en azote du combustible, la présence d'humidité, la durée de la réaction et la conception des brûleurs. Ces paramètres doivent être pris en considération pour comprendre la variation des résultats obtenus (CE, 2010).

### **1.3 Les émissions en CO :**

Les variations des concentrations moyennes en CO émises par la cimenterie Hamma Bouziane durant la période allant du mois de Janvier 2019 au mois de Juin 2020 sont représentées dans le tableau 4 et illustrées par la figure 23.

Le tableau 4 et la figure 23 montrent que les concentrations en CO oscillent entre une valeur minimale de 212.5 mg/Nm<sup>3</sup> enregistrée pendant la période Avril-Juin 2020 et une valeur maximale de 3055mg/Nm<sup>3</sup> enregistrée durant la période de Juillet à Septembre 2019. La moyenne durant toute la période de surveillance est de l'ordre de 1214.5±1007,91 mg/Nm<sup>3</sup>.



**Figure 23 :** Variations temporelles des émissions moyennes en CO (Janv2019- Juin 2020)

Comme pour le NO<sub>2</sub>, l'émission du CO dans l'atmosphère est réglementée 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 estimés au niveau de la cheminée 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).

Au niveau d'un four fonctionnant au gaz naturel, les émissions de CO sont très faibles quand la combustion est complète (Aoudia, 2001).

D'après les informations récoltées au sein de la cimenterie Djouad Taherde Hamma Bouziane, le combustible utilisé est principalement du gaz naturel, une des formes les plus propres des énergies fossiles. Dans ce cas on peut expliquer ce taux élevé en CO notamment durant la période (Juill-Sept.2019) au problème de ventilation existant dans la cimenterie. En effet, l'augmentation de la vitesse de ventilation engendre des vibrations qui peuvent endommager l'appareil. Le monoxyde de carbone (CO) provient aussi du préchauffeur du broyeur cru. D'autres émissions de CO peuvent également provenir d'une mauvaise combustion et de conditions insatisfaisantes dans la zone de cuisson secondaire.

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

Nous tenons à rappeler que la mesure de ce paramètre est effectuée une fois tous les trois mois par CETIM. Sur ce même tableau figurent la valeur limite et le seuil de tolérance fixés dans l'article 3 du Décret exécutif n°06-138 du 5 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de poussière.

Le tableau 5 et les figures 24 et 25 résument et illustre les résultats trimestriels des émissions en poussières émises par la cimenterie Djouad Taher durant les périodes allant des mois de Janvier à Décembre 2019 et de Janvier à Juin de 2020.

**Tableau 5 : Variations temporelles des taux en poussières émises**

<b>Suivi des rejets atmosphériques (émissions de poussières) (CETIM)</b>				
<b>Trimestres 2019/2020</b>	<b>Cheminée filtre BK1 PM (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cheminée filtre BK2 PM (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cheminée filtre AAF PM (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>	<b>Cheminée filtre REDECAM PM (mg/Nm<sup>3</sup>)</b>
<b>Trimestre 1 (janv, févr, mars 2019)</b>	21,21	2,15	3,22	6,35
<b>Trimestre 2 (avr, mai, juin 2019)</b>	2,7	1,6	7,03	11,75
<b>Trimestre 3 (juill, aout, sept 2019)</b>	13,78	17,21	1,94	37,15

Trimestre 4 (oct, nov, déc 2019)	En attente de remise des résultats	En attente de remise des résultats	En attente de remise des résultats	En attente de remise des résultats
Trimestre 5 (janv, févr, mars 2020)	40,281	A l'arrêt	45,077	29,95
Trimestre 6 (avr, mai, juin 2020)	9,512	6,757	16,524	8,872
Moyenne	17 ,4966	6,92925	14,7582	18,8144
Ecart-type	12 ,87	6,26	15,99	12,36
<b>Normes nationales décret exécutif n° 06-138(JORA, 2006)</b>				
Valeurs limites (mg/Nm <sup>3</sup> )	30			
Tolérance pour les installations anciennes (mg/Nm <sup>3</sup> )	50			

Décret exécutif N° 06-138 du Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 avril 2006

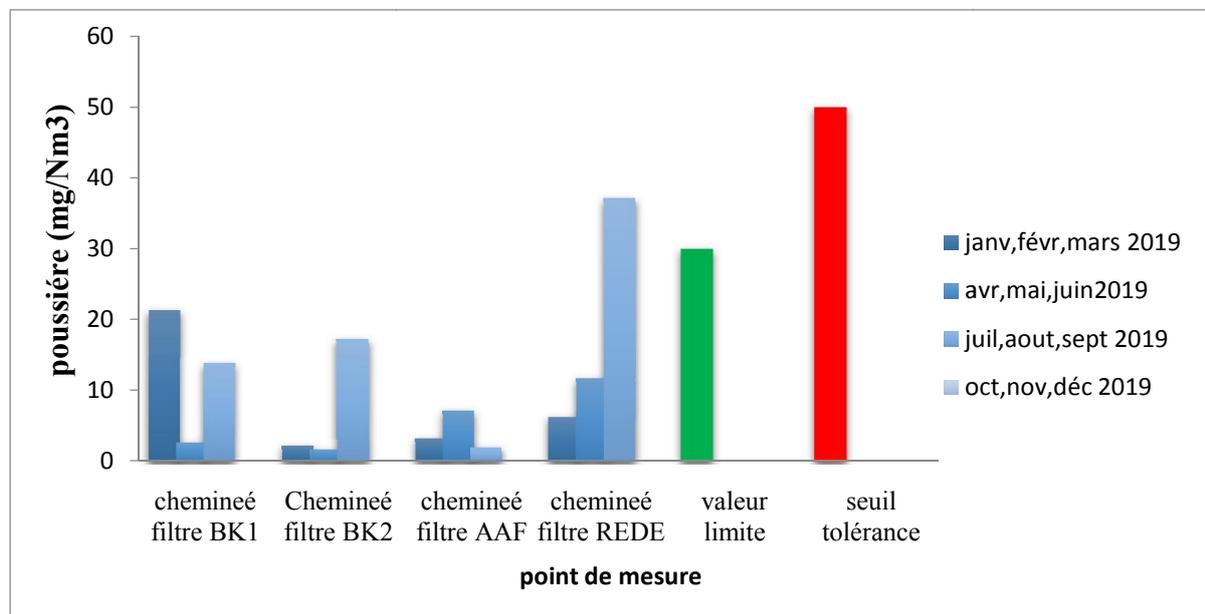
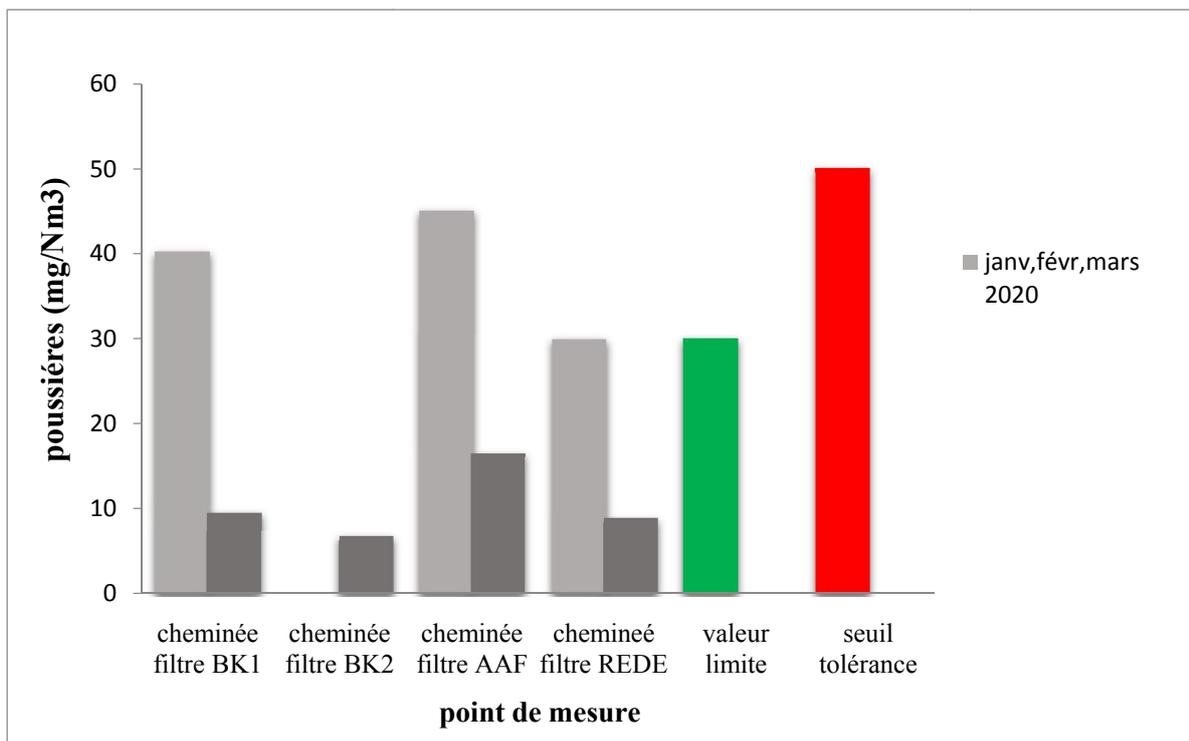


Figure 24 : Variations temporelles des émissions de poussières (Janv-Décembre 2019)



**Figure 25:** Variations temporelles des émissions de poussières (Janv-juin 2020).

L'entreprise utilise un analyseur de type DEM100 pour suivre les quantités de fumée et poussières dégagées lors de la fabrication du ciment. Cet analyseur est positionné au niveau des filtres BK1, BK2, AAF, REDCAM.

Les résultats du tableau 5 et les figures 24, 25 montrent que les teneurs en poussières fluctuent d'un emplacement à l'autre. Nous avons enregistré les séquences suivantes (tab. 6) :

**Tableau 6 :** Séquences des taux en poussières émises en fonction des emplacements et des périodes.

Périodes	Séquences
(Janv-Mars 2019)	BK1>REDECAM>AAF>BK2
(Avr-Juin 2019)	REDECAM>AAF>BK1>BK2
(Juill-Sept 2019)	REDECAM>BK2>BK1>AAF
-	-
(Janv-Mars 2020)	AAF>BK1>REDECAM>BK2
(Avr-Juin 2020)	AAF>BK1>REDECAM>BK2

Le taux le plus faible est de 1.6 mg/Nm<sup>3</sup> enregistré durant la période d'Avril-Juin 2019 au niveau du filtre BK2. Alors que le taux le plus élevé est de 45.077 mg/Nm<sup>3</sup> enregistré durant la période Janvier-Mars 2020 au niveau du filtre AAF.

En matière de réglementation et en comparant les résultats enregistrés avec le seuil indiqué dans le décret exécutif n°06-138 (JORA, 2006) qui préconise une valeur limite de l'ordre de 30 mg/Nm<sup>3</sup> et une tolérance des valeurs limite pour les installations anciennes de l'ordre de 50 mg/Nm<sup>3</sup>. La comparaison de nos résultats avec ces normes montre que ces valeurs limites sont dans l'ensemble respectées et ceci quelque soit l'emplacement du filtre et quelque soit la période d'observation à l'exception des périodes Juillet-Septembre 2019 ou le taux de poussières émises est de l'ordre de 37,15 mg/Nm<sup>3</sup> dans le filtre REDECAM et Janvier-Mars 2020 avec des valeurs de 40,281 mg/Nm<sup>3</sup> à 45,077 mg/Nm<sup>3</sup> enregistrées respectivement dans les filtres BK1 et AAF. Ces valeurs élevées dépassent la valeur limite mais sont inférieures au seuil de tolérance.

Selon les données de l'industrie en question, on a été informés que les taux de poussières au niveau de la cimenterie varient dans l'espace et dans le temps en fonction du taux de réalisation de la production du clinker. Ce qui justifie la variation du taux de la poussière dans chaque emplacement.

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.

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).

Les unités de broyage des matières premières, du ciment et du charbon, le stockage des combustibles (coke de pétrole, houille, lignite), et l'expédition du ciment (chargement). 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  $10 \text{ mg/Nm}^3$  (moyennes journalière) (CE, 2010).

La cimenterie Djouad Taher de Hamma Bouziane est dotée de filtres à manches installés au niveau des emplacements stratégiques et cela par rapport au processus de fabrication du ciment. Ces filtres ont été installés dans la cimenterie pour garantir une exploitation conforme des installations et éviter une augmentation disproportionnée des frais d'usure des machines, une teneur en poussière élevée très gênante à l'emplacement des postes de travail, et des pertes de production. En effet, les filtres installés permettent de réduire d'une façon significative les émissions de poussières. Ils captent des concentrations importantes des particules de poussières à la sortie du four et des broyeurs (Djessas et Ghomrani, 2019).

## Conclusion et perspectives

L'objectif de notre stage au niveau de la cimenterie Djouad Taher située dans la commune de Hamma Bouziane wilaya de Constantine était de contribuer à l'évaluation de la qualité des émissions de gaz et de poussières dans l'atmosphère provenant de différentes installations de fabrication du ciment d'une part et d'autre part de voir et comprendre les différents procédés et techniques effectués par l'entreprise pour réduire le taux de pollution.

De cela 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 résultats des différents paramètres démontrent que :

Les taux en SO<sub>2</sub> quantifiés à l'émission au niveau des rejets de la cimenterie Hamma Bouziane sont nuls durant toute la période de surveillance à l'exception de deux périodes (Juillet-Sept 2019) et (Avril-Juin 2020) ou de faibles concentrations ont été enregistrées, ces dernières sont en dessous de la valeur limite (500 mg/Nm<sup>3</sup>) et du seuil de tolérance (750 mg/Nm<sup>3</sup>) fixés par la réglementation algérienne et internationale.

Pour les émissions en NO<sub>x</sub> les résultats sont dans l'ensemble conformes à la réglementation durant la période de surveillance de l'année 2019. Par contre on remarque une élévation de ces émissions durant l'année 2020 et surtout durant la période allant d'avril à Juin 2020 ou cette concentration est de 5990.05 mg/Nm<sup>3</sup> dépassant ainsi la valeur limite et le seuil de tolérance autorisés.

Contrairement aux SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> le taux du CO estimé au niveau de la cheminée dépasse aussi bien la valeur limite (150 mg/Nm<sup>3</sup>) que le seuil de tolérance (200 mg/Nm<sup>3</sup>) durant toute la période de surveillance.

Concernant les poussières, les taux enregistrés sont en dessous des seuils fixés par la réglementation algérienne (30mg/Nm<sup>3</sup> et 50mg/Nm<sup>3</sup>) et ceci quelque soit l'emplacement du filtre et quelque soit la période d'observation à l'exception des périodes Juillet-Septembre 2019 et Janvier-Mars 2020 ou le taux de poussières mesuré est de l'ordre de 37,15mg/Nm<sup>3</sup> (filtre REDECAM) et 40,281 mg/Nm<sup>3</sup> à

45,077mg/Nm<sup>3</sup>(BK1 et AAF). Ces valeurs dépassent la valeur limite mais restent inférieures au seuil de tolérance qui est de 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

Bien que l'usine est doté de nouveaux filtres à poussières et de capteurs des gaz avec un système moderne d'optimisation, la pollution de l'air persiste mais d'un degré moindre. Une amélioration a été aperçue au niveau des émissions du four de cuisson, mais le risque potentiel de pollution et d'impact par le reste des autres installations telles que ; le broyeur à ciment et refroidisseur, n'ont pas été éradiqués ou réduits à un degré acceptable.

Les travaux effectués au niveau de l'entreprise restent insuffisants et d'autres installations de la cimenterie nécessitent des réaménagements spécifiques.

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

La surveillance et la maintenance des systèmes opérateurs et producteurs de la cimenterie afin de réduire les sources de panne, les défaillances techniques et la surconsommation énergétique.

Améliorer les systèmes d'aspiration, de combustion et de filtration pour réduire les émissions de poussières et de CO.

Faire des analyses et mesures d'une façon continue et régulière des autres éléments (métalliques) et gaz qui rentrent dans les différents procédés de la fabrication du ciment.

## Références bibliographiques

**AFSSET (Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail). 2006.** Pollution atmosphérique urbaine. « Environnements et milieu », France.

**Aoudia M. T. 2001.** Les rejets atmosphériques dans le secteur de la production du ciment et leurs impacts sur l'environnement. Moyens d'évaluation et de contrôle. Séminaire CETIM, du 28-30 Octobre, Hôtel Hilton d'Alger, 2 p.

**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 Abbas (Algérie occidentale). Thèse de doctorat en sciences. Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbas. 9-12-13-17p.

**Beninak C. A. 2014.** Processus de fabrication du ciment et gestion des poussières. Mémoire fin étude, Université Badji Mokhtar Annaba.

**Beyer W. N., Miller G., Simmers J. W. 1990.** Trace Elements in Soil and Biota in Confined Disposal Facilities for Dredged Material. *Environmental Pollution*. 19-32 p.

**Cellule environnementale. 2007.** Etude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane. Constantine.

**Centre d'Etudes et de services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction-CETIM. 2016.** Étude de danger de la cimenterie de Hamma Bouziane Constantine SCHB, Groupe Industriel des Ciments d'Algérie(GICA), 10p.

**Centre Interprofessionnel d'Etudes de la Pollution Atmosphérique-CITEPA. 2001.** Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique. La pollution atmosphérique en bref. Différentes échelles de pollution.

**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. 70-71-72-60-64-65-66-67-74-38 p.

**Desboeufs K. 2001.** Processus de dissolution des aérosols atmosphériques au sein des gouttes d'eau nuageuses. Thèse. Université Paris VII, Paris, 224 p.

**Djessas K. Ghomrani I. 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. Université Mentouri Constantine 1.20-35-43p.

**Durrieu F. 1999.** Etude des conditions météorologiques dans la vallée d'Aspe. Maîtrise des Sciences et Techniques "Mesure et traitement des Pollutions et Nuisances, Option Air et Combustion". Université de Pau et des Pays de l'Adour, Météo-France, Pau.40 p.

**ElichegarayC. 2008.** La pollution de l'air : sources, effets et prévention. 1 ère éd. Paris : DUNOD. 48p.

**Environnement Hygiène Santé-EHS. 2010.** Audit relative au suivi environnemental de la cimenterie Hamma Bouziane. Constantine SCHB, Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA). 9-57p.

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

**Journal Officiel de la République Algérienne.2003.**L'article 4 de la Loi N° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

**Journal Officiel de la République Algérienne. 2006.**Art. 6. et Art. 8 du 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.

**Journal Officiel de la République Algérienne-JORA. 2006.** Décret exécutif N°06-138 du 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.

**Jussy J.H. 1998.** Minéralisation de l'azote, nitrification et prélèvement radiculaire dans différents écosystèmes forestiers sur sol acide. Effet de l'essence, du stade de développement du peuplement et de l'usage ancien des sols. Thèse : Sciences biologiques fondamentales et appliquées. Université de Nancy. 270 p.

**Kandal. 2004.**Effets à longs termes de l'exposition aux émissions automobiles sur la fonction pulmonaire des femmes adultes à Tokyo.Revue Environnement Risques et Santé. 334-335p.

**Henni-Chebra, K., Abdelkader B., El-Hadj K. 2011.**Détermination du niveau d'empoussièrément engendrée par la fabrication du ciment. Universitaires de Génie Civil. Tlemcen.60p.

**KollerE. 2004.** 'Traitement des pollutions industrielles' (Eau- Air- DéchetsSols-Boues).DUNOD. 178-198p.

**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.

**LAURE. 1996.**l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (loi n°96-1236 du 30 décembre 1996) :proposée par la loi du parlement françaisArticle 220-2 « ex-art 2 » du code de l'environnement France.

**Lecloire P. 1998.** 'Les composés organiques volatils (COV) dans l'environnement'. Tec&Doc. 74- 165p.

**Lorenzini G. 1992.** Plants as biomonitors of air quality, 47-63 p.

**LouadahH. 2016.** Mesure et estimation de la pollution d'origine automobile dans la ville de Béjaia. Mémoire. Abderahmane Mira-Bejaia.4-5-6-7-8p.

**MakhdoumiH. 2019.**Etude d'impacts d'ajout pouzzolanique au ciment sur L'environnement /cas de la Cimenterie de Hamma Bouziane, Constantine. Mémoire de Fin d'Etudes. Ecole nationale supérieure des mines et de la métallurgie. Amar Laskri- Annaba.21-23p.

**MalbreilN. 1997.** La pollution en bordure d'autoroute et son impact sur la végétation. Ressources Naturelles et Environnement. Université de Metz. 56 p.

**Masclat P. 2005.** Pollution atmosphérique causes conséquences solutions et perspectives, Ellipses Editionparis.18-19-54p.

**Mazoue S., Service D'Etude Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA).1994.** Impact du trafic routier sur l'environnement : la contamination du sol par voie aérienne. Rapport Setra - Cstr N° B 9411, DESS Pollution chimiques et environnement. 67 p.

**Ouzid S., 2017.** Mesure des polluants atmosphériques générés par la société des ciments de Tébessa. Mémoire de master 2.Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.4-6-20p.

**Ramade F. 2000.** Les polluants de l'environnement et de l'homme. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ediscience international, Paris. 33- 13p.

**Ramade F. 2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Paris: Dunod. 1075 p.

**Roul D. 1998.** Etude des conditions météorologiques de Biriadou : Analyse des paramètres météorologiques influençant les concentrations en polluants autour du site. Maîtrise : Sciences et Techniques : "Mesure et traitement des Pollutions et Nuisances" : Université de Pau et des Pays de l'Adour.19 p.

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

**Wagner & Partner. 2000.** The european cement industry. Background Assessment For the IPTS BAT-Competitiveness Project. 73p.

**Westerdahl D. 2009.** Characterization of an-road vehicle emission factors and micro environmental air quality in Beijing, China. Atmospheric Environment journal vol.43.697-705p.

**Zamoum N. 2019.** Etude environnementale et sanitaire de l'effet du CO<sub>2</sub> et contribution à sa valorisation énergétique. Mémoire de fin d'étude. Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira.6-7p.

<i>Année universitaire 2019 - 2020</i>	<b>Présenté par : Aissani Zakaria Bouras Amina</b>						
<b>Intitulé : Evolution spatio-temporelle d'indicateurs de pollution mesurés dans la cimenterie Djouad Tahar commune de Hamma Bouziane Wilaya de Constantine</b>							
Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en : Ecologie Fondamentale et Appliquée.							
<p><b>Résumé :</b></p> <p>L'objectif de notre stage de fin d'étude s'est basé sur l'évaluation de la qualité des émissions de gaz et de poussières des différentes installations de la cimenterie DjouadTaher située dans la commune de Hamma Bouziane, wilaya de Constantine.</p> <p>Les résultats de la période de surveillance qui s'est étalée de Janvier 2019 à Juin 2020 démontrent que les taux en SO<sub>2</sub> quantifiés à l'émission au niveau des rejets de la cimenterie sont en dessous du seuil de tolérance fixé par la réglementation algérienne (JORA, 2006).</p> <p>Pour les émissions en NO<sub>x</sub>, les résultats sont dans l'ensemble conformes à la réglementation durant la période de surveillance de l'année 2019. Par contre une élévation de ces émissions est observée durant l'année 2020 surtout de la période allant d'avril à Juin 2020 ou cette concentration est de 5990.05 mg/Nm<sup>3</sup> dépassant ainsi la valeur limite de 1500 mg/Nm<sup>3</sup> et le seuil de tolérance pour les anciennes installations qui est de l'ordre de 1800 mg/Nm<sup>3</sup>.</p> <p>Contrairement aux SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> le taux du CO estimé au niveau de la cheminée dépasse aussi bien la valeur limite (150 mg/Nm<sup>3</sup>) que le seuil de tolérance (200 mg/Nm<sup>3</sup>) durant toute la période de surveillance.</p> <p>En dernier, 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 à l'exception des périodes Juillet-Septembre 2019 et Janvier-Mars 2020 ou les taux de poussières mesurés est de l'ordre de 37,15 mg/Nm<sup>3</sup> dans le filtre REDECAM et de 40,281 mg/Nm<sup>3</sup> à 45,077mg/Nm<sup>3</sup> dans les filtres, BK1 et AAF. Ces valeurs dépassent la valeur limite mais restent inférieurs au seuil de tolérance qui est de 50 mg/Nm<sup>3</sup>.</p> <p><b>Mots clés :</b> Pollution atmosphérique, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, Poussières, Cimenterie Djouad Tahar, Hamma Bouziane.</p>							
<p><b>Jury d'évaluation :</b></p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Président du jury : Touati Laid</b></td> <td style="width: 50%;"><b>MCA-UFM Constantine 1</b></td> </tr> <tr> <td><b>Rapporteur : ZAIMECHE Saida</b></td> <td><b>MCB-UFM Constantine 1</b></td> </tr> <tr> <td><b>Examineurs : AMRI Sihem</b></td> <td><b>MAA-UFM Constantine 1</b></td> </tr> </table>		<b>Président du jury : Touati Laid</b>	<b>MCA-UFM Constantine 1</b>	<b>Rapporteur : ZAIMECHE Saida</b>	<b>MCB-UFM Constantine 1</b>	<b>Examineurs : AMRI Sihem</b>	<b>MAA-UFM Constantine 1</b>
<b>Président du jury : Touati Laid</b>	<b>MCA-UFM Constantine 1</b>						
<b>Rapporteur : ZAIMECHE Saida</b>	<b>MCB-UFM Constantine 1</b>						
<b>Examineurs : AMRI Sihem</b>	<b>MAA-UFM Constantine 1</b>						