



Algérienne Démocratique et Populaire الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Ben Ahmed
Université d'Oran 2 Mohamed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

Identification des risques atmosphériques au sein de la cimenterie la FARGE OGGAZ

Présenté et soutenu publiquement par :

Ikkene Yacine

Tarek Khelif

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr. Guitarni mohamed islem	Docteur	Université oran 2	Président
Mme.Talbi zahira	Docteur	Université oran 2	Encadreur
Mme.. Aomer nabila	Docteur	Université oran 2	Examineur

Année 2023/2024

Remerciements

*Tout d'abord, je souhaite remercier chaleureusement mon directeur de mémoire, **Madame Talbi Zahira**, pour son encadrement, sa disponibilité et ses conseils précieux tout au long de cette recherche. Ses orientations et ses encouragements ont été déterminants dans l'aboutissement de ce projet. Son expertise et son soutien ont grandement facilité mon travail et m'ont permis de surmonter les défis rencontrés.*

*Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à mes encadreurs de stage, **Monsieur Bendadi Amine** et **Monsieur Mohammed Arslan**, ainsi qu'à toute l'équipe de **Holcim Lafarge**. Leur soutien, leur encadrement et leurs conseils pratiques ont été inestimables. Leur expertise technique et leur bienveillance ont non seulement enrichi mon expérience professionnelle, mais ont aussi renforcé ma confiance en mes capacités à évoluer dans ce domaine.*

*Je remercie toutes les personnes qui ont accepté de participer à cette recherche, en particulier **Taibi Fatima Zohra**. Sa contribution a été essentielle à la réalisation de cette étude. Les informations et les perspectives fournies ont enrichi la qualité de cette recherche et ont permis d'approfondir les analyses effectuées.*

Dédicace

*À mes parents, mon frère, mes sœurs, et mes chers amis,
Ce Projet de Fin d'Études est le fruit de plusieurs années de travail, de persévérance et de soutien
inébranlable. Je souhaite dédier ce travail à vous, qui avez été une source constante de motivation
et d'inspiration.*

- TAREK- YACINE

Résumé

La production de ciment est l'industrie la plus importante en Algérie, en raison de l'augmentation de la demande de ciment dans les industries de la construction. En tant que telle, la croissance économique et sociale du pays est confrontée à une dégradation de la qualité de l'air. Les principaux polluants atmosphériques provenant de la production de ciment sont la poussière, l'oxyde d'azote, l'oxyde de soufre, l'oxyde de carbone et le dioxyde de carbone, qui sont responsables du potentiel de réchauffement climatique, qui peuvent nuire à l'environnement et sont également nocifs pour la santé humaine et végétale. A cet effet, le stage effectué au niveau de l'entreprise du ciment LAFARGE, nous a permis d'identifier les principaux polluants issus de cette industrie et les différents zones d'émission

Summary

Cement production is the most important industry in Algeria, driven by increasing demand in the construction sector. However, this growth in economic and social development is accompanied by air quality degradation. Major atmospheric pollutants from cement production include dust, nitrogen oxides, sulfur oxides, carbon monoxide, and carbon dioxide, which contribute to climate warming potential, environmental harm, and pose risks to human and plant health. During my internship at Lafarge cement company, I identified these key pollutants and emission zones associated with this industry.

ملخص

إنتاج الأسمنت هو الصناعة الأكثر أهمية في الجزائر، وذلك بسبب زيادة الطلب على الأسمنت في صناعات البناء. وبذلك، تواجه النمو الاقتصادي والاجتماعي تحديا كبيرا تتمثل في تدهور جودة الهواء. الملوثات الجووية الرئيسية الناتجة عن إنتاج الأسمنت هي الغبار، أكسيد النيتروجين، أكسيد الكبريت، أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكربون، وهي مسؤولة عن الاحتباس العالمي، والتي يمكن أن تضر بالبيئة وتكون ضارة أيضا بصحة الإنسان والنبات. لهذا الغرض، التدرّب الذي أجريته في شركة النارج للأسمنت، سمح لي بتحديد الملوثات الرئيسية الصادرة عن هذه الصناعة والمناطق المختلطة النبعها.

Table des matières

<i>Remerciements</i>	I
<i>Dédicace</i>	II
Résumé	III
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	IX
Introduction générale	1
Chapitre I	3
I.1 Introduction	4
I.2 Définition de l'atmosphère	4
I.3 Définition de l'atmosphère terrestre	4
I.4 composition de l'atmosphère	4
I.5 Couches atmosphériques : ordre et caractéristiques	5
<i>I.5.1 Troposphère</i>	5
<i>I.5.2 Stratosphère</i>	6
<i>I.5.3. Mésosphère</i>	6
<i>I.5.4 Thermosphère</i>	7
<i>I.5.5 Exosphère</i>	7
I.6 Définition la pollution atmosphérique	7
I.7 les différents types de polluants	7
I.8 les substances polluantes (différents types de polluants)	7
<i>I.8.1 les polluants réglementés</i>	7
I.8.1.a Le dioxyde d'azote « NO _x ».....	7
I.8.1b Le dioxyde de soufre « SO _x ».....	9
I.8.1.c Le monoxyde de carbone « CO ».....	10
I.8.1.d L'ozone « O ₃ ».....	10
I.8.1.e Les particules fines.....	11
I.8.1.f Le benzène « C ₆ H ₆ ».....	14
I.8.1.g Le plomb « Pb »	14
I.8.1.h Les composés organiques volatiles (COV)	14
I.8.1.i Les éléments traces métalliques	14
I.8.1.j Les chlorofluorocarbones	15
I.9 Sources des polluants atmosphériques	15
<i>I.9.1 Sources naturelles</i>	15
<i>I.9.2 Les sources anthropiques</i>	15

I.10 Facteurs régissant l'évolution des polluants dans l'air.....	16
<i>I.10.1 Facteurs météorologiques</i>	<i>16</i>
I.10.1.a Le vent	16
I.10.1.b La température	16
I.10.1.c L'humidité	16
I.10.1.d Les précipitations	17
I.10.1.e La pression atmosphérique	17
1.11 les effets des différentes substances.....	17
1.11.1 Effet de serre et changement climatique.....	17
1.11.2 Destruction de la couche d'ozone	17
1.11.3 Acidification, eutrophisation et photochimie	17
1.11.4 Effets sur les matériaux	18
1.11.5 Effets sur les écosystèmes	19
1.11.6 Effets sur la santé	19
les effets des polluants les plus courants sont	20
Conclusion.....	20
Chapitre II.....	22
II.1 Introduction	23
II.2 Les matières premières dans la production du ciment.....	23
II.3 Production du ciment	25
II.4 Impact Environnemental	28
<i>II.4.1 Impact sur la qualité de l'air</i>	<i>28</i>
<i>II.4.2 Impact sur la santé publique.....</i>	<i>30</i>
II.4.2.1 Particules.....	31
II.4.2.2 L'amiante	31
II.4.2.3 Monoxyde carbone (CO)	31
II.4.2.4 Dioxyde de carbone (CO₂)	32
II.4.2.5 Ozone troposphérique (O₃)	32
II.4.2.6 Oxydes d'azote (NO_x).....	32
II.4.2.7 Dioxyde de soufre (SO₂)	32
II.4.2.8 Eléments traces métalliques (ETM).....	33
II.4.2.9 Chrome VI	33
II.4.2.10 Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA).....	33
II.4.2.11 Dioxines.....	34
II.4.3 Quelques maladies conséquence de pollution	34
II.4.3.A Maladies respiratoires	34

II.4.3.B Pathologies du foie.....	35
II.4.3.C Pathologies cardio-vasculaires	37
II.5 Législation sur la limite d'émission.....	38
CHAPITRE III.....	41
INTRODUCTION	42
III.1 Présentation général de l'entreprise (LCO)	42
III.2 Historique	42
III.3 Organisation de l'entreprise.....	43
III.4.1 Localisation du site.....	44
III.4.2 INFRASTRUCTURES	44
III.4.3 PLAN DE MASSE.....	45
III.5 Capacité de production.....	45
III.6 Lafarge dans le monde.....	46
III.7 Lafarge en Algérie.....	46
III.8 Procédé de fabrication de ciment	46
III.9 Les phases de fabrication de ciment.....	47
III.10 Les méthodes de fabrication du ciment.....	48
III.11 La fabrication du ciment par voie sèche au niveau de la cimenterie Lafarge d'Oggaz	49
III.11.1 Carrière	49
III.11.2 Pré-homogénéisation	50
III.11.3 Broyage du cru.....	51
III.11.4 Homogénéisation	51
III.11.5 Préchauffage	51
III.11.6 Four rotatif.....	52
III.11.7 Refroidisseur à Clinker	52
III.11.8 Concassage du clinker	52
III.11.9 Broyeur à Ciment	52
III.11.10 Stockage.....	53
III.11.11 Expédition	53
III.12 Description de l'environnement immédiat de l'établissement « LCO » : .	53
Conclusion	54
Chapitre IV.....	56
IV.1 Introduction	57
IV.2 Impact de l'activité de l'usine.....	57
IV.3 Emission de poussières.....	58

IV.3.1 Les sources de poussières	58
IV.3.2 Impact sur la santé et sur l'environnement.....	59
IV.3.3 Les technologies de diminution	59
IV.4 Emissions du CO₂	62
IV.5 Emissions des SO_x	63
IV.5.1 Impact sur la santé et l'environnement	64
IV.5.2 Matériel de mesure	64
IV.6 Emissions des NO_x	64
IV.7 Stratégies de décarbonisation de la production de ciment	65
IV.8 Utilisation de technologies alternatives de clinker	65
IV.8.1 Ciments à base d'argile	66
IV.8.2 Ciments à base de bélite	66
IV.8.3 Ciments à base de magnésium	66
IV.8.4 Les liants activés	66
IV.9 Capture et utilisation du carbone (CCU)	68
Conclusion générale	71
Références bibliographiques	

Liste des figures:

FIGURE 1. I: DIFFERENTES COUCHES DE L' 1	6
FIGURE 1. II: SOURCES DE PRODUCTION DES N 1	9
FIGURE 1. III: EMISSION DES SOX DANS LE MI 1	9
FIGURE 1. IV: REPRESENTATION SCHEMATIQUE 1	11
FIGURE 1. V: INFLUENCE DE LA TAILLE DES 1	19
FIGURE II 1: EXTRACTION ET PREPARATION 1	26
FIGURE II 2: LA CUISSON. 1	27
FIGURE II 3: CONDITIONNEMENT ET EXPEDIT 1	27
FIGURE III 1: SCHEMA D'ORGANISATION 1	44
FIGURE III 2: SITUATION GEOGRAPHIQUE DE 1	44
FIGURE III 3: PLAN DE MASSE 1 1	45
FIGURE III 4: INFRASTRCTURES.....	45
FIGURE III 5: PRINCIPE DE FABRICATION D 1	47
FIGURE III 6: SCHEMA DE FABRICATION DU 1	49
FIGURE III 7: CONCASSAGE DES MATIERES PR 1	
FIGURE III.10: CONCASSAGE DES MATIERES PR 1	50
FIGURE III 8: LA PRE-HOMOGENEISATION PA 1	
FIGURE III.11: LA PRE-HOMOGENEISATION PA 1.....	51
FIGURE III 9: LE PRINCIPE DU FOUR ROTAT 1	
FIGURE III.12: LE PRINCIPE DU FOUR ROTAT 1	52
FIGURE III 10: SILOS DE STOCKAGE DU CIM 1	
FIGURE III.13 : SILOS DE STOCKAGE DU CIM 1	53
FIGURE IV 1 : LES SOURCES DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUE.....	57
FIGURE IV 2 : EMISSION DE POUSSIERES AU NIVEAU DE L'ENTREPRISE.....	58
FIGURE IV 3: TAILLE DES PARTICULES PAR (μ M).....	58
FIGURE IV 4: MANCHES DANS LA TREMIE.....	61
FIGURE IV 5: POUSSIERES DANS LA TREMIE.....	62
FIGURE IV 6: MATERIEL DE MESURE (A GAUCHE THERMOCOUPLE, A DROITE THERMOMETER).....	64

Liste des tableaux :

TABLEAU 1. 1 : COMPOSITION DE L' AIR SEC [1][2].	5
[21] S.BARBHUIYA. F. KANAVARIS. B. BHUSAN DAS. M. IDREES. « DECARBONISING CEMENT AND CONCRETE PRODUCTION: STRATEGIES, CHALLENGES AND PATHWAYS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT ». JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING 86 (2024).TABLEAU 1. 2.....	75
TABLEAU II 1 : LES MATIERES PREMIERES DU CIMENT [18].....	25
TABLEAU II 2: LES EFFETS DES REJETS ATMOSPHERIQUES SUR LA SANTE PUBLIQUE.....	31
TABLEAU II 3 : QUELQUES METAUX LOURDS ET LEURS EFFETS SUR LA SANTE [48]	33
TABLEAU II 4: VALEURS LIMITES D'EMISSION POUR LES CIMENTERIES [19].....	39
TABLEAU IV 1 : CLASSEMENT DES FIBRES SUIVANT LA RESISTANCE A LA TEMPERATURE	62

Introduction générale

Introduction générale

L'industrie de la cimenterie, en raison de son rôle crucial dans la construction et le développement économique, est souvent considérée comme un pilier de l'économie mondiale. Elle fournit le ciment nécessaire à la fabrication du béton, un matériau fondamental utilisé dans la construction de diverses structures, allant des infrastructures de base aux grands projets architecturaux. De plus, cette industrie crée un nombre important d'emplois dans les régions où les cimenteries sont implantées, stimulant ainsi la croissance économique locale.

Cependant, malgré ces avantages économiques, l'industrie de la cimenterie est associée à des impacts environnementaux significatifs, notamment la pollution atmosphérique. Le processus de fabrication du ciment comprend plusieurs étapes, chacune contribuant à l'émission de divers polluants dans l'atmosphère. Ces polluants comprennent notamment les oxydes d'azote (NO_x), les oxydes de soufre (SO_x), les particules fines (PM) et les composés organiques volatils (COV).

Au fil des décennies, avec la croissance rapide de l'industrie du ciment pour répondre à la demande croissante en infrastructures, les émissions de ces polluants ont également augmenté de manière significative. Cette croissance rapide soulève des préoccupations quant aux effets néfastes sur la qualité de l'air, la santé humaine et les écosystèmes environnants. Il est communément admis que la fabrication d'une tonne de ciment libère près d'une tonne de CO₂ dans l'atmosphère, que plus de 60% des émissions de CO₂ sont produites durant la phase de décarbonatation et que la production de ciment est responsable d'environ 5% des émissions de CO₂ de la planète.

L'objectif de ce mémoire est d'identifier les principaux polluants atmosphériques émis par la cimenterie de Zahana et également connaître les zones et sources de ces polluants.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitre :

Le premier chapitre décrit des généralités sur la pollution atmosphérique, les principaux polluants atmosphériques, leurs sources, leur classification, leurs impacts sur la santé humaine et sur l'environnement.

Le deuxième chapitre est consacré aux différents polluants issus de l'industrie du ciment, nous avons présenté en détails leurs impact sur la santé et les différentes maladies engendrées suite à l'exposition fréquente à ces polluants.

Le troisième chapitre présente la cimenterie de Zahana, sa localisation et les procédés de fabrications du ciment.

Le quatrième chapitre est consacré à l'identification des principaux polluants causés par l'activité de l'industrie du ciment, nous avons également identifier les zones à risque d'émission et les principaux traitements d'élimination particulièrement l'élimination des poussières. A la fin de ce chapitre, nous avons mis en évidence les nouvelles technologies de réduction.

Chapitre I

Généralités sur la pollution atmosphérique

I.1 Introduction

La pollution atmosphérique est un problème majeur qui affecte l'ensemble de la planète, influençant à la fois la santé humaine et les écosystèmes naturels. Ce chapitre vise à fournir une vue d'ensemble des généralités sur la pollution atmosphérique. Nous débutons par une définition de l'atmosphère, en expliquant sa composition et ses différentes couches. Ensuite, nous abordons la pollution atmosphérique, en définissant ce terme et en présentant les divers types de polluants qui altèrent la qualité de l'air. Ce cadre général permettra de mieux comprendre les mécanismes et les effets de la pollution atmosphérique, préparant ainsi le terrain pour des analyses plus détaillées et des discussions sur les solutions possibles.

I.2 Définition de l'atmosphère

L'atmosphère est, au sens large, une couche gazeuse qui enveloppe certains astres. La terre ainsi que d'autres planètes ou les étoiles en sont pourvues. Une atmosphère peut contenir des particules en suspension (poussières, aérosols, etc.) Ou atteindre des températures très élevées, comme c'est le cas pour les étoiles, engendrant alors une émission de lumière.

I.3 Définition de l'atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est l'enveloppe gazeuse entourant la terre solide. L'air sec se compose de 78,08 % d'azote, 20,95 % d'oxygène, 0,93 % d'argon, 0,039 % de dioxyde de carbone et des traces d'autres gaz. L'atmosphère protège la vie sur terre en absorbant le rayonnement solaire ultraviolet, en réchauffant la surface par la rétention de chaleur (effet de serre) et en réduisant les écarts de température entre le jour et la nuit.

Il n'y a pas de frontière définie entre l'atmosphère et l'espace. Elle devient de plus en plus ténue et s'évanouit peu à peu dans l'espace. L'altitude de 120 km marque la limite où les effets atmosphériques deviennent notables durant la rentrée atmosphérique. La ligne de Karman, à 100 km, est aussi fréquemment considérée comme la frontière entre l'atmosphère et l'espace.

I.4 composition de l'atmosphère

L'atmosphère est une enveloppe gazeuse d'environ 500 km d'épaisseur, peu épaisse par rapport au rayon du globe terrestre qui mesure quelque 6 500 km. Elle est retenue à la surface de la planète par la pesanteur. L'atmosphère de la terre est un mélange de gaz. Elle est constituée principalement de diazote (N_2 , 78 %) et de dioxygène (O_2 , 21 %) et de quelques gaz beaucoup moins abondants comme le dioxyde de carbone (CO_2 , 0,038 %) et des gaz rares comme l'argon (Ar, 1 %). L'atmosphère

présente aussi des traces d'hélium, d'hydrogène, de néon, de krypton, de xénon, d'ozone et de méthane. Enfin, les basses couches de l'atmosphère contiennent de la vapeur d'eau, à une concentration de 0 à 4 % en volume, qui constitue notamment les nuages, tandis que les hautes couches contiennent de l'ozone (O₃). La basse atmosphère contient aussi des constituants mineurs comme les poussières et les aérosols qui jouent néanmoins un rôle important dans la condensation de l'eau, donc dans la formation des nuages, et dans l'absorption et la réflexion de la lumière solaire. La composition chimique de l'atmosphère, relativement stable depuis environ 500 millions d'années, se modifie beaucoup plus rapidement depuis un siècle sous l'influence des activités humaines.

Tableau 1.1 : Composition de l'air sec [1][2].

Éléments (Gaz)	Symbole chimique	Pourcentage dans l'air
Azote	N₂	78,08
Dioxygène	O₂	20,95
Argon	Ar	0,934
Dioxyde de carbone	CO₂	382.10⁻⁴
Néon	Ne	18,18.10⁻⁴
Hélium	He	5,24.10⁻⁴
Krypton	Kr	1,14.10⁻⁴
Méthane	CH₄	1,7.10⁻⁴
Monoxyde d'azote	NO	5.10⁻⁴
Dihydrogène	H₂	0,5.10⁻⁴
Xénon	Xe	0,087.10⁻⁴
Ozone	O₃	1.10⁻⁶

I.5 Couches atmosphériques : ordre et caractéristiques

L'atmosphère terrestre est divisée en quatre couches. Chaque couche est caractérisée par un gradient de température différent en fonction de l'altitude.

I.5.1 Troposphère

La troposphère (entre 0 et environ 15 km) est la première couche au-dessus de la surface de la terre et contient environ 85 à 90% de la masse totale de l'atmosphère de la terre. Elle se caractérise par une baisse de la température avec l'altitude croissante.

Le profil thermique de la troposphère résulte en grande partie du réchauffement de la surface de la terre par le rayonnement solaire entrant. La chaleur est ensuite transférée dans la troposphère

par une combinaison de transfert convectif et turbulent. Le temps se passe dans la troposphère terrestre.

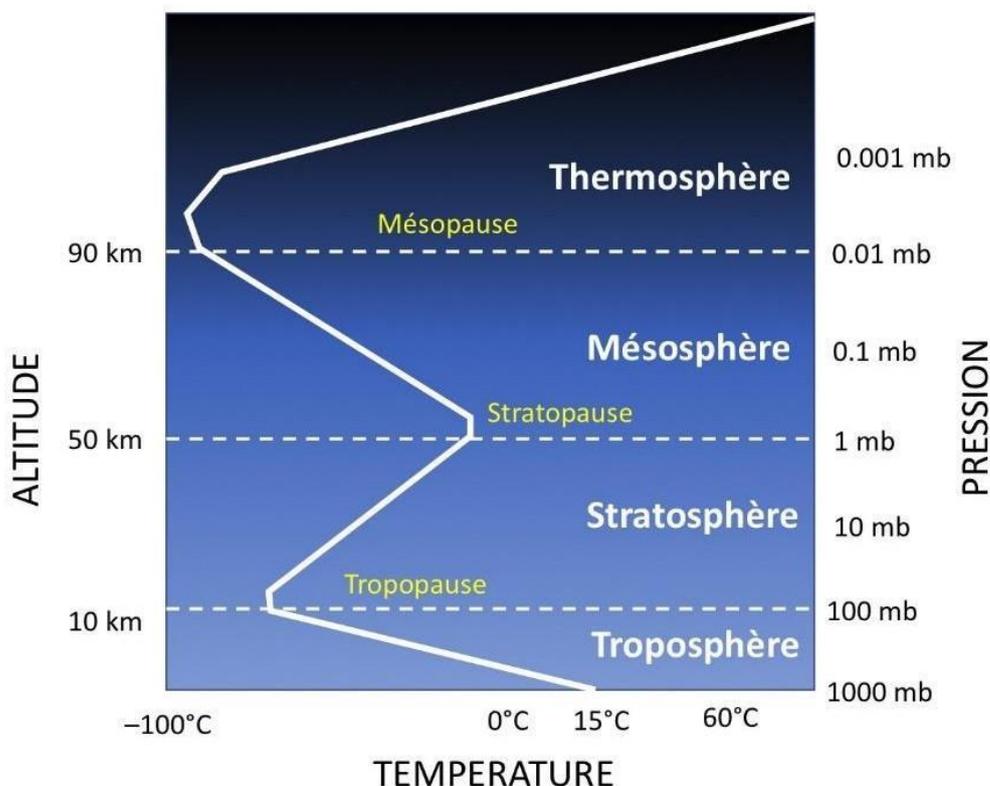


Figure 1.1: Différentes couches de l'atmosphère

1.5.2 Stratosphère

Dans la stratosphère (entre environ 15 et 50 km), la température augmente en fonction de la hauteur. Ce réchauffement résulte de l'absorption directe du rayonnement solaire par la couche d'ozone, empêchant ainsi une grande partie du rayonnement ultraviolet nocif du soleil d'atteindre la surface de la terre.

1.5.3 Mésosphère

La mésosphère est la couche suivante de l'atmosphère (de 50 à 90 km), caractérisée par des températures qui diminuent à mesure que l'on monte jusqu'à -90°C en moyenne. Beaucoup de météores brûlent dans cette couche en pénétrant dans l'atmosphère de la terre.

1.5.4 Thermosphère

Ensuite, la thermosphère s'installe là où les températures augmentent régulièrement avec l'altitude. C'est la couche de l'atmosphère qui est exposée pour la première fois au rayonnement solaire. La thermosphère comprend également l'ionosphère, une région de l'atmosphère remplie de particules chargées, où se trouvent en particulier les aurores.

1.5.5 Exosphère

La limite supérieure de l'atmosphère terrestre est l'exosphère où l'atmosphère se confond avec l'espace.

1.6 Définition la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique peut être définie comme une altération de la qualité de l'air qui peut être caractérisée par des mesures de polluants chimiques, biologiques ou physiques dans l'air. La pollution atmosphérique désigne donc la présence indésirable d'impuretés ou l'augmentation anormale de la proportion de certains constituants de l'atmosphère. Elle peut être classée en 2 sections : la pollution atmosphérique **visible** et **invisible**.

1.7 les différents types de polluants

- a) **Les polluants primaires** : sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission. Par exemple, le CO est un polluant primaire .
- b) **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) .

1.8 les substances polluantes (différents types de polluants)

1.8.1 les polluants réglementés

Sept polluants sont réglementés et font l'objet de mesures continues dans l'air réalisées par les associations de surveillance de la qualité de l'air :

1.8.1.a Le dioxyde d'azote « NO_x »

Les oxydes d'azote « **NO_x** » sont émis lors de la combustion (chauffage, production d'électricité, moteurs thermiques des véhicules...). La chimie de l'azote (fabrication de nitrate d'ammonium...) ou l'utilisation de produits nitrés dans les procédés industriels (verrerie...) sont également des émetteurs. Enfin, l'utilisation des engrais azotés entraîne des rejets de NO_x. Les émissions d'origine humaine peuvent localement devenir très largement prépondérantes.

Les volcans et les éclairs sont aussi susceptibles de créer les conditions favorables à la formation d'oxydes d'azote. De même, les sols naturels secs peuvent émettre du monoxyde d'azote au cours du processus biologique de transformation de l'azote du sol.

Une fois dans l'air, le monoxyde d'azote « **NO** » devient du dioxyde d'azote « **NO₂** », gaz irritant pour les bronches et favorisant les crises d'asthmes et les infections pulmonaires. Les personnes asthmatiques et les jeunes enfants sont plus sensibles à ce polluant.

Les « **NO_x** » sont également précurseurs d'autres polluants ; dans certaines conditions climatiques et d'ensoleillement, ils réagissent en particulier avec les composés organiques volatils (cov) pour conduire à la formation d'ozone troposphérique ou avec l'ammoniac (NH₃) pour conduire à la formation de particules secondaires.

Les principaux effets sur l'environnement des « **NO_x** » sont :

- L'acidification des milieux, qui peut entraîner des chutes de feuilles ou d'aiguilles, des nécroses et influencer de façon importante les milieux aquatiques ;
- L'eutrophisation (apport excédentaire d'azote dans les milieux naturels et notamment les sols) qui conduit à une réduction de la biodiversité.

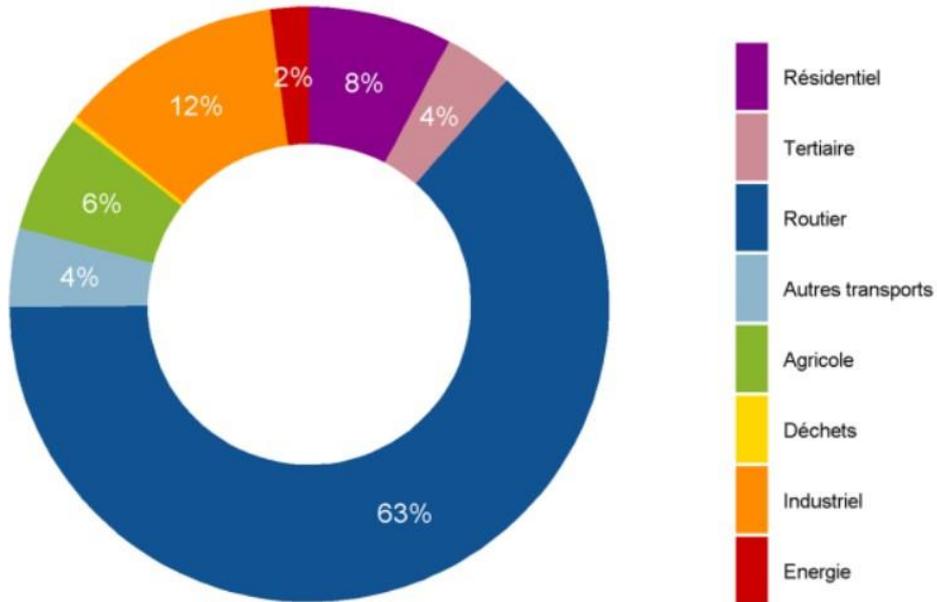


Figure 1. II: Sources de production des N 1

I.8.1b Le dioxyde de soufre « SO_x »

Le dioxyde de soufre « SO₂ » est produit à partir de la combustion d'énergies fossiles (fioul, charbon, lignite, gazole, etc.). Quelques procédés industriels émettent également des oxydes de soufre (production d'acide sulfurique, production de pâte à papier, raffinage du pétrole, etc.). Ils peuvent également être émis par la nature (volcans).

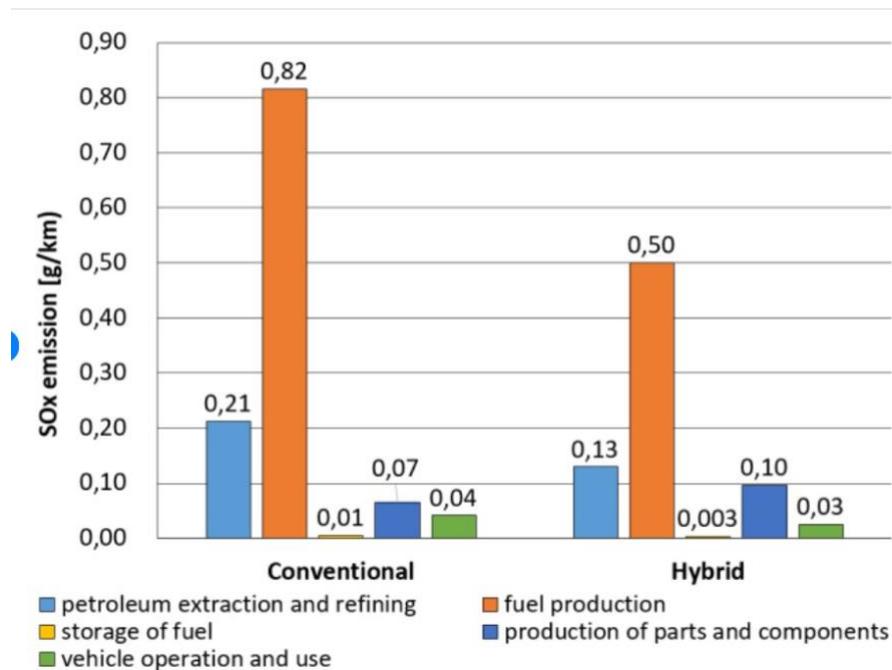


Figure 1. III: Emission des SOx dans le mi 1

Ce polluant provoque une irritation des muqueuses, de la peau et des voies respiratoires (toux, gêne respiratoire, troubles asthmatiques). Il favorise également les pluies acides et dégrade la pierre. C'est également un précurseur de particules secondaires en se combinant, sous certaines conditions, avec les NO_x.

I.8.1.c Le monoxyde de carbone « CO »

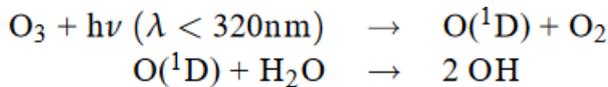
Gaz inodore, incolore et inflammable, le monoxyde de carbone « CO » se forme lors de la combustion incomplète de matières organiques (gaz, charbon, fioul ou bois, carburants). La source principale est le trafic automobile. Des taux importants de CO peuvent être rencontrés quand un moteur tourne au ralenti dans un espace clos ou en cas d'embouteillages dans des espaces couverts, ainsi qu'en cas de mauvais fonctionnement d'un appareil de chauffage domestique.

Le « CO » participe aux mécanismes de formation de l'ozone troposphérique. Dans l'atmosphère, il se transforme en dioxyde de carbone « CO₂ » et contribue à l'effet de serre. Sur la santé humaine, le monoxyde de carbone a un effet toxique à partir d'une concentration en volume inférieure à 0.1%, en exposition prolongée. Le « CO » se fixe sur l'hémoglobine pour former une molécule stable, la carboxyhémoglobine. L'hémoglobine s'associe préférentiellement avec le CO plutôt qu'avec l'oxygène, et cette fixation est irréversible. Pour une concentration de 800 ppm de CO dans l'air, 50% de l'hémoglobine se bloque sous forme de carboxyhémoglobine. Il en résulte une diminution de l'oxygénation cellulaire, nocive en particulier pour le système nerveux central. Le « CO » est responsable de 300 à 400 décès par an en France, en milieux clos, et de plus de 5000 hospitalisations. Les causes en sont :

- Le manque d'aération dans des locaux chauffés par une combustion,
- Le mauvais réglage des appareils entretenant une combustion,
- L'obstruction du conduit de cheminée, provoquant le refoulement des gaz brûlés, la mauvaise conception de certaines cheminées, empêchant l'évacuation des gaz brûlés.
- La région de Dehli (Inde) est l'exemple parfait de teneurs excessives en « CO ». Seuil maximal admissible pour l'OMS est 10 milligrammes/m³ de moyenne horaire sur 8 heures, 30 milligrammes/m³ sur 1 heure.

I.8.1.d L'ozone « O₃ »

L’ozone troposphérique est un gaz incolore et extrêmement irritant qui se forme juste au-dessus de la surface de la terre. On l’appelle polluant « secondaire » parce qu’il se crée lorsque deux polluants primaires réagissent au soleil et à l’air stagnant. Ces deux polluants primaires sont les oxydes d’azote (NO_x) et les composés organiques volatils (COV). Les NO_x et les COV sont le produit de sources naturelles ou de l’activité humaine. Environ 95 % des NO_x découlant de l’activité humaine sont attribuables à la combustion du charbon, à l’essence et à l’huile des véhicules moteurs, aux résidences, aux industries et aux centrales électriques. Les COV découlant de l’activité humaine proviennent principalement de la commercialisation et de la combustion de l’essence, de la production en amont du gaz et du pétrole, du chauffage au bois résidentiel et de l’évaporation des combustibles liquides et des solvants. Les sources naturelles (biogènes), telles que les forêts de conifères, sont aussi à l’origine d’une quantité appréciable de COV.



O(1 D) est un atome d’oxygène dans un état électronique excité. OH est un radical [4].

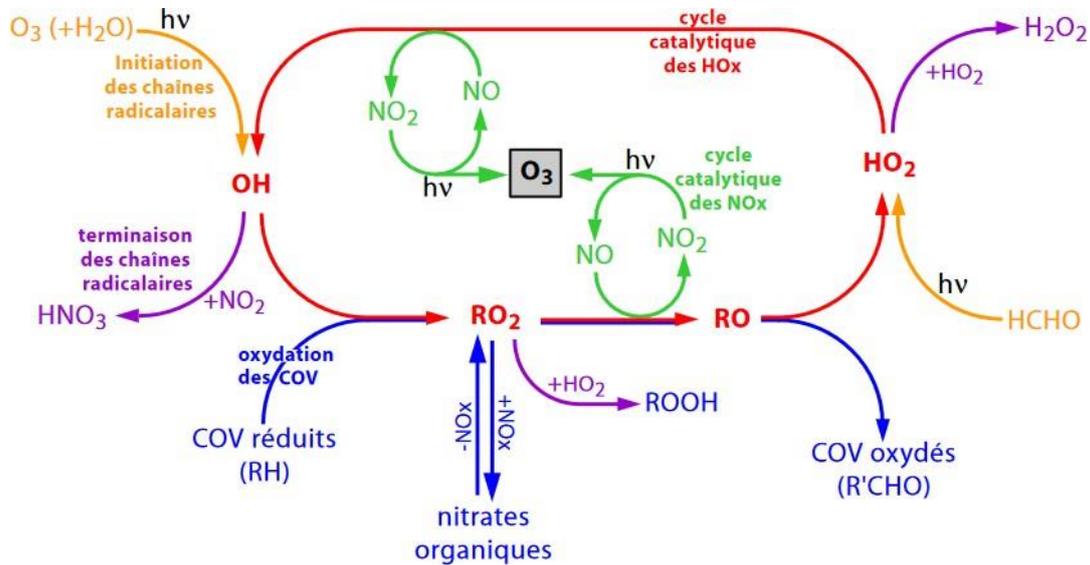


Figure 1. IV: Représentation schématique 1

I.8.1.e Les particules fines

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

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

❖ Les aérosols :

Les aérosols particuliers se définissent par la suspension dans l'air de fines particules solides ou liquide ou encore les deux dans une phase gazeuse. Ces particules ont un diamètre inférieur à 100 μm , suivant des conditions météorologiques bien définies ; au repos on retrouve des particules d'un diamètre de l'ordre de 10 μm et en cas de turbulence (vents forts, orage...) des particules de diamètre de l'ordre de 100 μm . Les aérosols sont présents au niveau de la couche troposphérique de l'atmosphère et y séjournent longtemps à cause de la faible vitesse de chute des particules les constituant. Ce qui explique l'exposition proche et chronique de l'homme à ce phénomène [5].

❖ Diamètre aérodynamique :

Comme les particules en suspension dans l'air peuvent présenter des formes et des densités variables, il n'est pas facile de leur donner un diamètre. Le diamètre aérodynamique est une grandeur qui se prête à la description d'une série de processus. Il correspond au diamètre qu'une particule sphérique d'une densité de 1 g/cm^3 devrait avoir pour présenter la même vitesse de chute dans l'air que la particule concernée [6].

❖ TSP (Total suspended particles) :

Ces particules de diamètre inférieur à 30-40 μm séjournent longtemps dans l'atmosphère et sont en général captées par le segment extra thoracique (elles sont arrêtées au niveau de la bouche et de nez) [7].

❖ PM (Particulate matter) :

PM c'est une abréviation anglaise de « Particulate matter » et qui signifie matière particulaire [8].

a) Les grosses particules PM-10 : Particules inhalables de diamètre inférieur à 10 μm , c'est-à-dire 6 à 8 fois plus petite que l'épaisseur d'un cheveu ou la taille d'une cellule [9].

b) Particules fines PM-2.5 : Les particules fines sont les particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 μm . Cette fraction parcourt l'appareil respiratoire jusqu'aux alvéoles pulmonaires [10].

c) Particules ultrafines PM-0.1 : Les particules ultrafines sont les particules dont le diamètre aérodynamique inférieur à 0,1 μm . Leur taille inférieure aux structures cellulaires leur confère des propriétés de pénétration au niveau spécifique. Celles-ci sont également dénommées nanoparticules bien que cette dernière dénomination soit plutôt réservée aux particules manufacturées à l'échelle nanométrique (moins de 100 nm) [11].

❖ Les poussières (dust)

Les poussières sont faites de particules solides inférieures à 75 μm , les plus grosses retombent près de la source d'émission [12].

❖ Les fumées noires

Les fumées noires représentent les particules majoritairement composées de carbone et dont le diamètre aérodynamique inférieur à 5 μm .

❖ Brouillard et brume :

Le brouillard et la brume sont des suspensions de gouttelettes liquides de diamètre aérodynamique supérieur à 1 μm dans l'air. Pour des conditions de visibilité de 1-2 km on appelle cette suspension brume et pour des conditions de visibilité inférieure à 1 km on appelle cette suspension brouillard [13].

❖ Les suies :

Les suies sont des particules solides essentiellement composées de carbone et éventuellement d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, elles possèdent une structure proche de celle du graphite. Elles sont produites dans les systèmes de combustion et de pyrolyse et sont ordinairement très fines [14].

❖ Les cendres volantes :

Les cendres volantes sont des particules solides carbonées résiduelles, qu'on retrouve dans les gaz résultant de la combustion, évidemment leur composition varie d'un combustible à un autre [14].

I.8.1.f Le benzène « C₆H₆ »

Le benzène est un hydrocarbure aromatique simple qui, à température ambiante, est sous forme de liquide incolore, volatil et très inflammable. Il a une odeur aromatique caractéristique ayant un seuil olfactif variant entre 4,7 à 100 ppm dans l'air et de 2 mg/l dans l'eau et un seuil de goût entre 0,5 et 4,5 mg/l.

Le benzène est relativement soluble dans l'eau et dans la majorité des solvants organiques. Il se concentre peu dans les organismes aquatiques (coefficient de bioconcentration de 1 à 20). Sa demi-vie dans l'eau varie entre 1 heure et 720 jours selon qu'il s'agit d'eau de surface ou d'eau souterraine ou encore selon certaines conditions environnementales.

I.8.1.g Le plomb « Pb »

Le plomb est un métal toxique naturellement présent dans la croûte terrestre. Dans de nombreuses parties du monde, la généralisation de son usage a entraîné une importante contamination de l'environnement, une exposition humaine et de graves problèmes de santé publique.

I.8.1.h 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.

I.8.1.i Les éléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou métaux lourds. On distingue en particulier :

- I. Le mercure qui est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante.
- II. Le plomb ; une source importante des émissions de plomb dans l'atmosphère.

- III. Le cadmium, provient surtout de l'incinération des déchets, ainsi que de procédés industriels (métallurgie..).

I.8.1.j Les chlorofluorocarbones

Les chlorofluorocarbones ou les CFC (également connus sous le nom de fréons) sont toxiques, ininflammables et cancérigènes. Ils contiennent des atomes de fluor, des atomes de carbone et des atomes de chlore. Les CFCS sont largement répandus comme liquides réfrigérants dans la réfrigération et les climatiseurs, comme dissolvants dans les décapants, en particulier pour les cartes électroniques.

I.9 Sources des polluants atmosphériques

Les polluants atmosphériques peuvent être d'origine naturelle ou anthropique :

I.9.1 Sources naturelles

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

- Les feux de forêts, de cultures ou des prairies contribuent à des émissions importantes de noyaux de condensation, d'imbrûlés et de gaz.
- Les volcans émettent des gaz comme le dioxyde de soufre, de l'hydrogène sulfureux et des particules de cendres en grande quantité.
- Les embruns marins sont constitués par des aérosols (des cristaux de sels)
- Les végétaux sont à leur tour à l'origine d'une pollution par les pollens, les spores et les champignons.
- L'ozone formé naturellement à haute altitude à partir de réaction photochimique impliquant l'oxygène de l'air [4].

I.9.2 Les sources anthropiques

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

- L'industrie est un des secteurs majeurs des émissions atmosphériques en dioxyde de soufre (SO₂), poussières, métaux lourds, composés organiques volatils (COV), les oxydes d'azote (NO_x), ...
- Le transport, qu'il soit aérien, maritime ou terrestre, il émet des quantités considérables de NO_x, des particules (PM) dans les gaz d'échappement, du monoxyde de carbone (les imbrulés), des COV, ...
- Les combustions et les incinérations sont aussi à l'origine de l'émission des métaux, des dioxines, des COV, des CO_x, des aérosols,

I.10 Facteurs régissant l'évolution des polluants dans l'air

I.10.1 Facteurs météorologiques

I.10.1.a Le vent

En l'absence de relief, le vent tend à disperser les polluants atmosphériques. Plus le vent est fort plus la vitesse de propagation d'une pollution sera importante, donc le vent est un facteur essentiel qui explique la distribution des émissions polluantes dans l'air [15].

I.10.1.b La température

La température de l'air diminue généralement avec l'altitude (1°C pour 100 m d'altitude) ce qui favorise la dispersion des polluants [16]. Elle joue un rôle très important pour la détermination du degré de stabilité de l'atmosphère ainsi que pour la dispersion verticale de la pollution. Elle agit sur la chimie des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz tandis que la chaleur estivale est nécessaire à la formation photochimique de l'ozone.

I.10.1.c L'humidité

L'humidité, non seulement de l'atmosphère, mais aussi du sol, influence les concentrations des polluants. Elle joue un rôle clé dans la formation de certains polluants comme l'acide sulfurique (brouillard acide) et leur élimination (dépôt humide). L'humidité intervient également dans les effets des polluants (détérioration des matériaux par corrosion, augmentation de la sensibilité de certains végétaux avec l'humidité, ...). Le taux d'humidité varie avec le milieu (rural, urbain, ...), suite à

différents facteurs (évapotranspiration des plantes, vapeur rejetée par les combustions d'origine anthropique [17]).

I.10.1.d Les précipitations

La pluie lave l'atmosphère des particules et des gaz, pour ensuite les déposer sur le sol et dans l'eau ; les précipitations sont habituellement associées à une atmosphère instable, qui permettent également une bonne dispersion de la pollution atmosphérique. Elles peuvent parfois accélérer la dissolution de certains polluants. Mais, globalement, les concentrations en polluants dans l'atmosphère diminuent nettement par temps de pluie notamment pour les poussières et les éléments solubles tel que le dioxyde de soufre (SO₂).

I.10.1.e La pression atmosphérique

Les situations dépressionnaires (basses pressions) correspondent généralement à une turbulence de l'air assez forte et donc de bonnes conditions de dispersion. En revanche, des situations anticycloniques (haute pression) ou la stabilité de l'air ne permet pas la dispersion des polluants entraînant des épisodes de pollution.

1.11 les effets des différentes substances

1.11.1 Effet de serre et changement climatique

L'effet de serre est un phénomène avant tout naturel de piégeage par l'atmosphère du rayonnement de chaleur émis par la terre sous l'effet des rayons solaires. Il permet une température sur terre bien supérieure à celle qui régnerait en son absence ; il s'agit, pour l'essentiel, de la vapeur d'eau, du gaz carbonique (CO₂), du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O).

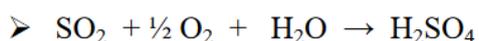
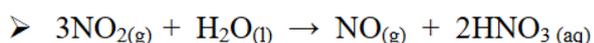
1.11.2 Destruction de la couche d'ozone

La destruction de la couche d'ozone se produit quand l'équilibre naturel entre la production et la destruction de l'ozone stratosphérique est incliné en faveur de la destruction. Bien que les phénomènes naturels puissent causer la perte provisoire de l'ozone, le chlore et le brome libérés des composés synthétiques tels que les CFC sont maintenant considérés comme cause principale de cet amincissement. Les émissions de CFC représentent environ 80% de l'amincissement total de l'ozone stratosphérique.

I.11.3 Acidification, eutrophisation et photochimie

A. Les pluies acides

"les pluies acides" est un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluies, neige, grêles, brouillard). Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote sont les principales causes des 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'émission, (pollution transfrontière à longue distance). Ceci concourt à des dépôts acides et à l'acidification accrue des pluies par rapport à celles résultant de la seule présence de gaz carbonique dans l'air (qui fait que le pH "naturel" d'une pluie est toujours acide, de l'ordre de 5,6). Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà naturellement acides. Ceci peut se répercuter par des atteintes sur la faune et la flore aquatique, des carences nutritives engendrant des chutes de rendement et des lésions visibles chez les végétaux, ainsi que des jaunissements et la défoliation des arbres.



B. L'eutrophisation

L'eutrophisation est due à un apport excessif en nutriments et en matières organiques biodégradables issus de l'activité humaine. Elle s'observe surtout dans les milieux aquatiques dont les eaux sont peu renouvelées. Stimulées par un apport substantiel en certains nutriments dont principalement le phosphore et l'azote.

C. Pollution photochimique

Se manifeste principalement sous forme de brouillard photochimique dit « smog ». Ce dernier se compose principalement d'ozone troposphérique (résultat d'une réaction photochimique entre des composés organiques volatils et des oxydes d'azote) et de substances particulaires primaires (pollen et poussière) et secondaires (oxydes de soufre, ammoniac et composés organiques volatils). Le smog est à l'origine de plusieurs maladies respiratoires, des irritations des yeux et de la peau, de la destruction de l'écosystème végétal, de la dégradation des statuts et musés, ...

1.11.4 Effets sur les matériaux

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide (surtout liées au SO_2) 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'opéreux travaux de ravalement de façades ou de restauration des monuments.

1.11.5 Effets sur les écosystèmes

Forêt, réserve d'eau douce les arbres vivent et dépérissent pour des causes naturelles très variées ne serait-ce que l'âge. Les responsables considèrent que la pollution atmosphérique est l'un des nombreux éléments participant aux dépérissements forestiers. Des recherches en laboratoires ont montré que les causes du dépérissement forestier sont très complexes : sols de mauvaise qualité, sécheresses anormales, présence de polluants dans l'atmosphère principalement la pollution acide et l'ozone. Mais à proximité de certains sites générateurs de pollution (site industriel, grosses infrastructures routières), on observe également des baisses de rendements des terres agricoles.

1.11.6 Effets sur la santé

Les limites de concentration dans l'air ambiant de certains polluants (SO_2 , poussières, NO_2 , Pb, O_3) tiennent compte des effets sur la santé de certaines substances. L'organisation mondiale de la santé (OMS) édicte les règles qu'il faudrait respecter pour les divers polluants. Certains effets sont associés à des seuils, c'est à dire qu'on peut déterminer une valeur de concentration dans l'air en dessous de laquelle la substance n'est pas dangereuse.

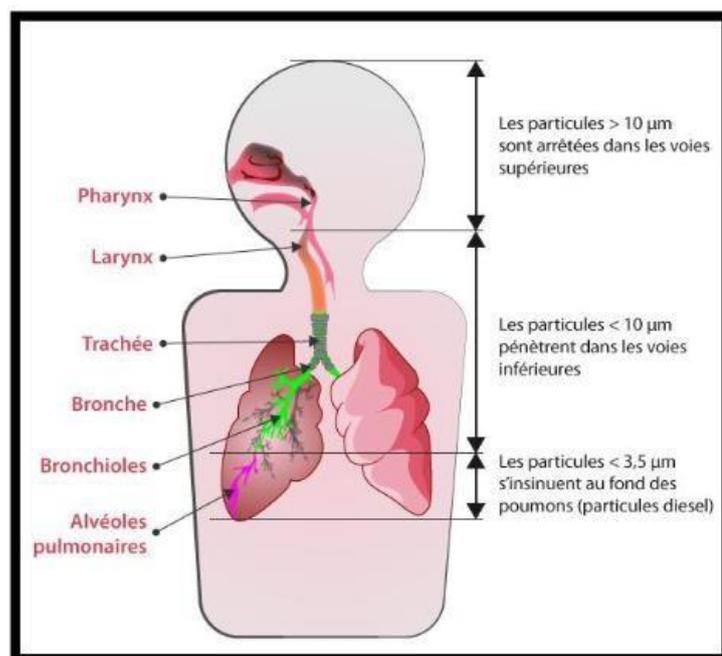


Figure 1. V: Influence de la taille des 1

Pour certaines substances, il n'existe pas de seuil au sens médical du terme, mais il existe des seuils réglementaires (niveau de pollution acceptable, mais non dénué de conséquences). Les effets sur la santé ayant été le plus étudiés sont les effets à court terme liés à des concentrations élevées. Pour déterminer les seuils (information, alerte, protection de la santé..), on se base sur des études toxicologiques et épidémiologiques. **La toxicologie** vise à étudier par une analyse phénoménologique ce qui fait qu'une substance est bien tolérée et l'autre non, à découvrir à partir de quelle dose une molécule deviendra dangereuse. **L'épidémiologie** consiste à analyser statiquement les relations entre une exposition et des effets.

les effets des polluants les plus courants sont :

- Particules: plus les particules sont fines plus elles pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire et plus leur temps de séjour y est important.
- SO₂: entraîne une inflammation des bronches avec un spasme qui provoque une altération de la fonction respiratoire.
- NO₂: toxique pénètre profondément dans les poumons. NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateur du sang.
- COV : certains composés organiques tels que les aromatiques, les oléfines provoquent des irritations des yeux. Certains COV tels que le benzène, sont cancérigènes.
- CO : se fixe sur l'hémoglobine du sang. Le phénomène est irréversible. On connaît les accidents mortels liés à l'inhalation de CO lors du fonctionnement défectueux de chauffe-eau. - ozone : est un oxydant puissant. C'est un irritant des yeux, de la gorge et des bronches. Ses effets sont majorés par l'exercice physique.
- pop : les conséquences observées sur les animaux sont: stérilité plus fréquente et baisse de l'effectif des populations, dysfonctionnements hormonaux, mutations sexuelles, déficiences du système immunitaire, anomalies de comportement, tumeurs et cancers, graves malformations congénitales.

Conclusion

En résumé, la pollution atmosphérique représente une altération significative de la qualité de l'air, causée par des polluants chimiques, biologiques et physiques. Ce chapitre a mis en lumière la complexité de l'atmosphère terrestre, sa composition et ses couches, ainsi que les différentes sources et types de polluants. Comprendre ces éléments est crucial pour élaborer des stratégies efficaces visant

à réduire la pollution et à protéger la santé publique et l'environnement. En approfondissant ces connaissances, nous nous préparons à explorer des solutions innovantes et des politiques rigoureuses pour combattre ce problème global.

Chapitre II

La pollution atmosphérique dans l'industrie du ciment

II.1 Introduction

Le ciment est un matériau de construction extrêmement important. Il est utilisé dans la production de nombreuses structures qui composent le monde moderne, notamment les bâtiments, les ponts, les ports, les pistes et les routes. Il est également utilisé pour façades et autres éléments décoratifs des bâtiments.

La demande constante pour toutes ces structures est de plus en plus importante pour les pays en développement ce qui fait que le ciment est considéré comme le deuxième produit le plus consommé au monde après l'eau [18]. L'industrie du ciment contribue de manière significative aux déséquilibres de l'environnement, notamment de la qualité de l'air. Les principales émissions environnementales sont les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO₂) et les particules fines [18].

L'industrie de fabrication du ciment Portland est sous surveillance de nos jours en raison des grands volumes de CO₂ émis. Cependant, des niveaux de production plus élevés ont également été largement comme la principale cause de pollution. Les principales sources de pollution atmosphérique dans l'industrie comprennent les activités d'excavation, les décharges, les pointes, les courroies transporteuses, le concassage et les émissions des fours [1]. Les technologies de production de ciment utilisées entraînent une forte consommation d'énergie, des émissions de gaz, une pollution sonore, un réchauffement de l'environnement et des émissions de carburant (CO₂, NO_x, SO₂ et CO) provenant du four et du pré-four.

II.2 Les matières premières dans la production du ciment

Le constituant de base de presque tous les ciments est le mélange approprié de calcaire et d'argile qui donne le clinker, le clinker est ensuite broyé avec une addition de gypse qui

Permettra au ciment de ne pas durcir trop vite [18]. Pour conférer au ciment des propriétés particulières ou afin de préserver des ressources naturelles et d'économiser de l'énergie, d'autres constituants sont utilisés d'origine naturelle ou non (ajouts).

a) Calcaire

Les calcaires ce sont des produits obtenus par broyage fin de roches naturelles présentant une teneur en carbonate de calcium CaCO₃ supérieure à 75%. La décarbonation du calcaire produire la chaux (CaO), puis la chaux se combine d'une part à l'alumine et l'oxyde de fer pour former des

aluminates et aluminoferrites de calcium, et d'autre part, à la silice pour former du silicate bicalcique. [19].

b) Argiles

Les argiles sont obtenues par les carrières à partir des roches naturelles, ils sont constitués essentiellement de silice (SiO_2), d'alumine (Al_2O_3) et de l'oxyde de fer (Fe_2O_3), et constituent par là même le complément indispensable du calcaire. Là encore les impuretés telles que magnésie, soufre, soude, potasse, doivent être en quantité très limitée. [2]

c) Pouzzolane (naturelle ou naturelle calcinée)

Les pouzzolanes sont des produits essais tellement composés de silice, alumine et d'oxyde de fer, présentant soit naturellement (origine volcanique) soit après activation thermique. [19]

d) Laitier de hauts fourneaux

Sous-produit issu de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux. Sa composition est très proche de celle du clinker. [19]

e) Gypse

Le gypse est une espèce minérale composée de sulfate dihydrate de calcium de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Le ciment est fabriqué à partir de matières premières comme le calcaire, la craie, le schiste, l'argile et le sable [1]. Le tableau II.1 montre les matières brutes utilisés pour fournir au ciment les principaux éléments.

f) Minerai de fer

Le minerai de fer est une roche contenant du fer, généralement sous la forme d'oxydes, comme la bauxite.

g) Autres constituants

Le ciment contient également d'autres éléments qui sont présents sous forme d'impuretés. Certains de ces éléments sont le chrome hexavalent, le nickel, le cobalt.

Tableau II 1 : Les matières premières du ciment [18].

Calcium	Silicium	Aluminium	Fer
Calcaire	Argile	Argile	Argile
Marne	Marne	Schiste	Minerai de fer
Calcite	Sable	Cendres volantes	Calamine
Aragonite	Schiste	Aluminium	Schiste
Schiste	Cendres volantes		
Coquillage	Poussière		
	Laitier		

II.3 Production du ciment

Les principales matières premières nécessaires à la fabrication du ciment sont le calcaire et la marne ou l'argile. Les cimenteries les trouvent dans des carrières qu'elles exploitent au moyen d'explosifs. La matière ainsi obtenue est ensuite réduite à la dimension de cailloux dans un concasseur, amenée par bande transporteuse jusqu'à l'usine, soumise à une pré homogénéisation et transformée en farine dans un moulin. Pour répondre aux exigences qualitatives élevées, on y ajoute souvent des matières de correction. La farine crue rencontre ensuite, dans une tour à échangeurs, les gaz de combustion chauds sortant du four, rencontre ensuite, dans une tour à échangeurs, les gaz de combustion chauds sortant du four, ce qui permet de la porter à quelque 900-1000°C à ce niveau que la plus grande quantité d'effluent est émise, un mélange de gaz de combustion et de poussières issues du four sont éjectée à travers la cheminée (Figure II.1) [19].

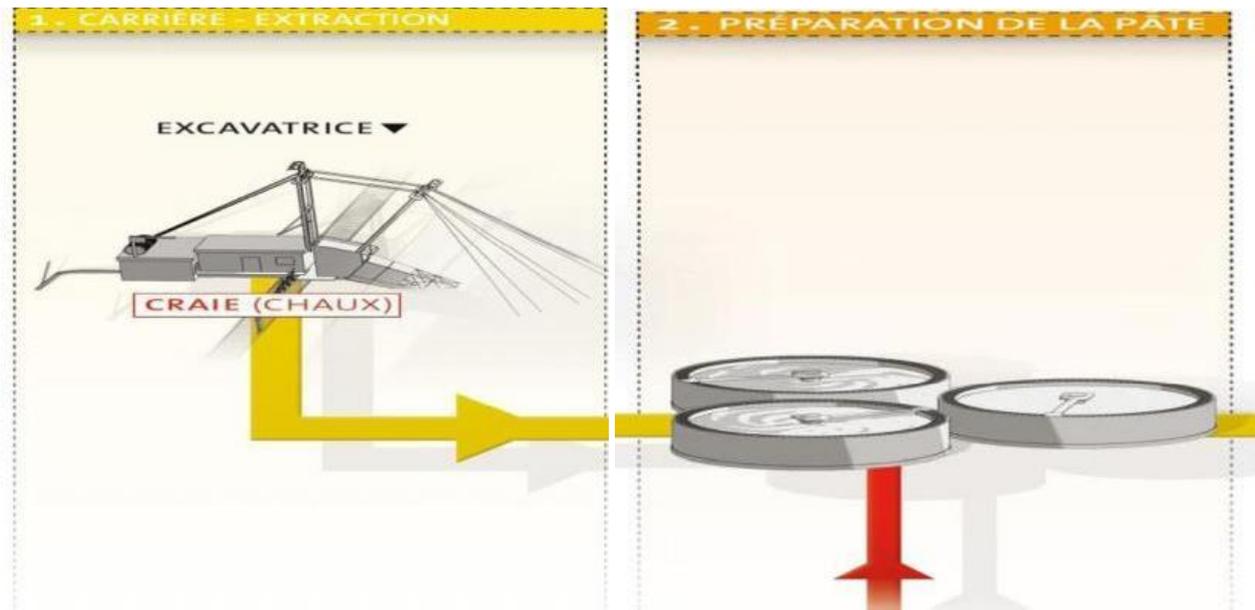


Figure II 1: Extraction et préparation 1

Une fois préchauffée, elle entre dans le four rotatif, où elle est portée **1450°C**. A cette température, les minéraux qui la composent subissent une transformation chimique; on obtient ainsi du **clinker**, qui se présente sous la forme de grains gris foncé, un peu semblables à des scories. Les températures élevées dans le four sont produites par une flamme alimentée par des combustibles fossiles, ainsi que par des combustibles de substitution (boue de séparation séchée, graisse animale, faine animale, solvant et plastiques). On recourt aussi à de vieux pneus qui eux sont introduits à l'entrée du four.

Après la cuisson, le clinker est rapidement refroidi à l'air ce qui permet de lui donner la structure cristallographique optimale. Il est ensuite moulu avec environ sept pour cent de gypse, c'est ainsi qu'à la sortie du moulin on obtient le ciment courant, en variant la finesse de la mouture et en incorporant certains ajouts tels que la farine de calcaire ou la fumée de silice, on donne au ciment des propriétés spécifiques [19].

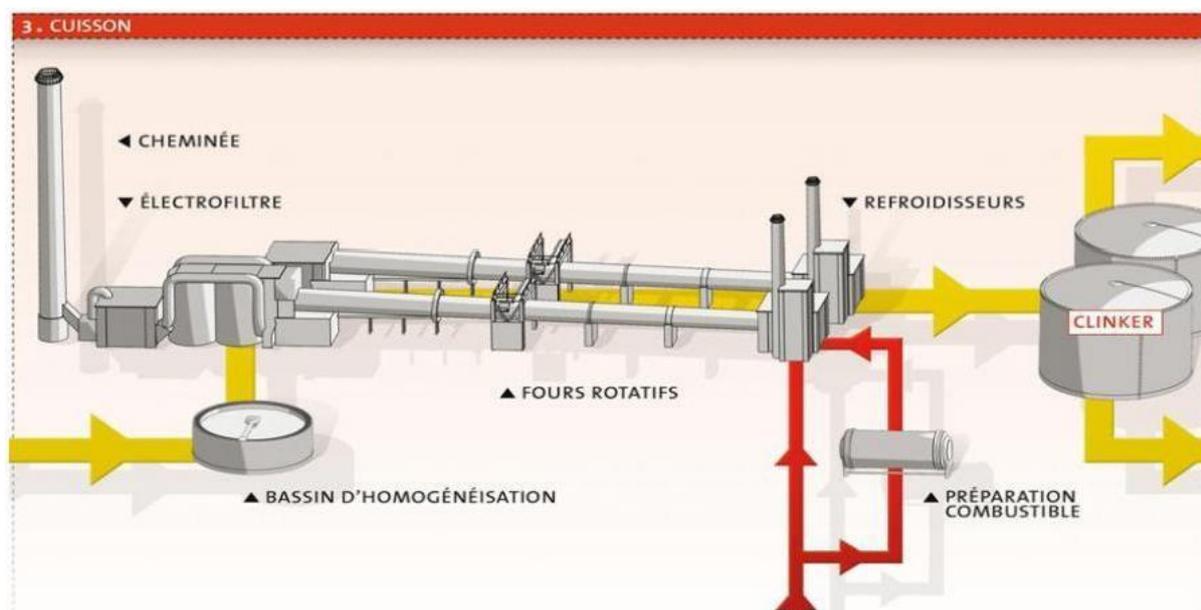


Figure II 2: La cuisson. 1

Des échantillons prélevés sur les matières premières, les combustibles, la farine crue et le clinker permettent aux chimistes de contrôler l'ensemble du processus de production et de garantir ainsi la qualité à la fois élevée et régulière du produit final.

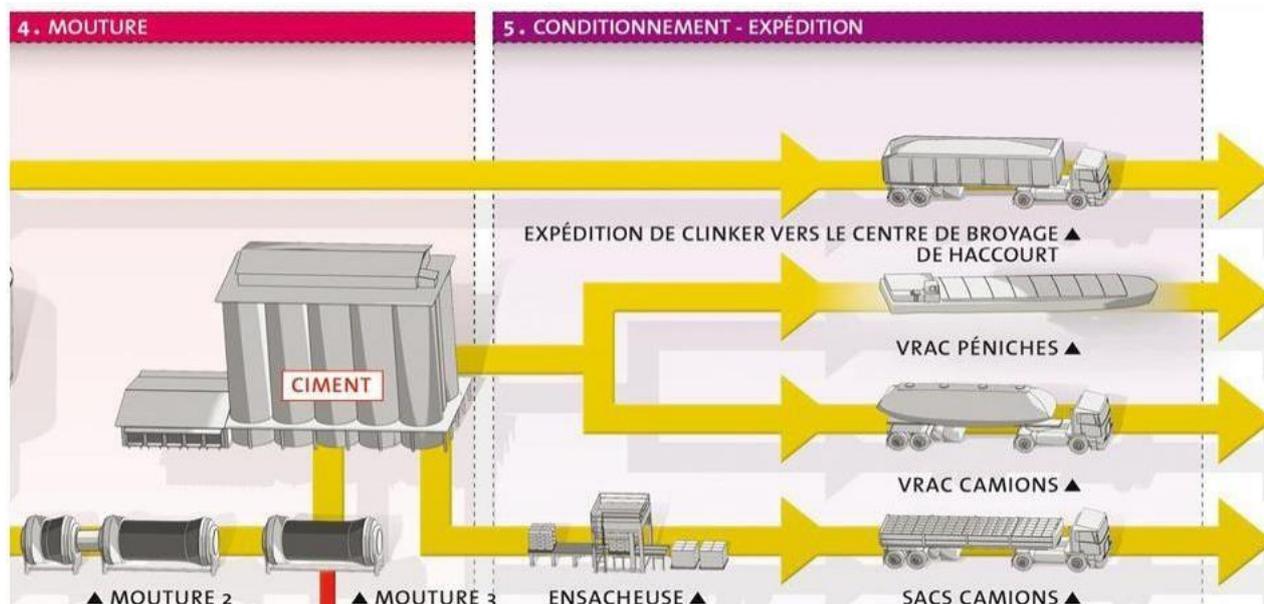


Figure II 3: Conditionnement et expédit 1

Des installations très modernes effectuent l'ensachage d'une fraction du ciment alors que la plus grande partie de celui-ci est livrée en vrac. Le transport jusqu'à la clientèle se fait par route ou par chemin de fer.

Comme nous l'avons cité, les installations industrielles dégagent de grandes quantités

d'effluent que ce soit des gaz issus des processus de combustion d'hydrocarbures ou bien de particules solides issues de processus spécifiques à une installation donnée (exemple des poussières émises par les cimenteries).

II.4 Impact Environnemental.

II.4.1 Impact sur la qualité de l'air

La pollution atmosphérique est le facteur majeur qui affecte l'environnement et ensuite sa grande complication sur la santé.

A. Emissions de poussières

Les émissions de poussières dans l'industrie cimentière proviennent essentiellement des carrières pendant l'extraction de matière première, des fours, des refroidisseurs de clinker et des broyeurs à ciment. On peut ajouter les émissions fugitives de poussières dues au stockage des matériaux, aux broyeurs à charbon, à la gestion des matières premières et au transport de différents types. En effet, les poussières de ciment :

- Ont la propriété de fixer certaines substances polluantes (comme certains métaux lourds).
- Sont très alcalines et provoquent une forme de dégradation inhabituelle
- Absorbent et diffusent la lumière, limitant ainsi la visibilité. Suscitent la formation de salissure par dépôt et peuvent avoir une odeur désagréable. [20]

B. Emission de dioxyde de carbone (CO₂)

Le CO₂ (dioxyde de carbone) est l'un des principaux gaz à effet de serre. En cimenterie, plusieurs sources d'émissions de CO₂ sont identifiables, toutes liées au processus de fabrication du ciment. Il en va ainsi pour :

- L'utilisation des combustibles (combustibles fossiles et de substitution).
- L'utilisation de l'électricité, principalement dans les installations de broyage.
- 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 (CO₂)

Les gaz carboniques agissant comme les vitres d'une serre, ils "piègent" les rayons infrarouges émis par la terre sous l'action du soleil.

C. Emission de monoxyde de carbone (CO)

L'origine de monoxyde de carbone (CO) dans l'industrie de ciment est les petites quantités de composants organiques apportés par les matières premières naturelles tant qu'il se forme pendant le préchauffage du cru introduit dans le four. Cependant, d'autres émissions de (CO) peuvent également provenir d'une mauvaise combustion et de conditions insatisfaisantes dans la zone de cuisson secondaire. L'effet de (CO) sur l'environnement est :

- Participation à la formation de l'ozone troposphérique
- Dans l'atmosphère, il contribue à l'augmentation de l'effet de serre par transformation en dioxyde de carbone CO₂.

D. Emissions des oxydes d'azote (NOx)

Les principaux oxydes d'azote (NOx) émis par l'industrie cimentière sont le monoxyde d'azote NO et le dioxyde d'azote NO₂. Ils ont deux origines possibles :

- Une origine dite thermique. À haute température, l'azote de l'air (sous forme de N₂) réagit avec l'oxygène de l'air pour former des oxydes d'azote.
- Lors de la combustion, l'azote contenu dans les combustibles peut se transformer en oxydes d'azote par réaction avec l'oxygène de l'air. [50]

Les NOx sont des polluants primaires, avec d'autres substances (comme les composés organiques volatils) interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère (troposphère) et participent donc au réchauffement de la planète.

Ainsi les NOx se transforment en acide nitrique (HNO₃) en présence d'humidité. Ils sont à l'origine des pluies acides. Un pH bas entraîne la disparition de certaines espèces végétales, la dégradation des sols concernés et des équilibres écologiques locaux ou régionaux.

E. Emissions de dioxyde de soufre (SO₂)

Le dioxyde de soufre est le principal oxyde de soufre émis par les cimenteries. Ces émissions sont essentiellement la conséquence de la combustion de carburant et de déchets employé dans les

fours, aussi les matières premières (calcaires, argiles,... etc.) peuvent contenir des minéraux soufrés de nature à provoquer des émissions d'oxydes de soufre.

L'impact de dioxyde de soufre sur l'atmosphère est :

- Dégradation de la pierre et des matériaux de nombreux bâtiments.
- la pluie acide à cause de la formation de l'acide sulfurique (H_2SO_4).

F. Emissions des métaux lourds

Les combustibles et les matières premières contiennent toujours une certaine quantité de métaux, quantité qui dépend largement de leur provenance :

- le mercure Hg.
- le cadmium (Cd) et le thallium (Tl).
- les autres métaux lourds : As, Pb, Cr, Co, Ni, Cu, Mn.

La grande majorité des molécules de métaux lourds introduites dans les fours à clinker se retrouvent dans le ciment tant qu'ils proviennent majoritairement du cru.

G. Emissions de dioxines et furannes

Les dioxines et furannes (PCDD et PCDF), leur formation est essentiellement la conséquence d'activités humaines. Les dioxines et furannes peuvent, en effet, être formés lorsque du chlore et des composés organiques sont présents et portés à des températures favorables (250 – 400 °C).

Les dioxines se trouvent dans tous les milieux de l'environnement et sont susceptibles de contaminer les plantes et les animaux. Peu volatiles, elles sont dispersées dans l'atmosphère sous forme de très fines particules.

II.4.2 Impact sur la santé publique

Les cimenteries et les carrières situées en zones périurbaines, contribuent de façon relativement importante à la diffusion de plusieurs polluants induisant des pathologies affectant les riverains (Tableau II.2). Ces polluants pénètrent dans le corps humain par ingestion (à travers la nourriture et l'eau potable), par la respiration (inhalation) ou par la peau.

Tableau II 2: les effets des rejets atmosphériques sur la santé publique.

Polluant	Effet à court termes	Effet à long termes
Particules PM ₁₀ à PM ₁ (poussières)	Réactions inflammatoires au niveau des poumons Symptômes respiratoires Affections du système cardio-vasculaire Augmentation de la prise de médicaments Augmentation du nombre d'hospitalisations Accroissement de la mortalité	Accroissement des affections des voies respiratoires inférieures Réduction des fonctions pulmonaires chez l'enfant et l'adulte Augmentation des maladies pulmonaires obstructives chroniques Diminution de l'espérance de vie, principalement par mortalité liée aux affections cardio-pulmonaires et probablement par mortalité liée au cancer du poumon
Ozone O ₃	Irritation des yeux Altération des fonctions pulmonaires Réactions inflammatoires au niveau des poumons Affections du système respiratoire Augmentation de la prise de médicaments Augmentation du nombre d'hospitalisations Accroissement de la mortalité	Altération du développement des fonctions pulmonaires chez l'enfant pouvant conduire à des performances réduites à l'âge adulte
NO ₂	Inflammation importante des voies respiratoires à des concentrations dépassant 200 µg/m ³	Diminution de la fonction pulmonaire Hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques Accroissement de la sensibilité des bronches aux infections
SO ₂	Irritation des yeux, des muqueuses des voies aériennes Accroissement des pathologies respiratoires (toux, gêne respiratoire, bronchiolites, rhino-pharyngites, etc.) Accroissement des pathologies cardio-vasculaires (infarctus du myocarde, angine de poitrine, troubles du rythme cardiaque, etc.)	

II.4.2.1 Particules

Elles sont suspectées d'être à l'origine d'un large éventail de problèmes de santé comme l'asthme, les bronchites ou encore les cancers pulmonaires. Elles provoquent une augmentation de décès prématurés dus à des maladies cardio-vasculaires ou pulmonaires. Les particules pénètrent dans le corps par le système respiratoire. Plus elles sont fines, plus elles sont dangereuses pour la santé car elles peuvent pénétrer plus profondément dans les poumons. [35]

II.4.2.2 L'amiante

Il est clairement prouvé et démontré que l'amiante est responsable d'une « forme de fibrose du poumon et de la plèvre (amiantose) » en cas d'exposition prolongée à des concentrations importantes. Ce polluant est également reconnu comme un des facteurs étiologiques du cancer de la paroi gastrique, du poumon, du mésothéliome (cancer de la plèvre ou du péritoine) et probablement de néoplasies à distance (colon, rectum, larynx). [11]

II.4.2.3 Monoxyde carbone (CO)

Est un gaz rapidement absorbé à travers les poumons, Il se fixe au niveau de l'hémoglobine des globules rouges pour former la carboxyhémoglobine et donc il diminue la capacité du sang à transporter l'oxygène. Les effets sur la santé sont liés à la diminution de la disponibilité d'oxygène pour les tissus et les organes vitaux beaucoup plus le cerveau, ce qui provoque des lésions cérébrales, œdème pulmonaire et des arythmies et une ischémie cardiaque, et finalement le décès.

II.4.2.4 Dioxyde de carbone (CO₂)

Asphyxie, gelure, dommage ou coma des reins.

II.4.2.5 Ozone troposphérique (O₃)

L'exposition aiguë à de trop fortes concentrations d'ozone (O₃) entraîne des diminutions de la capacité pulmonaire. Cette exposition provoque alors une réaction inflammatoire des voies aériennes basses. Les enfants semblent beaucoup plus affectés que les adultes (augmentation de la toux, irritations oculaires, du nez et de la gorge ont été observées chez les enfants, une diminution de la capacité respiratoire a été rencontrée à l'effort chez l'enfant et l'adulte, etc.). [45,53]

II.4.2.6 Oxydes d'azote (NO_x)

Le monoxyde d'azote et les dioxydes d'azotes sont les gaz les plus nuisibles à la santé publique. Le dioxyde d'azote NO₂ réagit sur l'eau pour donner de l'acide nitreux et de l'acide nitrique, la formation d'acide entraîne des irritations immédiates au niveau des voies respiratoires. Au niveau des poumons la réponse initiale c'est la toux, dyspnée et bronchospasme. Alors que de quantité suffisante des gaz entrant dans le poumon induit des intenses bronchiolites et dommages des alvéoles, l'inhalation à forte concentration provoque un œdème pulmonaire peut conduire à la mort.

Le NO est un oxydant se combine avec l'hémoglobine du sang pour donner la nitrohémoglobine (méthémoglobine), composé stable qui ne fixe plus d'oxygène, il peut provoquer une dénaturation d'hémoglobine et l'hémolyse des globules rouges. [25]

II.4.2.7 Dioxyde de soufre (SO₂)

Le SO₂ peut entraîner des irritations des yeux, des muqueuses des voies aériennes, Accroissement des pathologies respiratoires (toux, gêne respiratoire, bronchiolites, rhinopharyngites, etc.) Accroissement des pathologies cardio-vasculaires (infarctus du myocarde, angine de poitrine, troubles du rythme cardiaque, etc.

II.4.2.8 Eléments traces métalliques (ETM)

Certains métaux sont indispensables au fonctionnement du corps humain. C'est le cas du cuivre et du zinc. Mais ils sont toxiques à des doses trop élevées. D'autres métaux (comme le plomb, le mercure par exemple) sont déjà toxiques à des concentrations très faibles. Ils peuvent affecter le système nerveux, le système circulatoire, les fonctions rénales et hépatiques. [35]

Tableau II 3 : Quelques métaux lourds et leurs effets sur la santé [48]

Métaux	Effets sur santé
Fer	maux de tête, endommagement du cœur, insuffisance cardiaque, hépatite, hypertension artériel.
Plomb	Les maladies cardiovasculaires, anémie, allergies , dysfonction rénale
Cadmium	diabète, troubles digestifs, élargissement du cœur , maladie rénale, dommages au foie, maladies pulmonaires.
Cuivre	cancer, troubles digestifs, troubles rénaux , taux élevé de cholestérol, hypertension artérielle.
Arsenic	la peau, les muqueuses, le système nerveux , le foie, les reins et le système vasculaire.

II.4.2.9 Chrome VI

Le ciment peut contenir- en tant qu'impureté - du chrome soluble. Le chrome sous sa forme hexavalente soluble (Chrome VI) peut se former lors de la fabrication du clinker par transformation du Chrome III sous l'effet de la flamme oxydante du four. Le Chrome soluble (Cr VI) est susceptible d'induire chez certains sujets sensibles, des réactions allergiques cutanées et conjonctivite. Dans le cas des matériaux à base de ciment. [29,50]

II.4.2.10 Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA)

Ces composés organiques qui sont libérés surtout lors de la combustion incomplète d'énergie fossile sont également fort présents dans l'environnement. Un risque accru de développer un cancer de la peau, du scrotum après exposition à la suie, au goudron, aux huiles minérales, de même que l'apparition de cancer du poumon après exposition au gaz de charbon et aux émissions de fours à coke. Les HPA comprennent des substances très cancérigènes comme le benzo (a)pyrène également

classé dans le groupe 1 du CIRC (le Centre International de la Recherche sur le Cancer, organisme, dépendant de l'OMS). [45,07]

II.4.2.11 Dioxines

Les dioxines sont responsables de cancers du foie, de cancers au niveau du tube digestif, d'affections dermatologiques (lésions cutanées), de pathologies cardio-vasculaires, altération de la fonction hépatique, peut entraîner des perturbations du système immunitaire et du développement de système nerveux, des troubles des glandes endocrines. Elles ont une forte affinité pour les graisses, leur demi-vie dans l'organisme humain est évaluée à 07 ans. [43]

II.4.3 *Quelques maladies conséquence de pollution*

II.4.3.A Maladies respiratoires

Les affections respiratoires constituent un groupe important de pathologies liées aux polluants engendrés par la cimenterie.

1) Asthme

L'asthme est dû à une obstruction majeure des voies aériennes responsable d'une insuffisance respiratoire aigue menaçant le pronostic vital [55]. Les particules, du fait de leur capacité à entraîner une inflammation et à produire un stress oxydant, sont également responsables de l'aggravation des symptômes de l'asthme. L'asthme est une maladie inflammatoire qui affecte les bronches, entraînant une inflammation et la formation d'œdème au niveau de l'épithélium bronchique, une contraction des muscles lisses bronchiques et une hypersécrétion de mucus. [34]

2) Insuffisance respiratoire chronique

L'insuffisance respiratoire chronique est définie par l'incapacité du poumon à assurer normalement l'oxygénation du sang artériel. La conséquence est une hypoxie tissulaire. [55]

3) Emphysème pulmonaire

Elles reposent des critères anatomiques : augmentation permanente du volume des espaces aériens distaux situés au-delà des bronchioles terminales avec destruction des parois alvéolaires. [55]

4) Pneumoconioses

Les pneumoconioses sont des affections liées à l'accumulation de poussières minérales dans les poumons. La silicose est la plus répandue des pneumoconioses. Elle est due à l'inhalation de poussières de silice libre cristallisée sous forme de bioxyde de silicium (SiO_2). La silicose se manifeste par une toux, une expectoration anormalement abondante, une tendance aux infections bronchiques, puis par une fibrose pulmonaire. Les complications sont fréquentes, insuffisance respiratoire. [3,55]

II.4.3.B Pathologies du foie

Le foie joue un rôle par ses fonctions multiples, plusieurs maladies sont en relation à ces fonctions telles que l'hépatite, la cirrhose, l'ictère, le cancer, la cholestase, les maladies liées au trouble enzymatiques...etc.

Mécanismes de détoxification et de conjugaison

Au cours de l'évolution, les organismes vivants ont perfectionné des outils visant à favoriser l'élimination des xénobiotiques, ce qui constitue en quelque sorte, un moyen de défense contre l'action néfaste de certains d'entre eux. Le processus de biotransformation est l'un des outils. Il désigne l'ensemble des réactions qui résultent en des modifications, par l'intermédiaire d'enzymes, de la structure chimique d'un xénobiotique. Ces réactions ont pour effet de rendre les xénobiotiques liposolubles plus polaires (ionisables), donc solubles dans l'eau et ainsi plus facilement excrétables dans l'urine. Le foie est le principal organe impliqué dans ce processus et dans une moindre mesure certains organes comme la peau, le rein, la muqueuse intestinale et le poumon [19].

Fonctions métaboliques

Le foie étant impliqué dans la biosynthèse, le stockage, la transformation et la dégradation de composés organiques. Il possède ainsi, grâce aux hépatocytes, un rôle dans la synthèse de l'urée, de l'albumine et intervient dans le métabolisme glucidique (stockage du glycogène, néoglucogenèse), ainsi que dans les métabolismes lipidique et protéique et dans le catabolisme de l'ammoniaque en urée. [5]

Fonctions d'excrétion

Notamment de composés dans la bile (excrétion de bilirubine) mais aussi la formation et la dégradation de nombreux composants du plasma sanguin. Indispensable à la digestion des lipides, la bile est sécrétée en continu par les cellules hépatiques, déversée dans les canalicules biliaires puis dans les canaux biliaires avant de rejoindre soit la vésicule biliaire soit le duodénum. [33]

A. Insuffisance hépatique (IH)

L'insuffisance hépatique se définit par l'ensemble des manifestations en rapport avec une diminution ou un arrêt des fonctions hépatiques (synthèse, métabolisme, détoxification et excrétion). L'insuffisance hépatique aiguë s'accompagne souvent d'insuffisance rénale. [36]

B. Ictère

Dans tout ictère, quelle qu'en soit sa cause les taux plasmatiques de bilirubine direct ou indirect sont perturbés. [47]

C. Crise de foie

Parfaitement connue de tous cette manifestation bien banale associe des céphalées, des nausées ou vomissements, une haleine nauséabonde et une langue blanche.

D. Gros foie

Les signes biologiques à utiliser en première intention sont ceux de la cholestase ou de la cytolysse. , cirrhoses, cancer secondaire du foie, insuffisance cardiaque congestive, infestations parasitaires ou maladies du sang.

E. Ascite

Épanchement péritonéal, traduit une irritation péritonéale directe et le diagnostic est malheureusement le plus souvent un cancer de l'ovaire ou un cancer du péritoine. [47]

V.3.3. Pathologies rénales

Les reins assurent une fonction d'excrétion des déchets du métabolisme et une fonction endocrine et d'autres fonctions indispensables à la vie, parmi leurs rôles :

Filtre qui élimine les déchets toxiques produits par l'organisme et transportés par le sang : l'urée résultant de la digestion des protéines, la créatinine provenant de la destruction normale des cellules musculaires et l'acide urique; produit de dégradation finale des purines.

Maintien de l'équilibre hydrique de l'organisme en éliminant quotidiennement 1,5 à 2 litres de liquide sous forme d'urine.

Maintien de l'équilibre électrolytique dans les différents segments du tubule rénal et à partir de l'ultra-filtrat glomérulaire en permettant l'élimination des ions acides, la réabsorption des bicarbonates et des électrolytes et une adaptation de la concentration osmolaire urinaire à excréter dans l'urine définitive. [58].

A. Insuffisance rénale chronique (IRC)

Elle se définit par une diminution prolongée, souvent définitive, des fonctions rénales exocrines et endocrines. Elle s'exprime essentiellement par une diminution de la filtration glomérulaire (FG) avec augmentation de la créatininémie et de l'urémie et la diminution de la clairance de la créatinine. [13]

B. Néphrites chroniques

Lors des néphrites chroniques l'urée sanguine augmente progressivement. Son taux permet d'apprécier l'évolution de la maladie. L'augmentation de l'urée est liée à un trouble de l'excrétion rénale. [47]

C. Lithiase rénale

Elle due à la présence de calculs uriques dans les voies excrétrices rénales se traduit inévitablement par des coliques néphrétiques, itératives.

D. Néphropathie urique

Est due à des dépôts d'acide urique au niveau des pyramides des reins. Elle est liée directement à l'hyperuricémie et toute apparition d'hématurie microscopique au culot. [47]

II.4.3.C Pathologies cardio-vasculaires

A. Insuffisance cardiaque

L'insuffisance cardiaque est définie par l'incapacité du cœur à maintenir un débit cardiaque suffisant. Elle peut évoluer d'une insuffisance à l'effort à une insuffisance au repos. Ce trouble est la conséquence de multiples paramètres :

- ✓ une surcharge des cavités par sténose valvulaire

- ✓ une augmentation du volume cavitaire par communication intercavitaire
- ✓ une augmentation de la résistance vasculaire (hypertension)
- ✓ une atteinte de la contractilité myocardique par déficit coronarien ou lésion du myocarde (mycardiopathie). Certaines inflammations cardiaques peuvent également diminuer l'efficacité cardiaque (myocardites, péricardites et endocardites). [21]

B. Cardiopathies ischémiques

Les cardiopathies ischémiques sont des pathologies cardiaques dues à un défaut d'apport sanguin par les vaisseaux coronaires. On distingue trois causes principales de cette réduction de la circulation coronaire :

- ✓ Le spasme coronaire produit par des contractions anormales du muscle lisse de ces vaisseaux.
- ✓ Il est responsable d'une ischémie myocardique de repos.
- ✓ La maladie athéromateuse est responsable de dépôt d'athéromes dans les coronaires, ce qui aboutit à des rétrécissements du calibre vasculaire et à une diminution du flux coronaire. Elle est responsable d'une ischémie myocardique d'effort.
- ✓ La thrombose coronaire, dans laquelle il y a une obstruction croissante des vaisseaux, responsable à terme d'une ischémie prolongée. [21]

L'exposition au monoxyde de carbone qui pourrait favoriser des arythmies cardiaques et l'aggravation de symptômes angineux. Une exposition excessive et prolongée au bruit auprès de personnes sensibles peut engendrer de l'HTA, des ischémies cardiaques. [20]

II.5 Législation sur la limite d'émission

Ces dernières années, l'homme ayant pris conscience du fort impact des effluents industriels qu'il rejette que ce soit sur les êtres vivants ou sur le climat, des lois de plus en plus strictes sur les quantités émises de ces polluants ont été établies.

L'impact le plus significatif de ces polluants étant leur contribution au réchauffement climatique, ce dernier qui affectera à son tour les êtres vivants et l'environnement, ce qui a conduit à la conclusion de différents accords et protocoles [19].

La gouvernance sur le climat repose sur trois traités internationaux fondamentaux : la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC ou UNFCCC en anglais), ouverte à la ratification en 1992 et entrée en vigueur le 21 mars 1994, elle a été ratifiée à ce jour par 189 pays dont les États-Unis et l'Australie.

Le traité qui en a découlé est le protocole de Kyoto, il a été ouvert à la ratification le 16 mars 1998, et est entré en vigueur en février 2005. 172 pays l'ont ratifié à l'exception des États-Unis.

Notons qu'une charte similaire, la Charte des Verts mondiaux, a été signée par certains partis politiques à travers le monde, y compris certains partis politiques aux États-Unis, dans laquelle ils se sont engagés à poser des actions ciblées dans le domaine de l'environnement [19].

Pour avoir une idée sur les limites d'émission, nous avons considérés la directive 2000/76/CE du parlement européen et du conseil du 4 décembre 2000 sur les installations utilisant des déchets ménagers ou des combustibles fossiles lors de leurs processus de production, nous avons opté pour les cimenteries industrielles [19].

Le Tableau suivant représente les valeurs limites d'émission totale du processus d'élaboration du ciment.

Toutes les valeurs sont exprimées en mg/m^3 (en ng/m^3 pour les dioxines et furannes).

Les résultats des mesures effectuées pour vérifier si les valeurs limites d'émission sont respectées doivent être rapportés aux conditions suivantes:

Température 273 K, pression 101,3 kPa, teneur en oxygène 10 %, gaz sec.

Tableau II 4: Valeurs limites d'émission pour les cimenteries [19].

Substances Polluantes	Valeurs limites d'émissions
Poussière totale	30
HCl	10
HF	1
NOx pour les installations existantes	800
NOx pour les installations nouvelles	500
Cd + Tl	0,05
Hg	0,05
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5
Dioxines et furannes	0,1

CHAPITRE III

Présentation du groupe

LAFARGE

INTRODUCTION

Les projets de la cimenterie sont sources d'une multitude des risques varies. L'analyse de ces risques passe par leur formation et leur évaluation. L'enjeu est de pouvoir mettre en lumière les risques critiques et de pouvoir obtenir une évaluation globale des risques de la cimenterie dans le but d'assurer la sécurité aux travailleurs et également de protéger l'environnement. La sécurité industrielle est une science qui a pour objet d'étude des dangers résultants des activités humaines et des moyens de les combattre.

III.1 Présentation général de l'entreprise (LCO) :

Lafarge est une entreprise multinationale, qui sous ce nom commercial, produit et vend principalement du ciment, des granulats et du béton prêt à l'emploi dans le monde entier.

Elle est un leader mondial des matériaux de construction et du marché du ciment, et le deuxième producteur mondial de granulats et le quatrième producteur de béton prêt à l'emploi.

La cimenterie Lafarge d'Oggaz s'étendant sur une superficie de 100 hectares occupée par les installations. Ses produits et solutions de construction sont utilisés pour construire ou rénover des logements, bâtiments et infrastructures. Sur la base de son chiffre d'affaires et d'analyses internes et externes,

Elle est la seule et unique usine en Algérie qui fabrique et exporte du ciment Blanc vers divers pays étrangers. La qualité du ciment Blanc de LCO est mondialement reconnue, notamment aux USA, Brésil et Angleterre... [1].

III.2 Historique :

- 1833 : dans le village du Teil en Ardèche, Léon Pavin de Lafarge reprend l'exploitation familiale de carrières de pierre calcaire.
- 1848 : création de la Société Lafarge Frères.
- 1864 : premier chantier international phare. L'entreprise livre 110 000 tonnes de chaux pour la construction du canal de Suez.
- 1887 : ouverture de son premier laboratoire au Teil, dans le Sud de la France.
- 1931 : entrée dans le marché du plâtre.

- 1939 : Lafarge devient le premier cimentier français, avec un quart du marché national.
- 1956 : construction de sa première cimenterie au Canada, à Richmond.
- A partir des années 1960 : Lafarge développe une activité de béton prêt à l'emploi.
- 1990 : création du laboratoire de recherche dédié aux matériaux de construction, devenu Centre de Recherche du Groupe LafargeHolcim, à L'Isle d'Abeau, près de Lyon.
- 1997 : rachat du britannique Redland. Le Groupe devient n°1 du marché des Granulats et entre sur le marché de la Toiture.
- 2000 : Lafarge est le premier Groupe industriel à conclure un accord de partenariat mondial avec le WWF. (World Wide Fund for Nature) dans le cadre du programme « Conservation Partner ». Le Groupe s'engage à lutter contre les émissions de CO2.
- 2001 : acquisition du cimentier britannique Blue Circle Industries (B.C.I.) qui propulse Lafarge au rang de premier cimentier mondial.
- 2007 : cession de l'Activité Toiture au fonds d'investissement français PAI partners. L'acquisition d'Orascom Cement, leader du Moyen-Orient et Bassin Méditerranéen, marque l'accélération de la stratégie de développement du Groupe et fait de Lafarge le leader des matériaux de construction dans les marchés émergents.
- 2011 : cession de l'activité Plâtres en Europe au Groupe Etex.
- 2012 : Ambitions Développement Durable 2020.
- 2015 : fusion des entreprises mondiales Lafarge et Holcim. Lafarge France devient membre du Groupe LafargeHolcim.

III.3 Organisation de l'entreprise:

L'organigramme schématise et hiérarchise les responsabilités, les relations et interaction entre structure et personne. On se limite au staff de management. Les organigrammes de chaque structure peuvent être consultés auprès de chaque structure et le drh

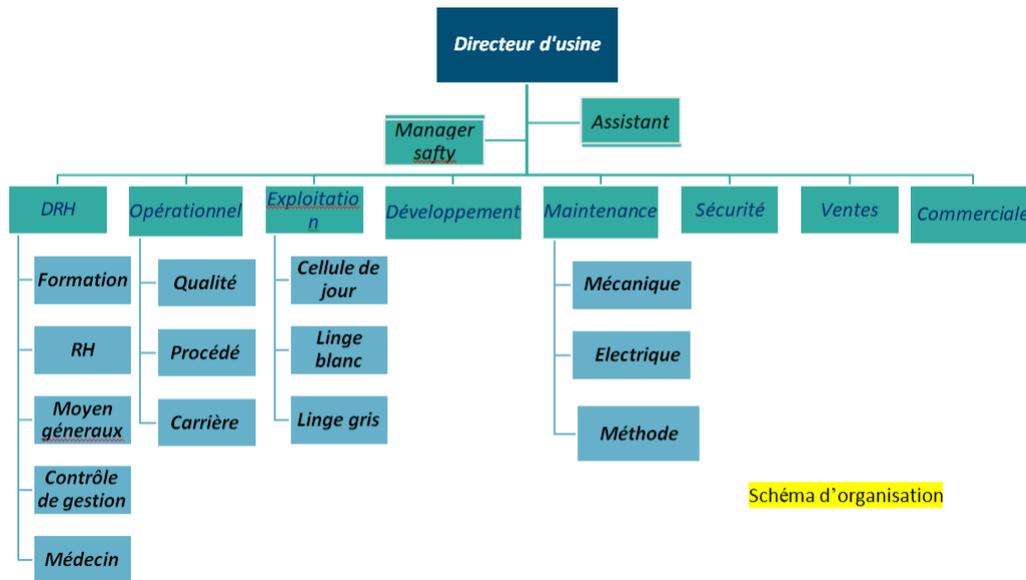


Schéma d'organisation

Figure III 1: Schéma d'organisation 1

III.4.1 Localisation du site :

Lafarge d'Oggaz est située dans une situation stratégique, ouest Alger environ 400Km, près d'environ 50Km d'Oran, et de 37Km du port d'Arzew. Elle est aussi passée par ou bien près de deux lignes d'énergies Gaz et électricité [1].

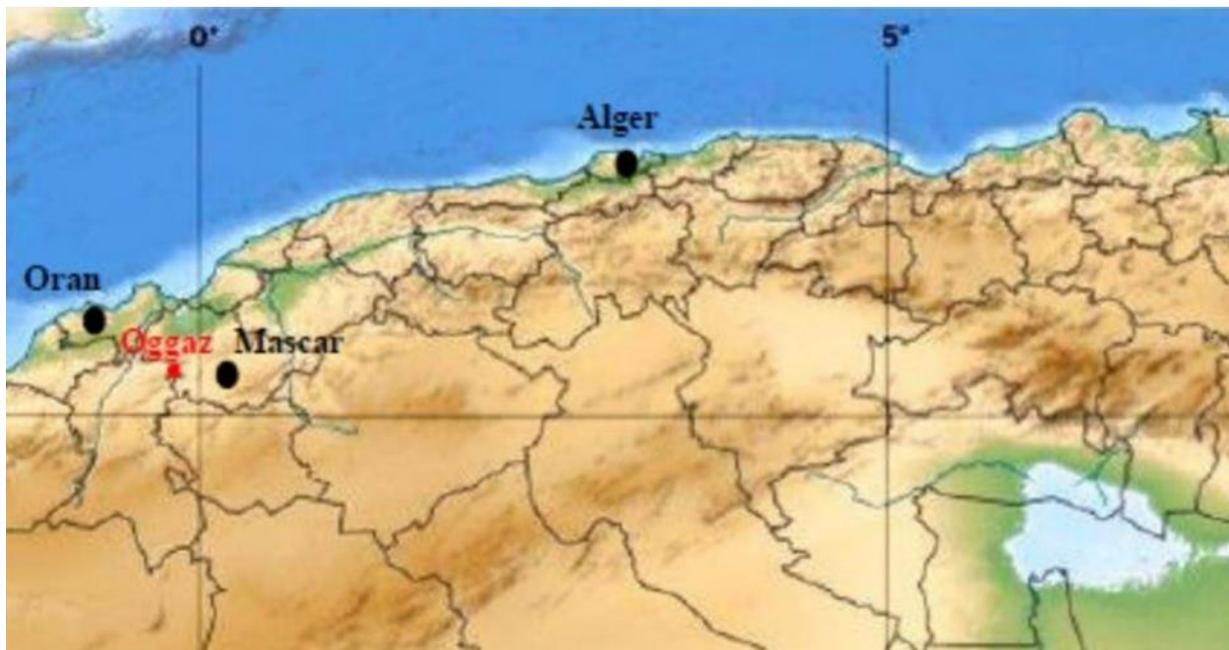


Figure III 2: Situation géographique de 1

III.4.2 INFRASTRUCTURES :

III.4.3 PLAN DE MASSE :

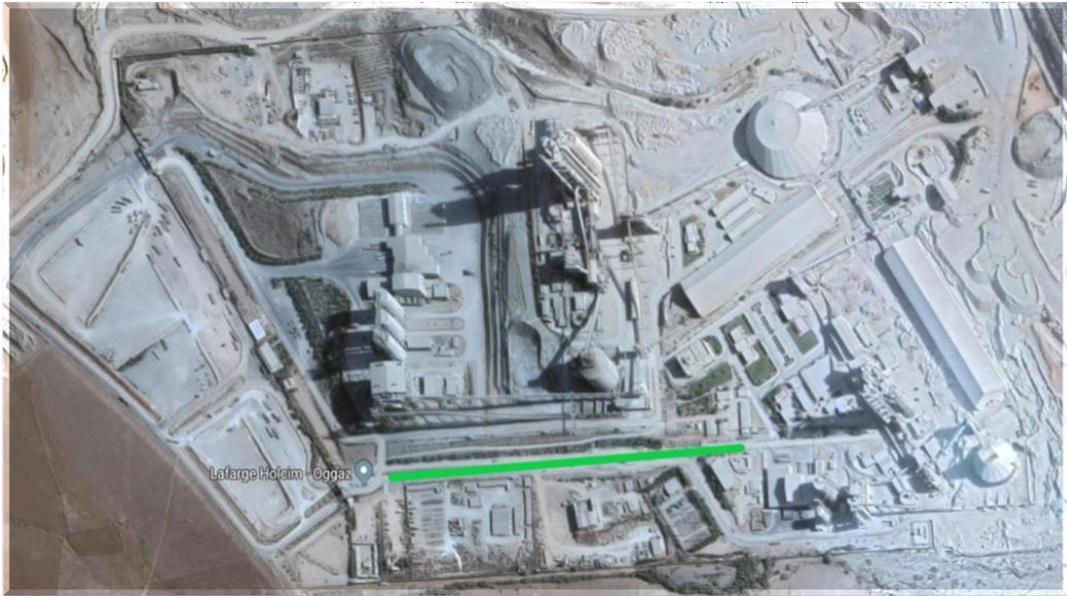


Figure III 3: plan de masse 1 1

III.5 Capacité de production :

L'usine d'Oggaz a la capacité de fournir près de 3 millions de tonnes de ciment gris et 550 kilo tonne de ciment blanc.

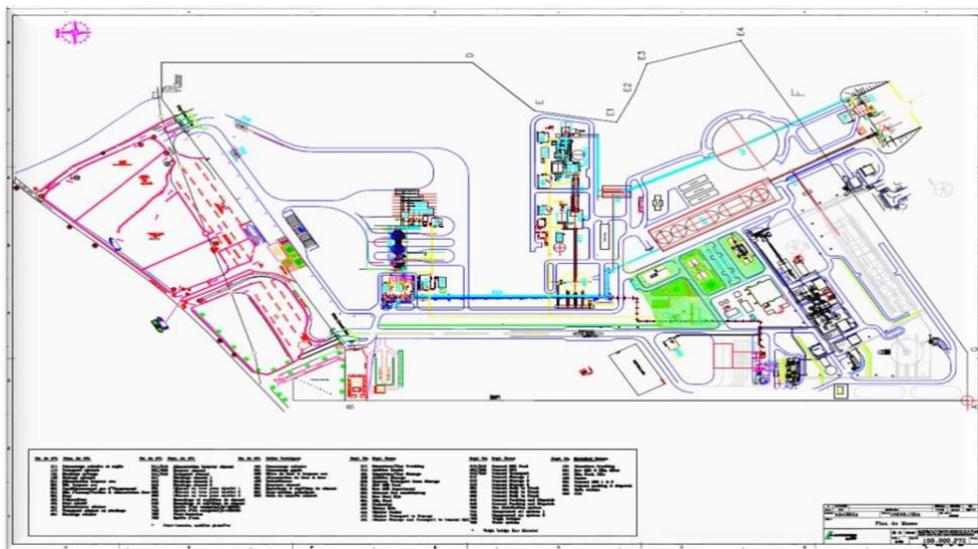


Figure III 4: infrastructures

La ligne du blanc est la seule usine dans le pays de la production du ciment blanc, elle couvre 100% du marché algérien [1].

III.6 Lafarge dans le monde :

Leader mondial des matériaux de construction, Lafarge a réalisé un chiffre d'affaire de 15,2 milliards d'euros en 2013, avec une présence dans 62 pays et 64000 collaborateurs.

Acteur majeur dans ses activités Ciment, Granulat & Bétons, il contribue à la construction des villes dans le monde entier avec des solutions innovantes pour les rendre plus accueillantes, plus compactes, plus durable, plus belles et mieux connectées.

Doté du premier centre de recherche au monde sur les matériaux de construction, Lafarge place l'innovation au cœur de ses préoccupations au service de la construction durable et de la créativité architecturale.

III.7 Lafarge en Algérie :

En Algérie, Lafarge possède 2 cimenteries (M'Sila & Oggaz) avec une capacité totale de production qui dépasse les 8 millions de tonnes, gère en partenariat avec le GICA la cimenterie de Meftah et compte 22 centres de production de béton d'une capacité de 1Mm3.

Lafarge - Algérie compte plus de 2600 collaborateurs et s'investit dans le développement d'actions citoyennes envers ses communautés [1].

Lafarge – Algérie a participé à la réalisation de différents projets :

- Autoroute est-ouest
- Métro d'Alger
- Aéroport d'Alger
- Barrage de Chlef et de Koudiat
- Résidences AADL
- Terminal de Gazier (Arzew, Skikda)
- Faculté de Droit d'Alger
- Centre commerciaux (El Qods, Bab-Ezzouar, etc.)

III.8 Procédé de fabrication de ciment :

Le ciment est un matériau hydraulique liant, fabriqué à partir du mélange des matières premières, calcaire et kaolin. Le ciment est le liant le plus utilisé pour la fabrication du béton (il représente entre 8 et 18 % de la masse totale du béton) [19]. La figure ci-dessous donne une représentation schématique du procès de fabrication du ciment depuis l'extraction de la matière première jusqu'au transport du ciment vers les différents réseaux de distribution.

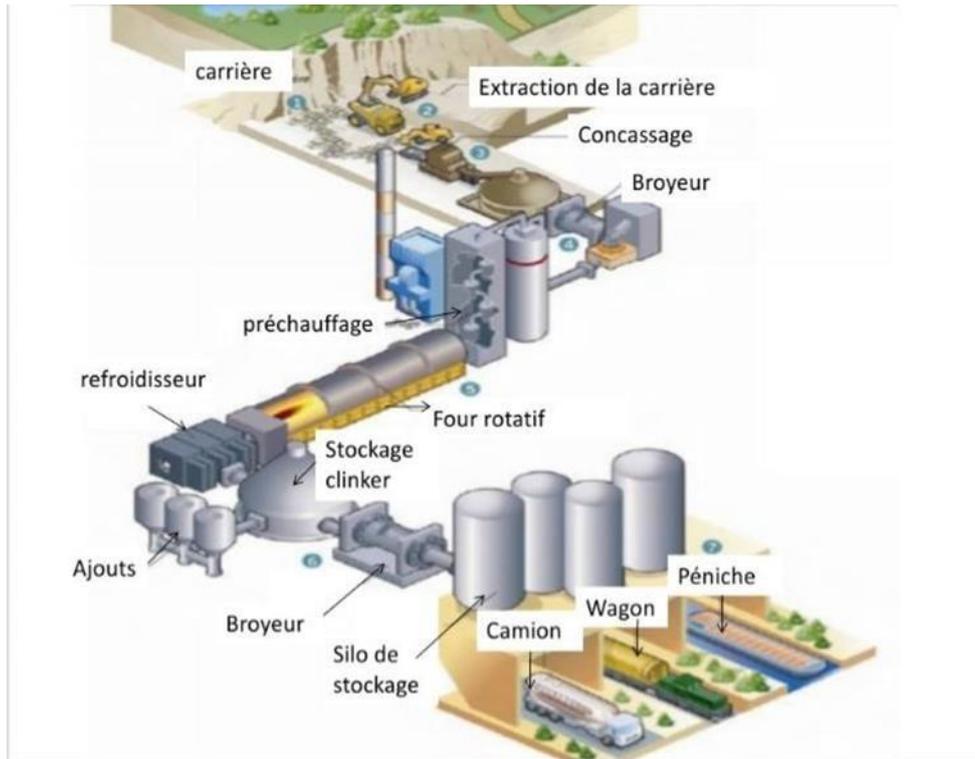


Figure III 5: Principe de fabrication d 1

III.9 Les phases de fabrication de ciment :

La fabrication du ciment se fait selon un procédé en continu, successivement et en parallèle les 4 phases suivantes :

la phase de l'extraction de la carrière : le calcaire extrait de la carrière par abattage est acheminé par dumpers vers le concasseur pour avoir du calcaire concassé qui va être transporter vers le hall de stockage pour être acheminé après vers la trémie de l'atelier du broyeur cru l'aide des bandes transporteuses.

La phase de fabrication du cru : la fragmentation, la pré-homogénéisation jusqu'au silo de stockage du cru.

La phase de cuisson : commence par le préchauffage dans les échangeurs à cyclone, l'alimentation du four et se termine dans les silos de stockage du clinker.

La phase de fabrication du ciment : le dosage, l'alimentation des broyeurs, silotage et/ou conditionnement du ciment).

III.10 Les méthodes de fabrication du ciment :

- **Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne)** : le cru est transformé en une pâte fluide par adjonction d'eau (entre 30 et 40% d'eau) avant d'entrer dans le four, il s'agit de la technique la plus simple mais aussi de la plus consommatrice en énergie puisqu'il faut évaporer l'eau lors de la cuisson [19].
- **Fabrication du ciment par voie semi-humide** : le cru est débarrassé d'une partie de son eau dans des filtres-presses.
- **Fabrication du ciment par voie semi-sèche** : le cru est aggloméré en granules par humidification avant la cuisson.
- **Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée)** : le cru entre dans le four sous forme de poudre, cette technique est aujourd'hui utilisée quasiment tout le temps car plus économe. Cette voie de fabrication est utilisée au niveau de la cimenterie « Lafarge d'Oggaz ».

Le processus de cuisson ne variant qu'assez peu selon la voie utilisée, on se concentrera sur la voie sèche qui est la plus utilisée.

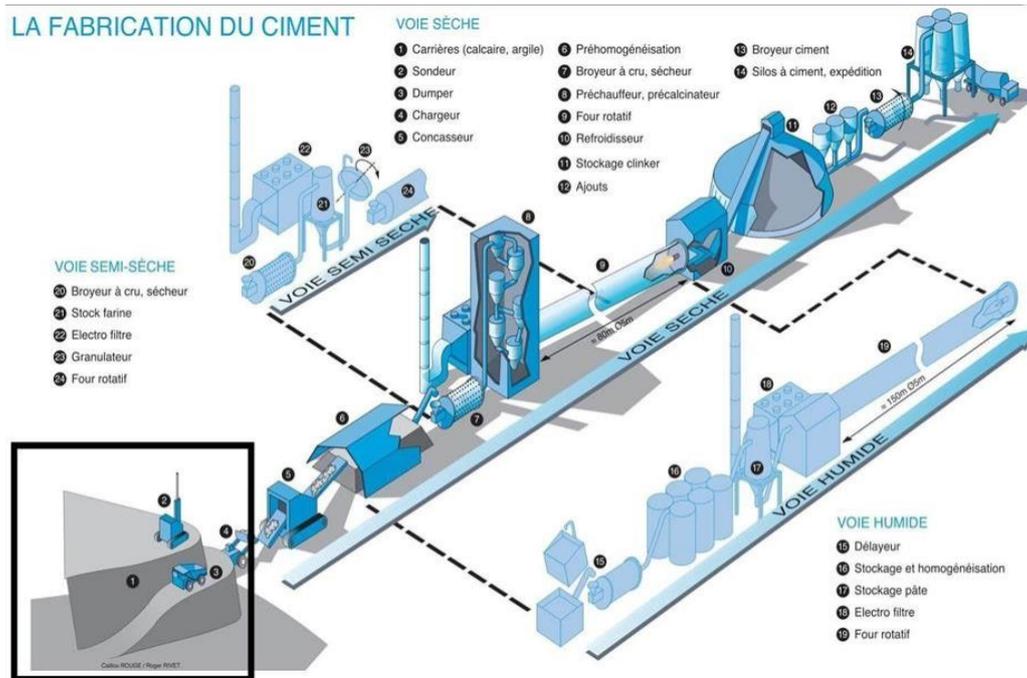


Figure III 6: Schéma de fabrication du 1

III.11 La fabrication du ciment par voie sèche au niveau de la cimenterie Lafarge d'Oggaz :

III.11.1 Carrière :

Les matières premières qui apportent les oxydes nécessaires pour synthétiser le clinker sont extraites de carrières.

- Extraction : l'extraction s'effectuera par abattage à l'explosif, opération réalisée par l'entreprise elle-même. En moyenne, un tir par semaine.

Les matériaux abattus seront repris à l'aide de pelles chargeuses et seront acheminés par camions vers la station de concassage. Les opérations liées à l'utilisation de l'explosif se feront en conformité avec la réglementation en vigueur [2].

- Concassage : Le concasseur a pour un rôle de ramener les matières premières à des dimensions admissibles pour le broyeur [20]. Les matières premières sont fournies par

les carrières en gros morceaux avec leur humidité naturelle et doivent être séchées puis concassés à la granulométrie désirée (0-35mm).

Au niveau du concasseur, les matières premières sont mélangées dans des proportions bien déterminées, ces proportions sont contrôlées par un analyseur, installé sur la ligne de transport vers le stockage de pré-homogénéisation.



Figure III 7: Concassage des matières premières | *Figure III.10: Concassage des matières premières*

III.11.2 Pré-homogénéisation :

Les roches extraites de la carrière concassées et acheminées jusqu'à la cimenterie sont ensuite stockées dans le hall de pré-homogénéisation par des roues-pelles, après d'avoir été étendue en couches horizontales successives.

Dans ce hall les couches sont reprises verticalement, ce qui permet de prélever en permanence une matière de composition identique.

La pré-homogénéisation de la matière première se fait à l'aide d'un bras râteau, tournant autour d'un axe dans un hall [21].



Figure III 8: La pré-homogénéisation pa 1 Figure III.11: La pré-homogénéisation pa 1

III.11.3 Broyage du cru :

Les matières sont moulues jusqu'à la finesse adéquate, dans un broyeur à 4 galets verticaux, la poudre fine obtenue est appelé « la farine cru ».

La farine est ensuite emportée par le gaz chaud provenant du four vers le dépoussiéreur à manches. Le dépoussiéreur retient les particules de farine et laisse passer le gaz dépourvu de poussières par la cheminée. La farine retenue est ensuite récupérée et transportée vers le silo d'homogénéisation.

III.11.4 Homogénéisation :

La farine crue est homogénéisée dans deux silos d'une capacité unitaire de 10000 T. Pour augmenter l'efficacité de l'homogénéisation les deux silos sont alimentés et soutirés simultanément.

La méthode généralement utilisée pour l'homogénéisation est envoi de l'air en bas de silos permettant de fluidifier la farine.

III.11.5 Préchauffage :

A la sortie du silo d'homogénéisation, la farine est transportée par un système pneumatique vers le haut du préchauffeur. Le préchauffeur est constitué d'une série de cyclones à 4 étages, il permet de préchauffer la farine avant son passage dans le précalcinateur. Le précalcinateur a pour rôle de calciner la farine à 90%. Une fois calcinée, la farine sera prête pour la cuisson dans le four rotatif.

III.11.6 Four rotatif :

Le four est un réacteur en forme de tube rotatif incliné de 5%. Le chauffage est assuré par une flamme au charbon installée à l'autre extrémité du four. La farine entrant dans le four à 1000°C environ est chauffée jusqu'à la température de frittage ou clinkérisation 1450°C.

Dès lors les minéraux qu'elle contient, réagissent pour donner de nouvelles combinaisons minéralogiques principalement des silicates et des aluminates de calcium : le clinker.

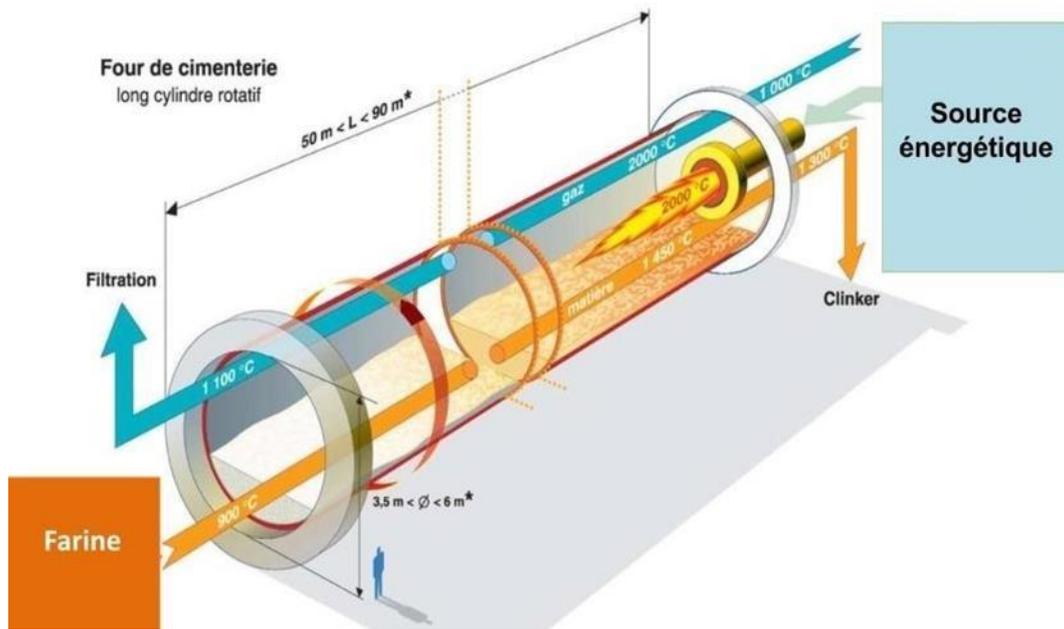


Figure III 9: Le principe du four rotatif Figure III.12: Le principe du four rotatif 1

III.11.7 Refroidisseur à Clinker :

Le clinker sortant du four passe sur la grille vibrante du refroidisseur, où il est trempé rapidement par l'air froid soufflé par le bas de la grille. Ce processus permet la récupération de la chaleur du clinker. L'air chaud généré est réintroduit dans le four pour aider à la combustion.

III.11.8 Concassage du clinker :

Le clinker sortant du refroidisseur, est transporté jusqu'au concassage puis au hangar au silo du stockage, surtout ce type de ciment il doit passer de trois silos.

III.11.9 Broyeur à Ciment :

En dessous du hall de stockage, le clinker est transporté vers l'atelier de mouture ciment. Le clinker et d'autres ajouts principalement de gypse sont introduits dans le broyeur à ciment pour être broyés finement. Le ciment obtenu est transporté vers les silos de stockage.

III.11.10 Stockage :

Après le broyage du clinker et d'ajout additifs, le ciment est prêt à être vendu. Il est stocké dans d'immenses silos.



Figure III 10: Silos de stockage du cim 1 *Figure III.13 :* Silos de stockage du cim 1

III.11.11 Expédition :

L'expédition est constituée d'un atelier de chargement en vrac, d'une ensacheuse, d'un système de palettisation, ou atelier de fardélisation, et d'un pont bascule permettant le pesage des camions (sacs et vrac) [2].

III.12 Description de l'environnement immédiat de l'établissement « LCO » :

Géologie :

La structure géologique régionale est faite à la base des cartes géologiques à l'échelle 1/200.000e et 1/50.000e. Ce sont les dépôts du jurassique, du crétacé, du paléogène, du miocène et du quaternaire qui participent à la constitution géologique de la région [3].

Hydrogéologie :

Le relief de la commune est traversé par un important cours d'eau l'Oued SIG, ce cours d'eau reçoit de nombreux affluents à peu près tous à écoulement intermittents.

Les eaux qui alimentent les cours d'eau et la nappe sont chlorurées, car les gisements géologiques qu'elles traversent sont salins et leurs alluvions sont inévitablement salines.

Climatologie :

Oggaz est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride. Toutefois, il existe un contraste assez grand entre la plaine et la montagne. L'aridité est beaucoup plus accentuée sur la plaine. Dans la montagne, le climat est influencé par les vents qui exagèrent les froids d'hiver par leur humidité et adoucissent les températures d'été par leur ventilation. La commune est soumise au phénomène de la gelée qui dure en moyenne 22 jours par an.

Faune et flore :

Deux principales occupations correspondant aux deux ensembles physique caractérisent commune : Une zone frontière et de maquis occupe l'ensemble montagneux et piémonts avec des hectares de forêt et une agriculture diversifiée (céréaliculture, vigne maraîchage arboriculture,...), occupe l'espace de plaine avec concentration d'allivrais au niveau du périmètre irrigué.

Environnement :

La direction de l'environnement est créée par décret exécutif n° 03-494 du 17/12/2003 modifiant et complétant le décret exécutif n° 96-60 de la 21/01/1996 portant création de l'inspection de l'Environnement.

La direction de l'environnement de Wilaya est l'organe principal de l'état en matière de contrôle de l'application des lois et règlements relatifs à la protection de l'Environnement ou qui y en ont trait. Ces missions :

- Concevoir et mettre en œuvre en relation avec les autres organes de l'état, de la Wilaya et de la commune un programme de protection de l'Environnement sur l'ensemble du territoire de la Wilaya.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une présentation générale de la cimenterie Lafarge d'Oggaz « LCO » avec ses différentes structures de base, tout en décrivant les méthodes utilisées pour la fabrication

du ciment et l'état de l'environnement de site. Dans le chapitre suivant nous présenterons les principaux aspects environnementaux au niveau de l'industrie.

Chapitre IV

**La pollution atmosphérique au
niveau de la société LAFARGE**

IV.1 Introduction

Après l'eau, le ciment reste le matériau le plus consommé dans le monde, avec 150 tonnes par seconde. « **Quatorze milliards de mètres cubes de béton sont coulés chaque année** », selon l'Association mondiale du ciment et du béton (GCCA).

À l'échelle mondiale, la fabrication de ciment représente 7 % des émissions de CO₂, soit trois fois plus que l'ensemble des vols commerciaux de la planète qui représenterait quelque 2,5 % de l'émission mondiale de gaz à effets de serre.

En Algérie, la production de ciment est une industrie de base. L'Etat Algérien a consenti de très importants investissements pour le développement de la filière.

Cependant le processus de fabrication du ciment engendre des incidences environnementales comme les émissions de gaz (CO₂, NO_x, SO₂) mais surtout les émissions de poussières à tous les niveaux de la production. Les poussières des cimenteries algériennes constituent le polluant principal de l'air et contribuent aux maladies respiratoires des employés et des habitants aux alentours des cimenteries.

IV.2 Impact de l'activité de l'usine

La figure IV.1 représente les zones à risque d'émission de polluants comme : la poussière, CO₂, SO₂ et NO₂.

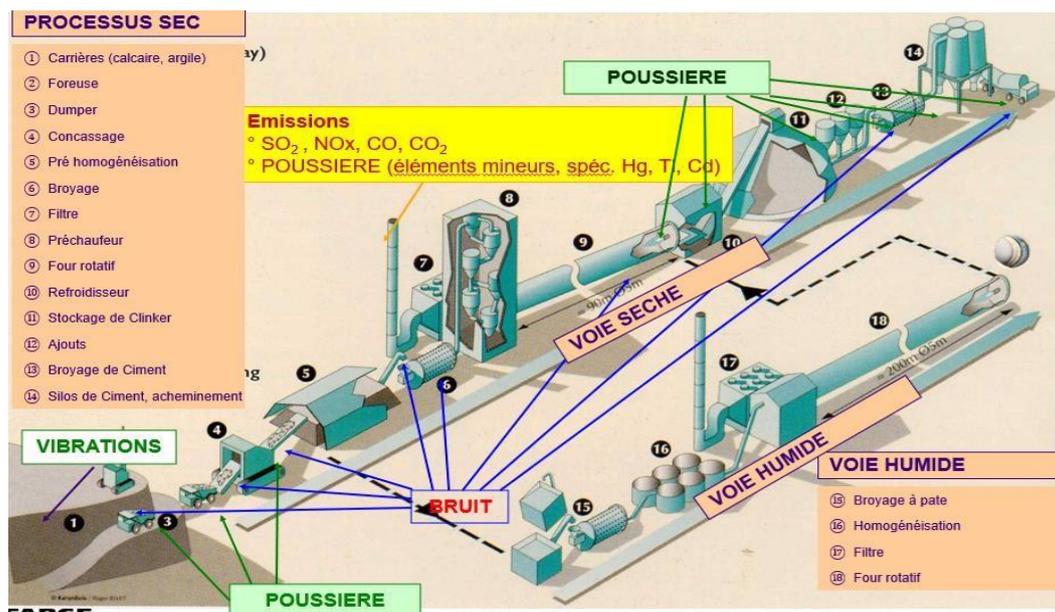


Figure IV 1 : Les sources des polluants atmosphérique.

IV.3 Emission de poussières

Les poussières représentent la forme de pollution la plus importante au niveau des cimenteries. Leur granulométrie est un facteur important.



Figure IV 2 : Emission de poussières au niveau de l'entreprise.

Les poussières fines restent en suspension dans l'atmosphère alors que les plus grosses se déposent sur le sol à différentes distances de la source selon leur taille. (Figure IV.1 et Figure IV.2).

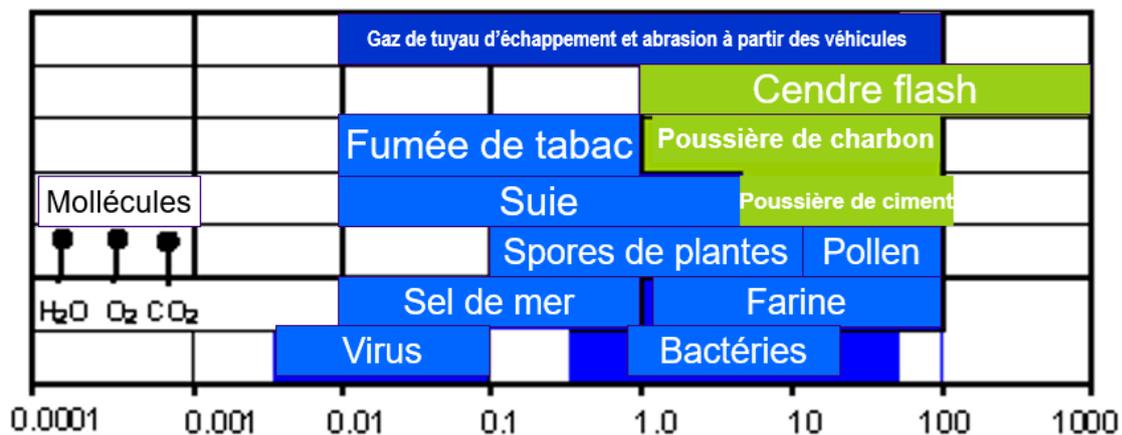


Figure IV 3: Taille des particules par (µm).

IV.3.1 Les sources de poussières

Dans la cimenterie de Zahana, les sources de poussières ou particules fines qui sont les principales pollutions rencontrées sont : toute installation de dépoussiérage (tas, refroidisseur, filtres de stockage etc.) mais il existe aussi d'autres sources qui ne sont pas négligeable tels que :

- ✓ Minage
- ✓ Les stockages matériels et manutention par les camions, les chargeurs, les convoyeurs...
- ✓ L'érosion du vent
- ✓ Versements dans le mélange cru et dans le clinker
- ✓ Les tas
- ✓ Les routes Pavées / non pavées

IV.3.2 Impact sur la santé et sur l'environnement

Comme déjà mentionné dans le chapitre II , l'effet de la poussière sur la santé est néfaste, Les principales maladies associées à l'inhalation de poussières dangereuses sont les suivantes:

1. Irritation des yeux et respiration difficile
2. Toux chronique
3. Cœur et circulation du sang
4. Crise cardiaque, cancer.

La poussière a également un impact sur la végétation, à la fois physiquement et chimiquement. Lorsque la poussière se dépose, elle le fait souvent sur les arbres, les plantes et les cultures. Cette sédimentation peut limiter les processus naturels des plantes : photosynthèse, respiration et transpiration.

IV.3.3 Les technologies de diminution

La société de cimenterie LAFARGE est munie d'un dispositif de dépoussiérage du site ainsi que d'autres moyens visant à la diminution de la poussière. Pour les sources diffusent (minage, stockage du ciment....) les mesures mis en place sont basées principalement sur le nettoyage et un excellent entretien. Pour les sources des points, les filtres à manches sont utilisés comme un système de filtration de poussières.

A) Filtres à manches

Les filtres à manches sont employés dans la filtration industrielle. Ils font partie des techniques d'assainissement particulaire de l'air ambiant en milieu industriel. Ils sont l'un des moyens les plus performants de séparer les poussières transportées par une veine d'air, collectée dans un conduit. La compréhension de son mode de fonctionnement est relativement facile.

- Description de système

Le système de filtre à manches est composé de trois parties principales démontables

(voir la Figure IV.3) :

- La partie supérieure comprenant le système de décolmatage, l'orifice de sortie d'air épuré, l'accès aux éléments filtrant,
- Le caisson intermédiaire contenant la manche filtrante, et l'entrée des gaz poussiéreux (entrée latéral) avec éventuellement l'entrée du gaz,
- La trémie de collecté des poussières.

L'air chargé de poussières aspiré par un ventilateur entre dans un caisson en acier qui contient lui-même des manches filtrantes en feutre aiguilleté. Ces manches filtrantes à porosité bien déterminée ne laissent s'échapper dans l'atmosphère, via une cheminée, que l'air propre à très faible teneur en poussières de l'ordre de 20 mg/nm. Les poussières se trouvent emprisonnées sur les parois des manches filtrantes. Les manches sont maintenues ouvertes par des cages mannequins en fils d'acier inox. Les caissons et platines support de manches sont construites en tôle d'acier de 3 mm munis de renforts et de raidisseurs. Le filtre est muni de portes pour l'inspection et l'entretien. La toiture du filtre est étanche pour éviter les infiltrations des eaux pluviales.

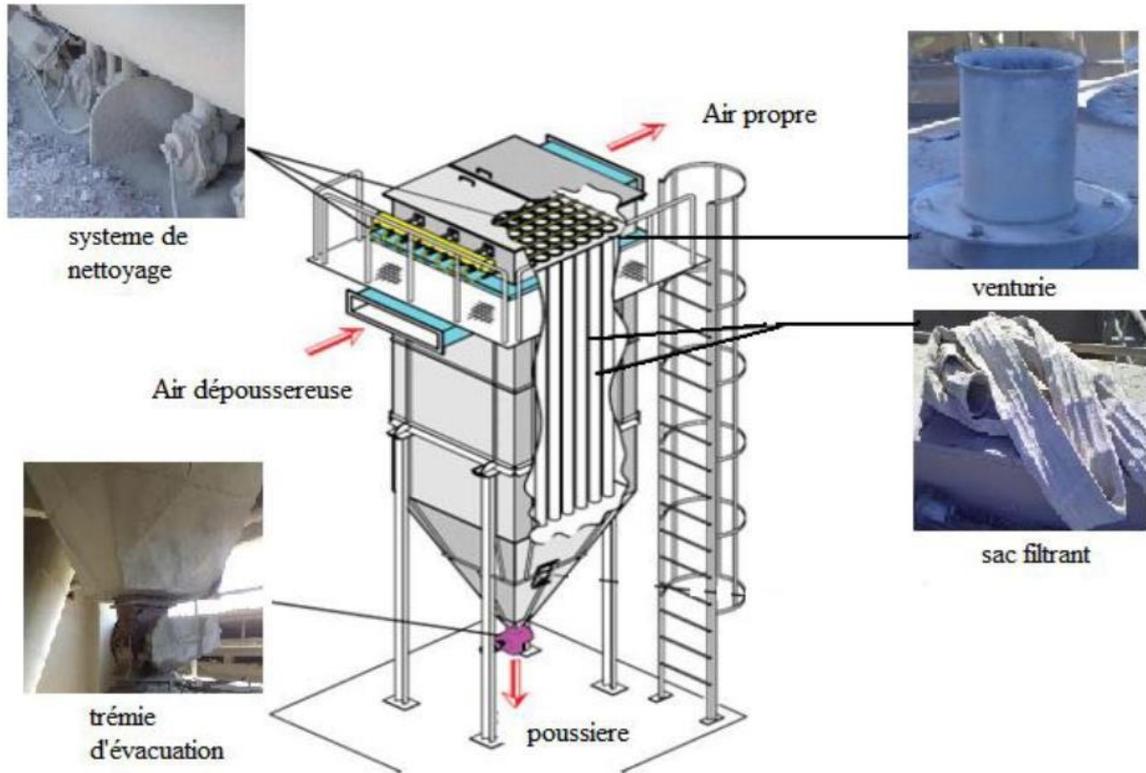


Figure IV 4: Manches dans la trémie.

Cependant, à l'échelle microscopique, certains paramètres tels que les températures et les pressions mènent à des difficultés pour comprendre le dispositif. Ces limites s'accroissent encore plus lorsque le filtre est inséré dans un vaste processus de traitement où les divers éléments le constituant sont en perpétuelle interaction.

Les filtres à manches permettent d'atteindre des rejets en poussières inférieurs à $1\text{mg}/\text{Nm}^3$. Ils sont donc la technologie la plus adaptée actuellement pour satisfaire aux renforcements des exigences de rejet sur les particules fines.



Figure IV 5: Poussières dans la trémie.

Une manche filtrante est constituée d'une armature métallique sur laquelle un média filtrant est mis en place. La température des gaz en entrée du filtre est un paramètre dans le choix du média filtrant car une température de fonctionnement élevée peut entraîner la détérioration des manches.

Tableau IV 1 : Classement des fibres suivant la résistance à la température.

TYPE DE MEDIA FILTRANT	TEMPERATURE MINIMALE	TEMPERATURE MAXIMALE
Coton	90°C	120°C
Laine	100°C	130°C
Polyamides	100°C	110°C
Polyester	150°C	180°C
Verre	250°C	310°C
Poly aramides	200°C	250°C
Fluorocarbures	260°C	280°C
Polypropylène	100°C	120°C

IV.4 Emissions du CO₂

L'industrie du ciment contribue à environ 5 % des émissions mondiales de CO₂ industrielles et est donc considérée comme un émetteur majeur. Les sources directes d'émissions de CO₂ sont les

carbonates présents dans les matières premières et la combustion de combustibles. Les émissions directes typiques d'une usine moderne de préchauffage/précalcinateur sont de 850 à 900 kg de CO₂/t de clinker, dont environ 60 % proviennent de la calcination des matières premières et le reste de la combustion de combustibles.

Les émissions indirectes proviennent de l'électricité consommée par l'usine. Les émissions indirectes par MWh varient considérablement en fonction de la méthode de production d'électricité.

En matière de réglementation, le décret exécutif n°06-138 (JORA, 2006) préconise une valeur limite de l'ordre de 150 mg/Nm³ et une tolérance des valeurs limites pour les installations anciennes de l'ordre de 200 mg/Nm³.

Principales options à court terme pour la réduction des émissions directes sont :

- Utilisation accrue d'additifs dans le ciment pour réduire l'utilisation de clinker
- Amélioration de la consommation de combustible du procédé
- Utilisation accrue de combustibles issus de la biomasse, considérés comme neutres en carbone Utilisation de combustibles à plus faible intensité de CO₂ (par exemple, le coke de pétrole 95 kg CO₂/GJ).

Options potentielles pour l'avenir :

- Nouveaux clinkers/ciments nécessitant moins de carbonates de calcium dans les matières premières.
- Procédés plus économes en énergie.
- Capture et stockage du CO₂.

IV.5 Emissions des SO_x

Le dioxyde de soufre est le principal oxyde de soufre émis par les cimenteries. Les oxydes de soufre SO₂ et SO₃ sont formés à des températures entre 370 - 420°C. Ces émissions sont principalement associées à la teneur en soufre volatil ou réactif des matières premières et, certes dans une moindre mesure, à la qualité des combustibles utilisés pour produire de l'énergie. Les émissions de SO₂ sont fortement dépendantes du gisement exploité, dans le cas de la société LAFARGE, les

oxydes de soufre sont liés à la pyrite dans les matières premières évaporées au sommet du préchauffeur ce qui explique des différences parfois importantes entre les émissions des différents fours.

IV.5.1 Impact sur la santé et l'environnement

- L'exposition à long terme (maximum. $40\mu\text{g}/\text{m}^3$) cause des effets néfastes sur la santé
- Problèmes des yeux et de la respiration
- Du côté de l'environnement : la pluie d'acide (SO_2 est transformé avec l'humidité en acide sulfurique).

IV.5.2 Matériel de mesure

Les appareils de mesures sont reliés à la tour de contrôle et sont entièrement automatisés. Ils donnent des indications pour disposer de paramètres d'exploitation mais aussi jouent un rôle important dans la détection d'anomalie. Les analyseurs sont installés au niveau de la tour de préchauffage et du calcinateur, nous renseignent en temps réel la teneur des gaz en O_2 , CO_2 , CH_4 , NO et SO_2 .



Figure IV 6: Matériel de mesure (à gauche thermocouple, à droite thermometer)

IV.6 Emissions des NO_x

Les NO_x se forment soit lors de la combustion dans la zone de clinkérisation, soit dans les zones de calcination ou précalcination. La fabrication de ciments très réactifs nécessite un clinker à plus fort niveau de saturation, ce qui rend la cuisson plus difficile et produit des émissions en NO_x plus élevées. Ces paramètres doivent être pris en considération pour comprendre la variation des résultats obtenus (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques-INERIS, 2010). Plus de 95% des NO_x mesurés au niveau des cheminées sont

des NO. Les NO₂ sont fréquemment présents dans les cimenteries mais à des concentrations très faibles et leurs émissions ne sont pas significatives. Au niveau des cimenteries, la quantité de NO_x qui y est produite dépend de la température, la teneur en oxygène (facteur d'excès d'air), la durée de la réaction, la réactivité et la teneur en azote du combustible, la présence d'humidité, le procédé de cuisson et l'équipement du four.

En matière de réglementation, le décret exécutif n°06-138 (JORA, 2006) préconise une valeur limite de l'ordre de 1500 mg/Nm³ et une tolérance des valeurs limites pour les installations anciennes de l'ordre de 1800 mg/Nm³. La comparaison de nos résultats à ces normes montre que ces valeurs limites sont dans l'ensemble respectées. Le pic enregistré au mois d'octobre (1553.19 mg/Nm³) dépasse la valeur limite mais reste inférieur au seuil de tolérance.

IV.7 Stratégies de décarbonisation de la production de ciment

Les stratégies de décarbonisation de la production de ciment impliquent une série d'approches visant à réduire les émissions de carbone et à promouvoir la durabilité. L'une des stratégies consiste à utiliser des matériaux cimentaires alternatifs, tels que les cendres volantes, les scories et les pouzzolanes, qui peuvent remplacer partiellement le clinker traditionnel et réduire l'intensité carbone.

La technologie de captage et de stockage du carbone (CSC) est une autre stratégie importante, qui permet de capter les émissions de CO₂ des cimenteries et de les stocker sous terre. L'amélioration de l'efficacité énergétique dans la fabrication du ciment grâce à l'optimisation des procédés, à la récupération de la chaleur résiduelle et à des technologies économes en énergie est également essentielle. Le développement de ciments à faible teneur en carbone, notamment de ciments mélangés et de nouveaux liants, offre des alternatives plus écologiques. Les approches d'économie circulaire, telles que le recyclage des déchets de béton et l'utilisation de carburants alternatifs, contribuent également aux efforts de décarbonisation dans l'industrie du ciment.

IV.8 Utilisation de technologies alternatives de clinker

Les technologies alternatives de clinker sont des approches innovantes visant à réduire l'empreinte carbone de la production de ciment. Ces technologies cherchent à remplacer ou à minimiser l'utilisation du clinker traditionnel, qui est une source majeure d'émissions de CO₂. En explorant et en adoptant des technologies alternatives de clinker, l'industrie du ciment peut contribuer aux efforts mondiaux visant à atténuer le changement climatique et à atteindre les objectifs de durabilité.

IV.8.1 Ciments à base d'argile

Un exemple de technologie alternative de clinker est celui des ciments à base d'argile calcinée, tels que le LC3 (ciment d'argile calcinée au calcaire)[21]. Ces ciments utilisent l'argile calcinée comme substitut partiel du clinker, ce qui entraîne une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂. L'argile calcinée est un sous-produit de divers processus industriels et peut être facilement disponible, ce qui en fait une option intéressante pour la production durable de ciment. L'incorporation d'argile calcinée améliore également les propriétés du ciment, telles qu'une durabilité et une résistance améliorées [21]. Les efforts de recherche et développement en cours se concentrent sur l'optimisation des ratios de mélange et des techniques de production afin de maximiser les avantages des ciments à base d'argile calcinée.

IV.8.2 Ciments à base de bélite

Une autre approche dans les technologies alternatives du clinker est l'utilisation de ciments à base de bélite [21]. La bélite est une phase à basse température dans la production de ciment qui nécessite moins d'énergie pendant le processus de cuisson par rapport au clinker traditionnel. En réduisant la teneur en clinker et en augmentant la proportion de bélite, ces ciments offrent une alternative plus durable au ciment Portland. Les ciments à base de bélite ont montré des résultats prometteurs en termes de réduction des émissions de CO₂ et de conservation de l'énergie [21]. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser la composition et les propriétés des ciments à base de bélite afin d'assurer leur viabilité commerciale.

IV.8.3 Ciments à base de magnésium

Les ciments à base de magnésium émergent également comme technologies alternatives du clinker [21]. Le ciment à l'oxychlorure de magnésium et le ciment au phosphate de magnésium sont deux exemples de ces technologies. Ces ciments peuvent être produits à partir d'oxyde de magnésium ou de silicates de magnésium, qui ont une empreinte carbone plus faible que le clinker à base de calcaire. Les ciments à base de magnésium offrent des avantages tels que des temps de prise plus rapides, une résistance initiale élevée et une meilleure résistance au feu [21]. Cependant, des défis tels que l'approvisionnement en matériaux riches en magnésium et la nécessité de recherches et de développement supplémentaires entravent leur adoption généralisée.

IV.8.4 Les liants activés

Les liants activés par les alcalis sont une autre catégorie de technologies alternatives de clinker [21]. Ces liants sont produits en activant des sous-produits industriels, tels que les cendres volantes ou les scories, avec des activateurs alcalins. En utilisant ces sous-produits, les liants activés par les alcalis réduisent la dépendance à la production de clinker et contribuent à l'économie circulaire. Ces liants offrent des propriétés mécaniques similaires voire supérieures à celles du ciment traditionnel et ont démontré leur durabilité dans diverses applications [21]. Les recherches en cours visent à optimiser la formulation, à améliorer les performances à long terme et à améliorer la rentabilité des liants activés par les alcalis pour une utilisation commerciale.

Les technologies de clinker à bilan carbone négatif représentent une approche avancée des technologies de clinker alternatives. Ces technologies ne visent pas seulement à réduire les émissions de carbone, mais aussi à produire du ciment à bilan carbone négatif. Les technologies de clinker à bilan carbone négatif captent le CO₂ de l'atmosphère ou des gaz de combustion industriels et l'incorporent dans le matériau cimentaire. Cela se traduit par une élimination nette de CO₂ de l'environnement. Ces technologies sont très prometteuses pour l'industrie du ciment et pourraient contribuer activement aux efforts d'atténuation du changement climatique. Cependant, des recherches, un développement et une mise en œuvre à grande échelle supplémentaires sont nécessaires pour garantir leur faisabilité technique, leur viabilité économique et leurs avantages environnementaux.

Le développement et l'adoption de technologies alternatives de production de clinker sont confrontés à des défis tels que la rentabilité, l'évolutivité et l'acceptation par le marché. La transition de la production traditionnelle de clinker vers des technologies alternatives nécessite des investissements importants dans la recherche et le développement, ainsi que la modification ou la construction de nouvelles installations de production. La disponibilité et l'approvisionnement en matières premières adaptées, la compatibilité des technologies alternatives de production de clinker avec les infrastructures existantes et la volonté des parties prenantes d'accepter le changement sont également des considérations importantes. En outre, les normes et les réglementations doivent évoluer pour intégrer les technologies alternatives de production de clinker et offrir des conditions de concurrence équitables aux producteurs de ciment durables. Cependant, les efforts continus de recherche et de développement, les politiques de soutien et la collaboration entre les parties prenantes contribuent à surmonter ces obstacles et à accélérer la transition vers une production de ciment durable et à faible émission de carbone. L'innovation continue et le partage des connaissances entre les chercheurs, les acteurs de l'industrie et les décideurs politiques sont essentiels pour faire progresser les technologies alternatives de production de clinker. Les partenariats et les collaborations

entre le monde universitaire, les organismes gouvernementaux, les fabricants de ciment et les fournisseurs de technologies facilitent l'échange d'expertise, de ressources et de meilleures pratiques. En relevant collectivement les défis et en saisissant les opportunités, les technologies alternatives du clinker peuvent jouer un rôle essentiel dans la décarbonisation de l'industrie du ciment et façonner un avenir plus durable.

IV.9 Capture et utilisation du carbone (CCU)

La capture et l'utilisation du carbone (CCU) offrent des solutions innovantes pour réduire l'impact carbone de la production de béton et améliorer sa durabilité. Une approche de la capture et de l'utilisation du carbone dans la production de béton est la capture et l'utilisation des émissions de CO₂ provenant de sources industrielles. En captant le CO₂ des centrales électriques, des cimenteries ou d'autres processus à forte intensité d'émissions, le gaz à effet de serre est détourné de l'atmosphère et empêché de contribuer au changement climatique. Ce CO₂ capturé peut ensuite être utilisé de plusieurs manières. Une application de la capture et de l'utilisation du carbone (CCU) est l'incorporation du CO₂ capturé dans le mélange de béton lui-même [21]. Cela peut être réalisé en convertissant chimiquement le CO₂ en carbonates minéralisés, qui peuvent agir comme un SCM. Ces carbonates peuvent être utilisés comme adjuvant minéral dans le béton, remplaçant partiellement le ciment traditionnel. En utilisant le CO₂ de cette manière, le processus de carbonatation est amélioré, ce qui conduit à une séquestration accrue du carbone dans le béton et à une réduction de l'empreinte carbone globale du matériau. Une autre approche de la CCU dans la production de béton consiste à produire des liants ou des agrégats alternatifs à l'aide de CO₂ capturé [21]. Grâce à des réactions chimiques, le CO₂ peut être lié à certains matériaux pour produire des produits cimentaires à empreinte carbone réduite. Ces liants alternatifs peuvent être utilisés comme substituts du ciment traditionnel dans la production de béton, réduisant ainsi les émissions de CO₂ associées au processus de fabrication. Les technologies CCU dans la production de béton aident non seulement à atténuer les émissions de CO₂, mais contribuent également à l'économie circulaire en transformant le CO₂ résiduel en une ressource précieuse. En capturant et en utilisant le CO₂, les producteurs de béton peuvent passer à un processus de fabrication plus durable et plus respectueux de l'environnement. La carbonatation et la CCU sont toutes deux confrontées à des défis qui doivent être relevés pour une mise en œuvre généralisée. La nature lente de la carbonatation naturelle nécessite des périodes prolongées pour une séquestration significative du carbone.

La mise en œuvre du CCU dans la production de béton nécessite une collaboration entre l'industrie, les chercheurs et les décideurs politiques. Des défis tels que l'évolutivité des technologies CCU, la disponibilité d'infrastructures de captage du carbone adaptées et la garantie de la durabilité

et des performances à long terme du béton amélioré par le CCU doivent être relevés. Cependant, les avantages potentiels du CCU dans la décarbonisation de la production de béton en font une voie prometteuse pour réduire l'impact environnemental de ce matériau de construction essentiel. Pour promouvoir l'adoption de la carbonatation et du CCU dans la production de béton, des efforts de recherche et développement supplémentaires sont nécessaires. Cela comprend l'optimisation des processus de carbonatation, le développement de nouveaux matériaux et liants qui intègrent le CO₂ capturé et l'avancement des technologies pour une capture et une purification efficace du CO₂. La collaboration entre les chercheurs, les acteurs de l'industrie et les décideurs politiques est essentielle pour stimuler l'innovation et faciliter la transition vers des pratiques de production de béton plus durables.

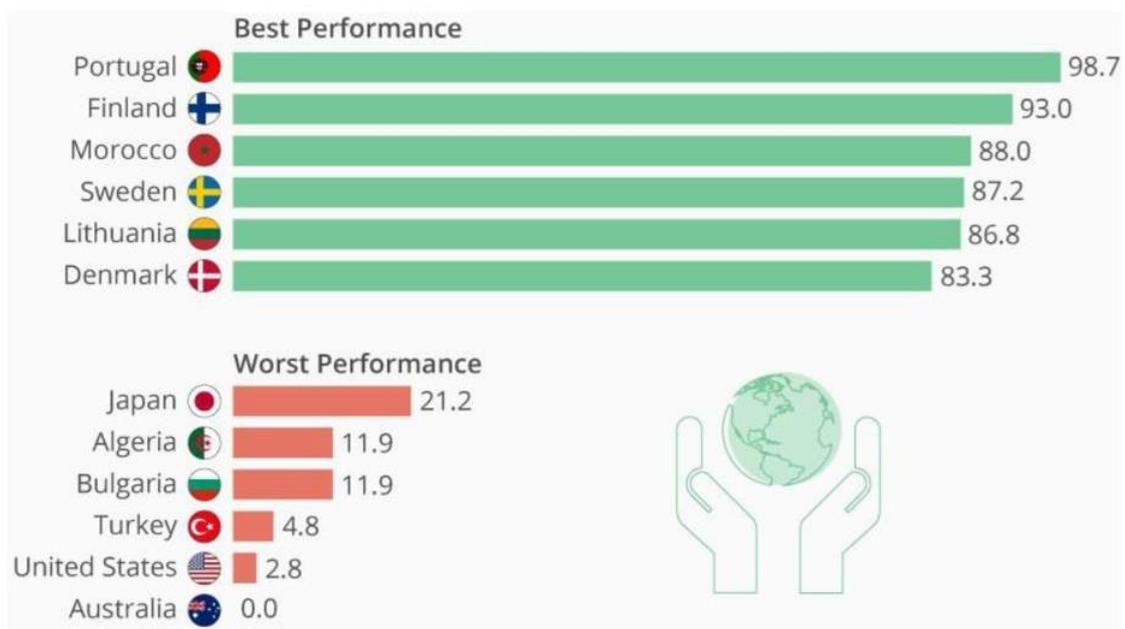
Conclusion générale

Conclusion générale

La pollution de l'environnement et le réchauffement climatique sont les sujets d'actualité à tous les niveaux de la société. Les scientifiques et les chercheurs dans le monde tentent de trouver des solutions afin de réduire les impacts de ces polluants que ce soit sur la santé des êtres humains ou sur l'environnement.

Le protocole de Kyoto (1997) qui est un accord international, visant à la réduction des gaz à effet de serre et minimiser l'impact de ces gaz sur tous les êtres vivants (règne humain, animal et végétal) à travers l'imposition de taxes sur les pays industriels. Dans cette optique, l'apport des ingénieurs et de l'élite scientifique est primordial afin de contribuer à la compréhension des phénomènes physiques liés à ce fléau.

Selon l'indice de performance 2020 sur le changement climatique publié récemment par le NewClimate Institute, le Climate Action Network et Germanwatch, 57 pays ont été classés en fonction de leur action nationale en matière de changement climatique (statista.com). L'indice a évalué différentes catégories, notamment les émissions, les énergies renouvelables, la consommation d'énergie et la politique. Étonnamment, l'Australie se classe au bas de l'indice en termes de politique. Le Portugal a été reconnu comme le pays le plus performant en matière de politique de changement climatique. A notre grande surprise, l'Algérie a également obtenu un mauvais score.



Ce rapport souligne la nécessité d'une action urgente et globale sur le changement climatique à l'échelle mondiale. Il soulève des inquiétudes quant au manque de progrès et à la régression démontrés par certains pays, tout en soulignant les efforts positifs déployés par d'autres. Ce classement rappelle l'importance de politiques fortes et efficaces en matière de changement climatique pour résoudre ce problème mondial crucial.

Les perspectives :

Comme perspectives, il est essentiel de donner la priorité au développement de technologies innovantes, d'explorer de nouveaux matériaux et de promouvoir des approches d'économie circulaire. Cela comprend la réduction du ratio clinker/ciment, l'utilisation de matières premières alternatives et l'exploration de la capture et de l'utilisation du carbone. En outre, l'accent mis sur les modèles commerciaux durables, les opportunités de marché et la sensibilisation des consommateurs favorisera l'adoption de ciment et de béton à faible teneur en carbone.

Références bibliographiques

- [1] : Rimene Zaimi. (2019). « Evaluation de la qualité de l'air par les particules fines PM2.5 et PM10 et des métaux lourds associés au niveau du centre urbain CPMC-CHU Mustapha ». Université Saad Dahleb Blida 1. 2019.
- [2] : Yahiaoui, F. (2010). « Etude de la pollution atmosphérique par fraction des matières particulaires PM10, PM2,5 dans le site d'Alger centre. Université M'Hamed Bougara, Boumerdes ».
- [3] : Emilia M. Szumska, Marek Jerzy Pawełczyk (2019). « Evaluation of the Life Cycle Costs for urban buses equipped with conventional and hybrid drive trains ». The Archives of Automotive Engineering.
- [4] : Bernard Aumont. (2005). « Production d'ozone troposphérique et régimes chimiques ». Universités Paris 7.
- [5] : SCHMAUS, A. (1920). Die Chemie des Nobels, der Wolken und des Regens, Die Umschau.
- [6] : BERKOUKI, N. (2009). caractérisation de la pollution de l'air par les particules fines et des métaux lourds associés, en milieu urbain à Alger centre. Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger.
- [7] : LEHOUT, R. (2017). Evaluation de la pollution de l'air outdoor au niveau du site d'Alger Centre. Université Houari Boumediene, Alger.
- [8] : CHANG, O. M. C., & ENGLAND, G. C. (2005). Development of fine particulate emission factors and speciation profiles for oil and gas-fired combustion systems.
- [9] : COURT, M. (2007). Les particules fines, aussi visibles que dangereuses (le Figaro).
- [10]: DONALDSON, K., & STONE, V. (2003). Current hypotheses on the mechanisms of toxicity of ultrafine particles.
- [11] : SCHAUMANN, F., BORM, P., HERBRICH, A., KNOCH, J., PITZ, M., SCHINS, R., KRUG, N. (2004). Metal-rich ambient particles (particulate matter 2.5) cause airway inflammation in healthy subjects.

- [12] : RAHMANI, Y., & MOUADA, A. (2015). Evaluation de la pollution de l'air indoor dans une salle de travail au niveau de l'hôpital universitaire de Beni messous (C.H.U Beni messous). université BOUGARA Mohamed, Boumerdes.
- [13] : CITEPA, S. (2001). Inventaire des émissions de polluants atmosphériques En France – Séries sectorielles et analyses étendues.
- [14] : BORM, P., ROBBINS, D., HAUBOLD, S KUHLBUSCH, T FISSAN, H., DONALDSON, K SCHINS, R., STONE, V., KREYLING, W LADEMANN, J., OBERDORSTERE. (2006). The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC.
- [15] : Masclet, P. (2005). Pollution atmosphérique : Causes, conséquences, solutions, perspectives (Ellipses).
- [16] : Lefèvre, R., & Ausset, P. (2001). « Les effets de la pollution atmosphérique sur les matériaux du patrimoine bâti : la pierre et le verre ».
- [17] : WEXLER, H. Météorologie et pollution de l'air. Retrieved from <https://www.atmosud.org/article/lair-et-la-meteo>.
- [18] : L.P.S.S. Panagoda. « Cement Manufacturing Process and Its Environmental Impact ». J. Res. Technol. Eng. 4 (3), 2023, 161-168.
- [19] : A.Maameri. « Etude de la dispersion atmosphérique des polluants issus des cheminées Industrielles ». Ecole supérieur polytechnique. 2009.
- [20] : N. Ghenait,. D.Malki. « Effet de la pollution industrielle (Cimenterie) sur la variabilité des composés azotés non protéiques des habitants d'Elma-Labioud ». Université de Larbi Tébessi – Tébessa-. 2016
- [21] S.Barbhuiya. F. Kanavaris. B. Bhusan Das. M. Idrees. « Decarbonising cement and concrete production: Strategies, challenges and pathways for sustainable development ». *Journal of Building Engineering* 86 (2024).Tableau 1. 2