

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE GEOGRAPHIE
ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

N° d'ordre.....

Série.....

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de magister en architecture et urbanisme

OPTION : VILLE ET RISQUE URBAIN

THEME

IMPACT DE LA POLLUTION DE L'AIR PROVOQUEE PAR LA CIMENTERIE

TAHAR DJOUAD SUR LA SANTE PUBLIQUE ET LE CADRE BATI

-CAS DE HAMMA BOUZIANE-



Présenté par : M^{elle} Rebouh Samia
Sous la direction de M^{me} : Dr Benrachi Bouba

JURY :

President:	Mr Sahnoune Tayeb	(Prof.)	(U.M.C)
Rapporteur :	Mme Benrachi Bouba	(M.C.)	(U.M.C)
Examineur :	Mme Benidir Fatiha	(M.C.)	(U.M.C)
Examineur :	Mr Aiche Massaoud	(M.C.)	(U.M.C)

Dédicaces

Je tiens à saluer et rendre grâce à ma famille qui n'a cessé de me soutenir et de m'encourager pendant toute la période de mes études : ma grand mère, mes chers parents, mon petit frère, tous mes oncles et mes tantes, mes cousins et cousines que j'adore merci. J'espère que je vous ai honoré.

Remerciements

Je voudrais exprimer ma profonde gratitude et mon profond remerciement, à Mme Benrachi Bouba ma directrice de recherche, pour son suivi infailible, ses conseils et ses remarques constructifs qu'elle n'a cessé de me prodiguer tout au long de ce travail ainsi que pour la confiance qu'elle ma constamment témoigné.

Un grand remerciement aux membres de jury Mr Sahnoune, Mr Aiche et Mme Benidir qui ont pris le temps d'examiner ce travail et d'avoir accepté de le juger.

Merci également au directeur de la Société des Ciments de Hamma Bouziane Mr Bachtarzi ainsi que Mr Belala, chef du service informatique, Mr. Ounissi, chef de la cellule environnement, Et Mr. Bendjabellah.

Merci à toutes les personnes et institutions ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

SOMMAIRE

Dédicace.....	I
Remerciements.....	II
Sommaire.....	III
Liste des figures.....	6
Liste des photos.....	6
Liste des tableaux.....	6
Liste des symboles.....	6
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : Description de la pollution de l'air et identification des principales sources de polluants atmosphériques

I.1. INTRODUCTION.....	10
I.2. Définitions	10
I.3. Les sources de la pollution atmosphérique.....	12
I.3.1. Pollution d'origine naturelle.....	13
I.3.2. Pollution d'origine anthropique.....	14
I.3.2.1.La production d'énergie thermique.....	15
I.3.2.2. L'industrie.....	16
I.3.2.3. Les transports et l'automobile.....	16
I.3.2.4. Les déchets.....	17
I.3.2.5. Les activités agricoles.....	17
I.4. Les polluants de l'air.....	17
I.4.1. Composition de l'atmosphère.....	18
I.4.2. Identification des polluants de l'air.....	19
I.4.3. Les polluants gazeux.....	19
I.4.4. Les polluants particulaires.....	20
I.5. Les effets de la pollution de l'air	23
I.5.1. Effets sur la santé.....	24
I.5.2. Effets sur le cadre bâti.....	25
I.5.3. Effets sur l'environnement.....	25
I.5.4.Effets sur les écosystèmes d'eau douce.....	26
I.5.5. Les effets de l'appauvrissement de la couche d'ozone.....	26

I.6. Législations et recommandations des émissions de polluants	27
I.6.1. Recommandations européennes.....	27
I.6.2. Recommandations Algériennes.....	30
CONCLUSION.....	31
REFERENCES.....	33

CHAPITRE II : La pollution de l'air par les cimenteries

II.1. INTRODUCTION	35
II.2. Fabrication du ciment : Techniques et Procédés	35
II.2.1. Les matières premières et leur extraction.....	37
II.2.2. Stockage et préparation des combustibles.....	39
II.2.3. Utilisation des déchets.....	39
II.2.4. Cuisson du clinker.....	40
II.2.5. Cogénération.....	40
II.2.6. Broyage et stockage du ciment.....	41
II.2.7. Conditionnement et expédition.....	41
II.3. Emissions atmosphériques	41
II.4. Types de polluants rejetés : origine et transformation	42
II.4.1. Composés gazeux	43
II.4.2. Les poussières (particules)	46
II.4.3. Les métaux lourds.....	48
II.4.4. Composés organiques totaux (COT)	51
II.4.5. Chlorure d'hydrogène et fluorure d'hydrogène (HCl et HF)	51
II.4.6. Ammoniac (NH ₃)	51
II.4.7. Autres polluants organiques.....	52
II.5. Les effets des polluants sur la santé	52
II.5.1. Les polluants gazeux	52
II.5.2. Les poussières.....	53
II.5.3. Les métaux lourds.....	54
II.6. Les effets des polluants sur le cadre bâti	57
II.7. Les effets des polluants sur l'environnement	59
II.8. L'impact du bruit sur la santé	62
II.9. Effets des Odeurs	62
CONCLUSION.....	63

CHAPITRE III : Techniques utilisées pour la réduction des émissions de la cimenterie

III.1. INTRODUCTION.....	66
III.2. Techniques générales adoptées pour la réduction des impacts de la cimenterie.....	67
III.2.1. Optimisation de la conduite des fours.....	67
III.2.2. Choix des combustibles et des matières premières.....	68
III.2.3. Utilisation de déchets comme combustibles.....	69
III.2.4. Emissions de poussières.....	69
III.2.4.1. Mesures/techniques pour les opérations génératrices de poussières.....	70
III.2.4.2. Mesures/techniques pour les zones de stockage en vrac et les stocks.....	71
III.2.4.3. Réduction des émissions de poussières canalisées.....	72
III.2.5. Composés gazeux	75
III.2.5.1. Réduction des émissions de NOx.....	75
III.2.5.2. Réduction des émissions de SO2	77
III.2.5.3. Réduction des émissions d'oxydes de carbone (CO) et pics de CO.....	78
III.2.5.4. Réduction des émissions de carbone organique total (COT).....	78
III.2.5.5. Réduction du chlorure d'hydrogène (HCl) et du fluorure d'hydrogène (HF).....	78
III.2.6. Réduction des émissions de polychlorodibenzo-para-dioxines (PCDD) et de polychlorodibenzofuranes (PCDF).....	79
III.2.7. Réduction des émissions de métaux	80
III.2.8. Considérations concernant le bruit.....	81
III.2.9. Considérations concernant les odeurs.....	82
III.3. Techniques émergentes de protection dans l'industrie du ciment	82
III.3.1. Fabrication du ciment par la technique du lit fluidisé	82
III.3.2. Combinaison de la combustion étagée et de la SNCR	83
III.3.3. Traitement des gaz résiduels d'un four à ciment au bicarbonate de sodium sec et réutilisation des produits chimiques	83
CONCLUSION.....	84
REFERENCES.....	85

**CHAPITRE IV : La cimenterie DJOUAD TAHAR de Hamma Bouziane : procédés
de fabrication, émissions de polluants et techniques de réduction**

IV.1. INTRODUCTION	86
IV.2. Description de la Commune de Hamma Bouziane	86
IV.2.1. Vocation et superficie.....	86
IV.2.2. Population.....	87
IV.2.3. Le climat.....	88
IV.3. La cimenterie d'étude « DJOUAD TAHAR »	89
IV.3.1. Localisation et historique	89
IV.3.2. Fabrication du ciment	91
IV.3.2.1. Préparation des matières premières.....	91
IV.3.2.2. Cuisson : « Le clinker ».....	95
IV.3.2.3. Refroidisseurs à clinker.....	97
IV.3.2.4. Broyage du ciment.....	98
IV.3.2.5 : Expédition	98
IV.4. Emissions de la cimenterie	100
IV.4.1. Effluents gazeux.....	100
IV.4.1.1. Le dioxyde de carbone (CO ₂).....	101
IV.4.1.2. Le monoxyde de carbone (CO).....	101
IV.4.1.3. Oxydes d'azote (NO _x)	102
IV.4.1.4. Les oxydes de soufre (SO ₂).....	103
IV.4.2. Les Poussières.....	104
IV.4.3. Les métaux lourds.....	106
IV.5. Quantification des polluants	107
IV.5.1. Polluants gazeux.....	108
IV.5.2. Les poussières.....	108
IV.5.3. Autres polluants.....	109
IV.6. Processus du filtrage	110
IV.6.1. Dépoussiérage par électro filtres (Ef) :1980-2009.....	111
IV.6.2. Dépoussiérage par filtre a gravier.....	112
IV.6.3. Dépoussiérage par tissu filtrant (filtre à manche).....	113
CONCLUSION.....	116
REFERENCE.....	118

CHAPITRE V. Investigation des émissions de polluants de la cimenterie et leur évolution

V.1. INTRODUCTION	120
V.2. Analyse de la qualité de l'air	120
V.2.1. Choix des points d'échantillonnage.....	121
V.2.2. Résultats des prélèvements de poussières totales en suspension et de leurs retombées.....	121
V.2.3. Simulation de la dispersion et des retombées des poussières pendant l'année 2005.....	124
V.3. Les techniques de réduction des émissions de polluants utilisées dans cette cimenterie	130
V.3.1. Implantation des installations.....	130
V.3.2. Stockage et manutention	130
V.3.2.1. Matières premières.....	130
V.3.2.2. Le Clinker	132
V.3.2.3. Les ajouts.....	133
V.3.3. Broyeurs à ciment.....	133
V.3.4. Type du four.....	133
V.3.5. Refroidisseur.....	135
V.3.6. Type du combustible utilisé.....	135
V.3.7. Entretien et nettoyage	135
V.3.8. Recouvrement végétale.....	135
V.3.9. Le bruit.....	135
V.4. Analyses	136
V.4.1. Analyse environnementale.....	136
V.4.2. Analyse sanitaire.....	138
V.4.3. Analyse sociale	139
V.5. Discussion	140
CONCLUSION	140

CHAPITRE VI : Conclusions & Recommandations

VI.1 Conclusions	142
VI.2 Recommandations.....	143

VI. Bibliographie.....	147
Annexes.....	152
Résumé.....	163
Abstract.....	164
ملخص	165

Liste des figures

Figure I.1	Phénomène de pollution atmosphérique.....	15
Figure II.1	Vue d'ensemble d'un procédé de fabrication de ciment.....	38
Figure II.2	Parcours des métaux dans les fours à ciment équipés de préchauffeurs en voie sèche.....	49
Figure III.1	Exemple de filtre à manches et de matière filtrante utilisés dans une cimenterie du Royaume-Uni.....	74
Figure IV.1	Plan d'organisation des ateliers de la cimenterie.....	93
Figure IV.2	Sources d'émission des poussières dans l'air et position des filtres.....	99
Figure IV.3	Sources d'émission des poussières déposées sur le sol.....	105
Figure IV.4	Dépoussiérage par électro filtres (EF).....	112
Figure IV.5	Filtre à gravier.....	113
Figure IV.6	Filtre à manche à nettoyage par air pulse.....	114
Figure IV.7	Fonctionnement du filtre à manche installé au niveau du four.....	115
Figure V.1	Position des sites d'échantillonnage par rapport à la cheminée principale de la cimenterie et la carrière.....	121
Figure V.2	Rose des vents.....	123
Figure V.3	prélèvement rose des vents.....	124
Figure V.4	Concentrations maximales horaires simulées de PTS liées aux rejets de la cimenterie.....	126
Figure V.5	Concentrations annuelles moyennes simulées de PTS liées aux rejets de la cimenterie.....	127
Figure V.6	Retombées totales de poussières (g/m^2) simulées à partir des rejets des cheminées principale et du refroidisseur.....	128
Figure V.7	Plan de masse cimenterie « Tahar Djouad ».....	131

Liste des photos

Photo IV.1	Vue aérienne de la cimenterie DJOUAD TAHAR	90
Photo IV.2	Présentation des différents composants de la cimenterie	92
Photo IV.3	Blocs de matières premières à l'air libre au niveau de la carrière.....	94
Photo IV.4	Concassage des matières premières au niveau de la carrière.....	94
Photo IV.5	Transporteurs mécaniques des matières premières vers l'usine.....	94
Photo IV.6	Hall de stockage du cru.....	94
Photo IV.7	Four de cuisson de la cimenterie	95
Photo IV.8	Refroidisseur avec filtre à gravier.....	97
Photo IV.9	Ancienne Cheminée avec filtre électrostatique.....	106
Photo IV.10	Nouvelle cheminée avec filtre à manche.....	106
Photo VI.11	Montage du nouveau filtre à manche.....	114
Photo V.1	Ancienne cheminée avec électrofiltre.....	129
Photo V.2	Nouvelle cheminée avec filtre à manche.....	129
Photo V.3	Camion de transport de la carrière.....	132
Photo V.4	Transporteurs mécaniques et pneumatiques.....	132
Photo V.5	Hall de stockage du clinker.....	132
Photo V.6	Porte ouverte du hall de clinker.....	132
Photo V.7	Intérieur du hall clinker.....	132
Photo V.8	Stockage des ajouts à l'air libre.....	133
Photo V.9	Hall de stockage clos des ajouts.....	133
Photo V.10	Four de la cimenterie.....	133
Photo V.11	Cheminée du filtre à gravier refroidisseur.....	135
Photo V.12	Plantation d'arbre au niveau de l'usine.....	136

Photo V.13 Recouvrement végétal..... 136

Liste des cartes

Carte IV.1 Situation de la cimenterie DJOUAD TAHAR..... 89

Liste des graphes

Grphe V.1 Taux de poussières rejeté par heure et relevé par l’opacimètre..... 127

Liste des tableaux

Tableau I.1	Composition de l'atmosphère.....	18
Tableau I.2	Nature et origine des polluants.....	22
Tableau I.3	Effets et conséquences des polluants sur la santé.....	24
Tableau I.4	L'évaluation des concentrations des polluants supérieur et inférieur.....	27
Tableau I.5	Valeurs limites pour la protection de la santé humaine.....	29
Tableau I.6	Valeurs limites d'émission des paramètres de rejets atmosphériques.....	30
Tableau II.1	Les effets sanitaires de l'exposition aux particules en suspension.....	54
Tableau II.2	Effets et symptômes de différentes concentrations du Plomb dans le sang.....	55
Tableau II.3	Exemples d'effets sur différents récepteurs de la pollution atmosphérique.....	59
Tableau II.4	Effets des polluants sur l'environnement.....	61
Tableau IV.1	Répartition de la population selon la dispersion géographique.....	87
Tableau IV.2	Valeurs mensuelles moyennes des paramètres météorologiques.....	88
Tableau IV.3	Plages d'émission du four à ciment.....	107
Tableau IV.4	Quantités de gaz émises dans l'air par la cheminée principale de la cimenterie.....	108
Tableau IV.5	Facteurs d'émission et quantités des poussières émises dans l'air des différentes installations de la cimenterie.....	109
Tableau IV.6	Quantités de poussières récupérées au niveau des différents filtres.....	109
Tableau IV.7	Quantités de polluants émises par la cheminée principale de la cimenterie..	110
Tableau IV.8	Filtres à manches (FM) existant au niveau de la cimenterie de Hamma Bouziane.....	116
Tableau V.1	Concentrations des PTS et retombées atmosphériques totales au voisinage de la cimenterie et de la carrière.....	122

Tableau V.2	Niveaux simulés des concentrations et des retombées des PTS issues de la cheminée principale et de celle du refroidisseur.....	125
Tableau V.3	Mesures de gaz avec leurs seuils d'alertes.....	134
Tableau V.4	Le taux des gaz et métaux dans les poussières rejetés par la cimenterie.....	137
Tableau V.5	Statistique des malades au niveau des urgences.....	138
Tableau V.6	Statistique des malades au niveau de la consultation externe.....	138

Liste des symboles

As	: Arsenic
Ag	: Argent
Al	: Aluminium
ACGIH	: American Conference of Governmental Industrial Hygienist
Be	: Béryllium
BTEX	: Benzène, toluène, éthylbenzène et xylène
CPA	: Ciment Portland avec Ajout
CO	: Monoxyde de carbone
CaCO ₃	: Carbonate de calcium
CaO	: Oxyde de calcium
CO ₂	: Dioxyde de carbone
COV	: Composés organiques volatils
C ₆ H ₅ N	: Pyrimidine
Cd	: Cadmium
CdCl ₂	: Chlorure de cadmium
CdO	: Oxyde de cadmium
CdSO ₄	: Sulfate de cadmium
CdS	: Sulfure de cadmium
Cr	: Chrome
CrCl ₃	: Chlorure chromeux
Cr ₂ (SO ₄) ₃	: Sulfate de chrome
Cr ₂ O ₃	: Oxyde de chrome
Cu	: Cuivre
CuO	: Oxyde de cuivre
Cu(OH) ₂	: Hydroxide de cuivre
CuSO ₄	: Sulfate de cuivre
CuCl ₂ , 2H ₂ O	: Chlorure de cuivre
Cu(NO ₃) ₂ , 3H ₂ O	: Nitrate de cuivre
Co	: Cobalt
CoO	: Oxyde de cobalt
CoS	: Sulfure de cobalt
CoCl ₂	: Chlorure de cobalt
CoF ₂	: Fluorure de cobalt
CoSo ₄	: Sulfate de cobalt
C (µg/m ³)	: Concentration des retombées de poussières
Fe	: Fer
Hg	: Mercure
HF	: Fluorure d'hydrogène
HCl	: Acide chlorhydrique
HNO ₃	: Acide nitrique
HAP	: Hydrocarbures aromatiques polycycliques
K	: Potassium

$K_2Cr_2O_7$: Chromate de potassium
Mn	: Manganèse
Na_2CrO_4	: Chromate de sodium
$(NH_4)_2CrO_4$: Bichromate d'amonium
Ni	: Nickel
$NiCl_2$: Chlorure de nickel
NiO	: Oxyde de nickel
$NiSO_4$: Sulfate de nickel
NiS	: Sulfure de nickel
NO_x	: Oxyde d'azote
NO	: Monoxyde d'azote
NO_2	: Dioxyde d'azote
N_2O	: Protoxyde d'azote
N_2O_4	: Tétraoxyde d'azote
N_2O_3	: Trioxyde d'azote
NH_3	: Ammoniac
OMS	: Organisation Mondiale de la santé
ONS	: Organisation national des statistiques
O_3	: L'ozone
Ps	: Particules en suspension
Pb	: plomb
PTS	: Particules totales en suspension
$PbCl_2$: Chlorure de plomb
PbO	: Oxyde de plomb
$PbSO_4$: Sulfate de plomb
PbS	: Sulfure de plomb
PCB	: Polychlorobiphényles
PCDD	: Polychlorodibenzo-para-dioxines
PCDF	: Polychlorodibenzofuranes
PAH	: Hydrocarbures aromatiques polycycliques
PM	: Particulate matter
Se	: Sélénium
Sb	: Antimoine
Sn	: Etain
SO_x	: Oxydes de soufre
SO_2	: Dioxyde de soufre
T_a	: Température ambiante durant l'opération
V	: Vanadium
VFC	: Volume Flow Controller
Vstd	: Volume standard
Zn	: Zinc
Km	: Kilomètre
Ha	: Hectare
T	: Tonne

Tl	: Thallium
%	: Pourcentage
°C	: Degré Celsius
K	: Degré Kelvin
G	: Gramme
Kg	: Kilogramme
µm	: Micrometer
µg	: Microgramme
ng	: Nanogramme
mg	: Milligramme

1. Introduction

Pays traditionnellement agricole, l'Algérie s'est résolument engagée, dès son indépendance, dans un processus d'industrialisation visant à faire sortir le pays, le plus tôt possible, du sous-développement et à le hisser au rang des nations industrialisées.

Le rythme accéléré du processus d'industrialisation en Algérie n'a pas permis de prendre en compte les aspects environnementaux des projets industriels. Faute d'études d'impact, la plupart des usines ont été mal implantées et posent actuellement des problèmes graves de santé publique. De nombreuses unités industrielles ont été ainsi implantées sur les terres les plus fertiles du pays, dans des zones vulnérables à la pollution ou aménagées sur des nappes d'eau souterraines très sensibles à la pollution. En conséquence, des complexes industriels qui émettent des polluants très dangereux pour la santé publique réalisés en zone périphérique urbaine se trouvent actuellement après l'extension des villes ; en plein centre urbain et leurs rejets dans l'air constituent une des pollutions les plus accablantes de l'atmosphère.

A cet effet, la pollution atmosphérique s'impose aujourd'hui comme un sujet qui préoccupe de plus en plus les citoyens, les journalistes, les politiques, les chercheurs et les gouvernements. C'est un problème d'actualité qui a des effets néfastes sur l'environnement et cet environnement constitué de terre, d'eau, de plantes et d'air est un ensemble très important pour notre bien et pour l'équilibre naturel.

Au cours des dernières années, l'évaluation de la pollution atmosphérique et précisément le domaine de la pollution par les poussières est considérés comme une véritable révolution ayant un impact direct sur les êtres humains. Il y a longtemps que la présence dans l'atmosphère de fumées, de cendres, de gaz sulfureux est reconnue coûteuse et dangereuse. A l'heure actuelle, la conviction est acquise que la pollution de l'air présente plus que de légers inconvénients et qu'elle peut mettre en danger la santé humaine. Il s'est avéré que certains épisodes de pollution graves ont accru la létalité et des recherches entreprises séparément ont poussé à penser qu'il peut exister un rapport entre l'exposition plus ou moins régulière à une atmosphère polluée et l'apparition de maladies telles que ; la bronchite aiguë et le cancer primitif du poumon.

Il est à noter que les activités humaines exercent sur l'environnement diverses formes de pollution qui peuvent conduire à des effets nuisibles sur la faune, la flore et l'homme lui-même. Tous les compartiments de l'environnement sont affectés l'air, l'eau et les sols. De la même manière, le problème des pollutions d'origine industrielle se pose au regard des conséquences sociales, écologiques et économiques du changement climatique, des impacts sanitaires de la

dégradation de l'environnement (eau, air, alimentation, etc.) ou encore des nuisances quotidiennes subies par les populations riveraines (bruits, odeurs, etc.).

L'activité industrielle, la production et/ou la transformation de matières premières, s'accompagne de risques et nuisances, en fonction des produits qu'elle traite (incendie, explosion, ou émission de nuage toxique, pour ne citer que les plus connus). Ces risques sont perçus, pensés et analysés par les industriels, qui cherchent à les réduire, et par les populations environnantes, qui n'ignorent pas qu'un accident peut avoir de graves conséquences sur leur vie ou leur santé.

Les directives mondiales sur la réduction des rejets industriels et domestiques ont suscité la recherche de nouveaux produits et de nouveaux procédés plus respectueux pour l'écosystème. Ainsi, la lutte contre la pollution de l'air ne s'occupe plus uniquement des produits de simple oxydation des combustibles classiques. Parce que, les effluents industriels déversés dans l'atmosphère sont de plus en plus abondants, variés et complexes, et les divers facteurs tels que ; le développement de l'industrialisation, la multiplication des moteurs à combustion interne et l'augmentation de densité des populations exposées aux polluants atmosphériques, accroissent rapidement la gravité de la situation et compliquent progressivement l'application de mesures efficaces. La pollution de l'air est peut être la plus dissimulée et la plus difficile à combattre.

L'activité industrielle crée des polluants très variés : ceux-ci sont constitués, de manière générale, de produits faisant l'objet d'une fabrication, ou de produits primaires ou intermédiaires de cette fabrication, ou encore de produits de décomposition des produits précités. Ces émissions peuvent être continues ou discontinues. A titre d'exemple, on peut citer : Les cimenteries.

La pollution atmosphérique et spécialement celle émise par les cimenteries est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants susceptibles d'être présents dans l'atmosphère. Le ciment est lui-même un élément polluant malgré sa nécessité absolue pour la vie sociale et économique, et la grande importance que lui accorde le monde entier.

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

Dans le but de trouver des solutions concernant la gestion et la manipulation des polluants au niveau de la cimenterie de Hamma Bouziane, Constantine, l'étude des choix des sites d'implantation, des procédés de fabrication utilisés, des moyens destinés au traitement de la pollution déployés à travers le monde est nécessaire.

Dans notre cas, on s'intéressera à étudier les retombées particulaires et gazeux dans la région de Hamma Bouziane, particulièrement aux alentours de la cimenterie "Djouad Tahar".

Le ciment est fabriqué à partir de matières premières ; calcaire et argile, extraits des carrières proches de celles-ci. Les matières premières sont préparées et homogénéisées sous forme soit de pâte liquide, soit de poudre sèche selon le procédé employé: voie sèche ou voie humide.

Le produit est clinkérisé dans des fours de très grandes dimensions ; le clinker est ensuite broyé avec des matières d'ajouts : gypse, laitier hydraulique,...etc., variant avec la qualité du ciment fabriqué. Pour produire une tonne de ciment, quelque 2,8 tonnes de matières premières et de clinker doivent être réduites à l'état de poussière; cette transformation est un des facteurs de pollution.

Les polluants émis sont dispersés dans l'atmosphère et/ou déposés dans l'environnement tout en subissant, éventuellement, des modifications physico-chimiques. Le principal facteur impliqué dans ces deux processus, transfert et transformation, est la météorologie, qui joue sur des phénomènes de turbulences et d'irradiation.

Pour comprendre de manière plus juste le problème de cette pollution et de l'influence de l'homme sur son milieu vital, il est nécessaire d'examiner son impact sanitaire et environnemental et étudier les méthodes utilisées pour la réduction des émissions de polluants.

2. Problématique

Ce thème de recherche portera sur la pollution de l'air et son impact sur le patrimoine bâti, la santé des habitants et l'environnement de Hamma Bouziane, une zone urbaine proche de la cimenterie qui présente une source importante de pollution de son atmosphère et un souci majeur pour ses habitants.

Implantée depuis les années 70, la cimenterie « TAHAR DJOUAD » n'a cessé de produire différents polluants affectant ainsi l'air et l'environnement de la zone de Hamma Bouziane.

- Parmi les polluants importants rejetés par la cimenterie ; on compte les différents gaz de combustion au niveau des fours de cuisson : le dioxyde de soufre (SO₂), l'oxyde d'azote (NO_x), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂) et les poussières qui sont très ressenties par la population pour des raisons physiologiques et psychologiques. La granulométrie des poussières est un facteur important. Les poussières fines restent en suspension dans l'atmosphère alors que les plus grosses sont appelées à se déposer sur le sol à différentes distances de la source selon leur taille.

- Celles fines ; affectent directement la santé humaine à court et long terme :

- A court terme, les poussières fines atteignent les alvéoles et peuvent pénétrer dans le sang. Elles peuvent transporter d'autres polluants qui y sont adsorbés (SO₂, métaux lourds, hydrocarbures...). Elles sont associées aux hospitalisations et aux décès pour cause respiratoire et cardio-vasculaire.

- A long terme, ces polluants peuvent provoquer des maladies respiratoires telles :
 - ✓ asthme, bronchite, emphysème (poussières, SO₂),
 - ✓ cancer des poumons (particule et NO₂).

Facteurs d'influence : les effets sur la santé dépendent de trois facteurs :

- ✓ Des niveaux de concentration auxquels est exposé l'organisme (exemple : milieu professionnel par rapport aux sites propres),
- ✓ De la durée d'exposition (le temps durant lequel on est exposé à ce niveau),
- ✓ De l'activité physique : l'effort physique s'accompagne d'une augmentation de la ventilation pulmonaire et donc de la quantité de polluants introduit dans l'organisme.

- Celles plus grosses contaminent les vergers de cette zone qui était d'une production qualitative des différents végétaux et fruits.

L'importance et la nécessité de prendre en compte le problème de la pollution de l'air et ses différents impacts qui sont liés à plusieurs raisons, parmi elles on cite :

- la diminution inquiétante de la quantité d'ozone au dessus de l'antarctique détectée dans les années 1980.
- l'effet de serre qui est un phénomène naturel, mais qui est aujourd'hui perturbé par les activités humaines qui rejettent de nombreux gaz dans l'atmosphère.
- les risques du réchauffement de la planète, un des risques les plus graves pesant sur l'humanité.
- la dégradation de la santé publique, le patrimoine bâti et l'environnement.
- la modification des systèmes climatiques à différentes échelles (planétaire à locale).

Parmi les principales conséquences de la pollution de l'air par les poussières et les autres polluants provenant d'une cimenterie, on a :

- l'accentuation de pathologies respiratoires (asthme, bronchite, emphysème (SO₂) cancer des poumons (NO₂) ;
- la contamination de l'air, de l'eau et du sol par des substances qui altèrent le fonctionnement naturel des écosystèmes ;
- Enfin, la dégradation d'une manière générale du patrimoine bâti, résultant en sulfatation des matériaux accompagnée d'altérations physiques et esthétiques des bâtiments

Dans le but de cerner la problématique de notre étude, nous avons procédé à identifier la notion globale sur la pollution de l'air due aux rejets de la cimenterie et à délimiter les principales questions auxquelles nous pensons répondre d'une façon convenable. Nos principales questions seront les suivantes :

- 1- Quels sont les types de polluants générés par la cimenterie Tahar Djaout et quels sont leurs impacts sur la santé des habitants de Hamma Bouziane ?
- 2- De quelle manière ces polluants affectent le patrimoine bâti et l'environnement urbain et quelles sont les conséquences ?
- 3- Comment peut-on éliminer ou réduire au maximum cette pollution en s'inspirant des techniques utilisées dans les cimenteries européennes situées à proximité de zone urbaine et présentant le même type de problème afin de soulager les habitants de la zone environnante de Hamma Bouziane ?

3. Hypothèses

Le souci de traiter des problèmes de la pollution et des nuisances ou l'accroissement des industries a bouleversé l'équilibre entre l'homme et son environnement, nous a conduit à identifier les différents éléments constitutifs de ce phénomène qui porte atteinte à la santé de l'homme et à la dégradation du cadre de vie.

Ce travail de recherche qui essaye de montrer le caractère de plus en plus inquiétant de la dégradation environnementale et de l'intensification de la pollution de l'air nous a conduit à formuler notre hypothèse suivante :

Elle consiste à vérifier que l'abondance des rejets de polluants dans la nature non seulement aggrave le phénomène de la pollution de l'air mais a un impact direct sur la santé des habitants, ainsi que l'environnement. En particulier, examiner l'impact des polluants rejetés par les cimenteries sur ces derniers, afin de protéger l'homme, l'environnement et le cadre bâti.

4. Objectifs de la recherche :

Ce travail a pour principal objectif l'évaluation de la pollution atmosphérique de l'espace de la commune de « Hamma Bouziane » résultant des polluants de la cimenterie « TAHAR DJOUAD » et son impact sur la santé humaine de ses habitants, son cadre bâti et son environnement.

Aussi, cette recherche a pour autre objectif d'apporter des solutions sous forme de recommandations à adopter pour éliminer ou réduire la pollution dans la région en s'inspirant des réussites déjà acquises dans les pays développés et/ou de proposer d'autres volets de recherches pour résoudre ce problème.

5. Méthodologie d'approche

Dans le but de mieux comprendre la pollution atmosphérique et de reconnaître les solutions possibles qui permettent de diminuer ou éliminer cette pollution dans la commune de Hama Bouziane nous allons expliquer l'existence des contraintes auxquelles font face les habitants de cette commune et les causes majeures qui rendent l'impact de ce risque plus grave sur la santé ainsi que sur l'environnement. Enfin, à l'aide d'enquêtes (sanitaire, sociale et environnementale) menées sur place nous identifierons les causes polluantes et essayerons d'apporter les solutions nécessaires.

Pour accomplir cette tâche, nous allons recourir aux approches méthodologiques suivantes :

5.1. Approche conceptuelle

Afin de mieux cerner les points essentiels autour desquels s'articule notre réflexion et saisir les principaux aspects attachés au phénomène de la sauvegarde du cadre bâti et la santé publique nous avons effectué des études conceptuelles et atmosphériques, en se basant sur une vision globale qui permet l'acquisition d'une vision générale sur le sujet. Celle-ci consistait à préparer des multiples définitions, des descriptions et d'explications générales.

Ainsi, les références bibliographiques ont permis de développer les différents concepts qui sont la pollution atmosphérique, les polluants des cimenteries, leurs différents impacts... etc. Il en ressort que la pollution de l'air n'est ainsi pas un phénomène récent mais s'inscrit au contraire sur l'échelle multiséculaire de l'histoire de l'homme et de ses activités. Seule la sensibilité à cette problématique a réellement évolué au fil du temps, devenant aujourd'hui un enjeu de santé publique fortement médiatisé.

5.2. Approche exploratrice

Afin de pouvoir aisément se familiariser avec les diverses idées et concepts se rapportant d'une façon plus ou moins directe au sujet traité et plus particulièrement sur la pollution atmosphérique et ces différents impacts provoqués par la Cimenterie TAHAR DJOUAD, deux méthodes ont été utilisées pour explorer le terrain ; l'observation et l'enquête par les questionnaires :

L'observation : est la méthode la plus utilisée pour comprendre de tels problèmes et comportements. Dans cette recherche nous avons tenu à observer les problèmes de pollution

atmosphérique, les comportements des habitants face à cette pollution, la relation entre effet, impact et pollution. Cette observation est consolidée par la prise de photos de figures et de cartes.

Le questionnaire : est une méthode de recueil d'informations, la plus connue et la plus fréquemment utilisée, qui sert à vérifier les hypothèses émises et mettre en évidence les relations entre deux ou plusieurs variables qui sont opérationnalisées à partir de plusieurs indicateurs.

En général, l'indicateur est une manifestation observable d'un concept, pour le questionnaire cet indicateur se présente par des comportements verbaux, énoncés d'opinions, et d'attitudes.

5.3. Approche interprétative

Dans cette étape de la recherche nous avons essayé d'expliquer comment les meilleures techniques de réduction de polluants dans l'Europe permettent d'obtenir un environnement plus ou moins sain et inoffensif pour les populations habitants près des cimenteries. Avec les résultats obtenus de notre analyse de l'exemple et à travers une interprétation comparative, cette approche nous a permis d'arriver à des conclusions et recommandations.

6. Structure du mémoire

Notre étude se propose d'être le résultat d'un travail d'observation, de lecture, d'interprétation, d'enquête et de prospection. Elle se résume en une réflexion fondamentale autour de plusieurs questions que nous nous sommes toujours posées sur l'impact de la pollution de l'air environnemental et sanitaire d'une manière générale et particulièrement celle due à une cause industrielle telle que la cimenterie.

Le travail de recherche s'effectue autour des points suivants :

- une recherche théorique sur la pollution de l'air, les différents polluants et les différentes sources de pollution d'une manière générale et celle induite par les cimenteries d'une manière particulière, à l'échelle internationale et nationale.
- une investigation sur les conséquences de ce type de pollution sur la santé humaine et le cadre bâti ainsi que les solutions adoptées pour diminuer et dans certains cas éliminer ce type de pollution.
- une enquête sur l'exemple de la cimenterie Tahar Djouad avec identification des polluants dérivant de celle-ci et une étude de leur impact sur l'air de la commune de Hamma bouziane et par conséquent l'étude de l'impact de cet air pollué sur la santé des riverains d'El Hamma et son cadre bâti.

- des recommandations établies en fonction des différentes études effectuées et des résultats obtenus de l'enquête.

Ainsi, après une recherche bibliographique sur la description de cette pollution à travers les sujets (Chapitres I et II), une description des procédés de fabrication et des techniques utilisées pour la réduire (Chapitre III), la présentation détaillée du cas d'étude (chapitre IV), les résultats de ce travail de recherche sont décrits au sein de l'analyse (chapitre V) :

- **Dans le premier chapitre**, on complète l'étude de la pollution de l'air à travers les définitions, et l'identification des différentes sources de cette pollution, aussi par la description des différents polluants et enfin par l'explication des différents impacts sanitaire et environnementale engendrés par cette pollution.
- **Dans le Deuxième chapitre**, on explique les techniques et procédés de fabrication du ciment, on identifie les différentes nuisances et types de polluants engendrés par sa production qui affectent la population ainsi que l'environnement à proximité des cimenteries. Ensuite, on explique l'impact de chacune des nuisances sur la santé humaine, le cadre bâti et l'environnement.
- **Dans le troisième chapitre**, on évalue les différentes techniques ou mesures utilisées pour la réduction des émissions des cimenteries actives en Europe afin de prendre connaissances de ces techniques et les comparer avec celles utilisées dans la cimenterie du cas d'étude.
- **Dans le quatrième chapitre**, on s'intéresse à la présentation de la cimenterie Djouad Tahar de Hamma Bouziane : procédés de fabrication et émissions. On présente le cas d'étude dans ses détails, l'implantation dans le site, les procédés de fabrication du ciment, les différents niveaux d'émissions de polluants, ainsi que les moyens de réduction utilisés à tous les niveaux.
- **Dans le cinquième chapitre**, on termine par une analyse exhaustive ou on explique les résultats de ce travail de recherche, en se basant sur les enquêtes menées, sans oublier les interprétations et recommandations afin d'assurer la réduction parfaite des émissions des polluants.
- **Enfin, dans les conclusions et recommandations**, on synthétise le travail par des résultats obtenus des investigations et qui permettent de proposer des solutions aux échelles locale et nationale.

I.1. Introduction

L'air demeure un élément fondamental et indispensable pour les êtres vivants. Ainsi, chaque jour, nous inspirons environ 20m³ d'air. Celui-ci est composé de 99% de deux gaz (azote 78%, oxygène 21%), le dernier pourcentage étant un mélange d'une multitude de substances très diverses (gaz carbonique, gaz rares, composés organiques...). La présence et la concentration de ces derniers sont telles que la vie est possible, ce qui reste pour l'instant un cas unique dans l'ensemble des planètes connues.

Ce premier chapitre a pour objectif de synthétiser toutes les connaissances acquises sur la pollution atmosphérique qui ont été développées par plusieurs auteurs en expliquant d'une manière générale le phénomène de la pollution de l'air.

Ce chapitre se scinde en quatre parties avec :

- une étude de la pollution de l'air à travers les définitions,
- une identification des différentes sources de cette pollution atmosphérique,
- une investigation des différents polluants,
- enfin une explication d'impacts sanitaire et environnementale engendrés par cette pollution.

I.2. Définitions

L'air : Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions : « l'air est un mélange gazeux constituant l'atmosphère terrestre ». (Ramade, 2000, p. 13)

L'air ambiant : « un terme désignant l'état physicochimique de l'air se trouvant au niveau du sol dans une zone donnée ou encore celui qui est propre à des locaux d'habitations ou professionnels ». (Ramade, 2000, p.13)

L'atmosphère : Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions : « l'atmosphère est une couche la plus extérieure de la planète, de nature gazeuse, constituant donc la partie la plus extérieure de l'écosphère, et dont la présence constitue l'agent moteur du cycle de l'eau, on appelle « atmosphère réduite » une atmosphère théorique dont la pression serait uniforme et égale à sa valeur normale au niveau du sol, dans une telle hypothèse, l'atmosphère toute entière aurait une épaisseur de 8 km, alors que l'épaisseur de l'atmosphère réelle excède 1000 km ». (Ramade, 2000, pp. 33)

La pollution : Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions ; « fort utilisé de nos jours le terme de pollution recouvre bien des acceptions et qualifie une multitude d'actions qui dégradent l'environnement, ce vocable désigne sans aucune ambiguïté les effets de l'ensemble des

composés toxiques libérés par l'homme dans la biosphère. A l'opposé, son emploi paraît moins évident au profane lorsqu'il concerne des substances inoffensives pour les êtres vivants parfois même favorables à ces derniers mais qui peuvent exercer une action perturbatrice dans les écosystèmes pollués du fait de leur trop grande concentration, tel est par exemple le cas du gaz carbonique (CO₂) rejeté dans l'atmosphère par suite des combustions ou encore des phosphates contenus dans les détergents qui sont déversés avec les effluents urbains dans les eaux continentales ».

- La définition la plus générale du terme de pollution a été donnée par le premier rapport du conseil sur la qualité de l'environnement de la maison blanche (1965) « la pollution » dit ce rapport « est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers des effets directes ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau et en produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède ou les possibilités récréatives du milieu »

Par conséquent, une définition plus restrictive de ce terme a été donnée : « constitue une pollution toute modification du flux de l'énergie, de l'intensité des rayonnements, de la concentration des constituants chimiques naturels ou encore l'introduction dans la biosphère de substances chimiques artificielles produites par l'homme » (Ramade, 2000, p. 428)

La pollution atmosphérique : Plusieurs définitions ont été développées pour expliquer la pollution de l'atmosphère, on cite parmi elles :

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

- Le Conseil de l'Europe dans sa déclaration de mars 1968 proposa la définition suivante : « il y a pollution atmosphérique lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses composants est susceptible de provoquer un effet nocif, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer une nuisance ou une gêne ».

- Selon wikipedia, « la pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est un type de pollution défini par une altération de la pureté de l'air, par une ou plusieurs substances ou particules présentes à des concentrations et durant des temps suffisants pour créer un effet toxique ou écotoxique ».

- Au sens de la Loi Française n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement, On entend par pollution de l'atmosphère, « l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumées ou de particules solides ou liquides, corrosives, toxiques ou odorantes, de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique ou à nuire aux végétaux, à la production agricole et aux produits agroalimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractère des sites ».

- La pollution est définie par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme étant « la présence dans l'atmosphère de substances étrangères à la composition normale de cette atmosphère et à des concentrations suffisamment élevées pour entraîner un impact sur l'homme, les animaux, les végétaux, les matériaux ou l'environnement d'une manière générale ».

- Pacyna et Graedel définissent la pollution de l'air comme « la résultante de multiples facteurs : croissance de la consommation d'énergie, développement des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels, etc. » (Pacyna, 1984, p.18 ; Pacyna et Graedel, 1995, p.20).

Plus spécifiquement, la pollution atmosphérique peut être définie comme 'la présence de substances dans l'atmosphère, résultantes des activités synthétiques ou des processus naturels, entraînant des effets nuisibles pour l'homme et pour l'environnement'. La pollution atmosphérique est un terme employé pour décrire tous les produits chimiques non désirés ou d'autres matériaux qui contaminent l'air que nous respirons ayant pour résultat la dégradation de la qualité de l'air.

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

I.3. Les sources de la pollution atmosphérique

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les

sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé, les écosystèmes, etc. (Lacour, 2001, p.11)

La grande majorité des polluants, gaz ou particules proviennent de l'utilisation des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) qui, à eux seuls, comblent environ 80 % des besoins énergétiques mondiaux. Ces combustibles sont surtout utilisés pour le transport, l'industrie, le chauffage et dans les centrales thermiques de production d'électricité. Ils se concentrent, en majorité, en milieu urbain. Il faut aussi noter que dans plusieurs grandes villes, le chauffage au bois est une source très importante de pollution atmosphérique.

La provenance et la concentration des polluants varient d'un endroit à l'autre en fonction de la densité de la population, du type d'industries, des normes environnementales en vigueur, etc. Dans un même quartier et selon l'heure ou la saison, on peut aussi observer des différences importantes. Ainsi, les taux de pollution sont souvent plus élevés aux abords des grandes artères routières ou des industries, et les taux élevés d'ozone s'observent presque seulement en été. Il faut aussi se rappeler que l'ozone peut se retrouver jusqu'à 800 km plus loin que son point d'origine.

La pollution émane donc de sources variées qui rejettent **des polluants dits primaires**. Puis, au contact les uns des autres, par synergie et réactions chimiques avec d'autres composants de l'atmosphère, ces "précurseurs" engendrent **des polluants dits secondaires**, même à forte dilution, qui sont très toxiques.

A titre d'exemple : "l'anhydride sulfureux (SO_2) va s'oxyder dans l'air en SO_3 , lequel, à son tour, donnera, avec la vapeur d'eau, de l'acide sulfurique. Il contribuera ainsi, de façon déterminante, avec l'acide nitrique formé à partir des oxydes d'azote, à l'apparition du phénomène des pluies acides, véritable fléau qui sévit dans les pays industrialisés." (Encyclopædia Universalis, 1998).

Avec l'avènement de nos civilisations modernes, les quantités de substances diverses rejetées dans l'atmosphère, altérant la composition normale de l'air, n'ont cessé d'augmenter. Or, ces substances peuvent avoir des origines très variées. Elles peuvent être émises naturellement par la végétation, les océans, les volcans, l'érosion éolienne, etc. (phénomènes non contrôlables) et elles sont aussi le résultat des activités humaines qui sont en perpétuel développement.

I.3.1. Pollution d'origine naturelle

Il y a beaucoup de sources naturelles de pollution qui sont souvent beaucoup plus grandes que leurs équivalents synthétiques, à savoir :

- Les sources normales de **dioxyde de soufre** incluent les dégagements des volcans, de la décomposition biologique et les feux de forêts. Il est difficile de mesurer les quantités exactes libérées des sources naturelles dans le monde. En 1983 le Programme d'Environnement des Nations Unies a estimé une figure entre 80 millions et 288 millions de tonnes d'oxydes de soufre par an (comparé à environ 79 millions de tonnes provenant des sources humaines dans le monde).

- Les sources naturelles d'**oxydes d'azote** incluent les volcans, les océans, la décomposition biologique et les éclairs. Les estimations varient entre 20 et 90 millions de tonnes par an d'oxyde d'azote libérés par les sources naturelles (comparées à environ 22 millions de tonnes de sources humaines dans le monde entier).

- **L'ozone** est un polluant photochimique secondaire formé au niveau du sol à cause de réactions chimiques avec le soleil. Cependant, environ 10 à 15% de l'ozone qui se trouve au niveau du sol, est transporté vers l'atmosphère supérieure (appelée la stratosphère), où il est formée par l'action des radiations venant des ultraviolet (UV) sur l'oxygène ; la couche d'ozone.

- Les sources naturelles de **particules en suspension** sont moins importantes que les sources synthétiques. Celles-ci incluent les volcans et les orages de poussière. Cependant, de telles sources expliquent certains épisodes de pollution où le taux de particules en suspension est très élevé, se produisant sur des échelles de temps relativement courts. Il arrive que de la poussière du Sahara soit déposée au Royaume-Uni après avoir été soufflée par le vent sur plusieurs milliers de kilomètre.

- Les **composés organiques volatils** (COVs) sont naturellement produits par les plantes et les arbres. L'isoprène est un COV commun émis par la végétation, et certains pensent qu'il pourrait avoir un impact plus important sur les crises d'asthme et d'autres réactions allergiques que les irritants synthétiques. Les plantes, l'herbe et les arbres sont également une source de pollen, qui peut déclencher des crises chez certains asthmatiques. Le pollen se trouve dans l'air toute l'année, mais la concentration est plus importante pendant la période de croissance des plantes, à partir de mars jusqu'aux premières gelées en automne.

I.3.2. Pollution d'origine anthropique : On peut dire que la quasi totalité des activités humaines est une source de pollution de l'air, qui apparaît essentiellement sous deux formes de substances polluantes :

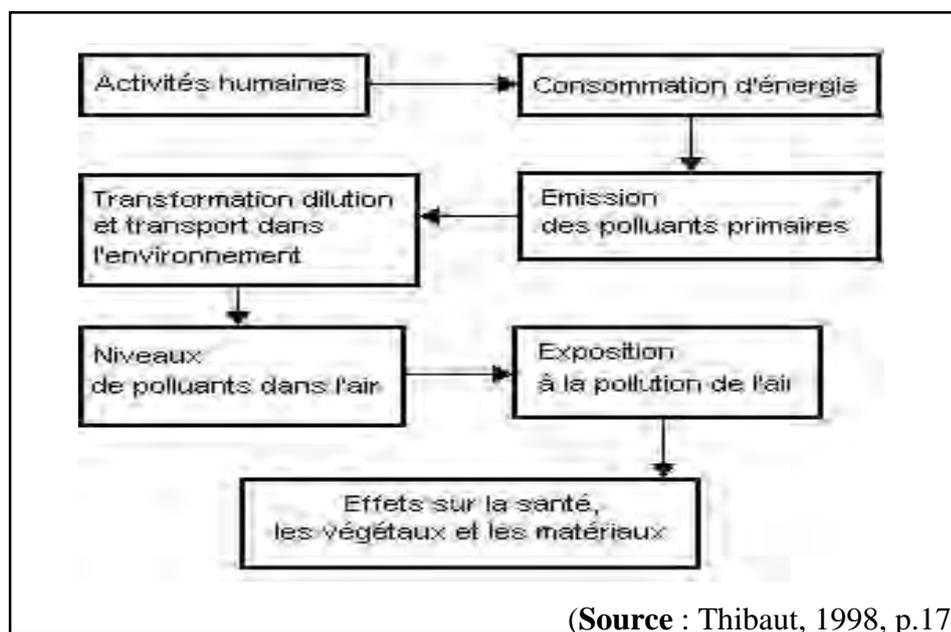
- Gazeuse : présence de gaz nouveaux ou augmentation de la proportion d'un gaz existant naturellement,

- Solide : mise en suspension de particules (poussière, fumées).

On estime que les gaz représentent 90 % des masses globales de polluants rejetées dans l'air et les particules les 10% restants. (Encyclopædia Universalis, 1998.)

Les principales sources sont les installations de combustion et les procédés industriels tels que extractions de minéraux, cimenterie, aciérie, fonderie, verrerie, plâtrière, chimie fine, etc. Les émissions de poussière ont très fortement diminué depuis 20 ans. Les particules solides servent de vecteurs à différentes substances toxiques voire cancérigènes ou mutagènes (métaux lourds, HAP,...) et restent de ce fait un sujet important de préoccupation. (CITEPA)

Ce phénomène de pollution atmosphérique reste donc complexe et ce schéma I.1 résume l'ensemble des paramètres et processus qui y concourent



Les activités humaines les plus significatives, dans la contribution à la pollution de l'air, sont les suivantes :

I.3.2.1. La production d'énergie thermique

Au niveau individuel ou tertiaire (chauffage des logements et des bureaux) comme au niveau industriel (production de vapeur ou d'électricité), la combustion de combustibles fossiles (charbon, fioul lourd, etc.) produit d'importantes émissions polluantes. Le dioxyde de carbone (CO₂), produit inévitable de la combustion des matières organiques dont la concentration croissante dans l'atmosphère contribue à l'effet de serre, le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), les poussières, les métaux lourds, etc. sont concernés.

I.3.2.2. L'industrie

L'industrie est à l'origine des émissions spécifiques dues aux processus de traitement ou de fabrication employés. En quantités variables, selon les secteurs industriels, elle est émettrice de monoxyde et de dioxyde de carbone, de dioxyde de soufre, d'oxyde d'azote, de poussière, de composés organiques volatils (COV), de métaux lourds, etc.

La fabrication de la plupart des articles domestiques dans le monde entraîne la libération de substances chimiques toxiques, dans l'atmosphère. C'est le cas, notamment pour la fabrication des ciments. Selon les cas et les pays, les entreprises sont contrôlées et/ou doivent produire des autocontrôles ou évaluation de leurs émissions polluantes. En Europe, certaines données sont obligatoirement publiques et transmises à un registre européen des rejets et des transferts de polluants, traduit en France par l'Arrêté du 31 janvier 2008 et un registre national ; le sol, l'eau et l'air doivent être pris en compte, pour les entreprises produisant des produits dangereux produits à plus 2 t/an, et de déchets non dangereux à plus de 2 000 t/an. Le 13 mars 2008, une circulaire a ajouté 22 polluants de l'air et 22 de l'eau à l'ancienne liste des substances.

L'expansion extraordinaire qu'a connue l'industrie au cours des dernières décennies se traduit par la mise en circulation dans la biosphère d'innombrables composés minéraux ou organiques de toxicité souvent élevée. La métallurgie et l'électronique recourent de plus en plus à des métaux et métalloïdes exotiques qui ne se rencontrent qu'à l'état de traces ou ne figurent pas dans les constituants normaux de la matière vivante : Mercure, Cadmium, Niobium, Arsenic, Antimoine, Vanadium, Sélénium, Europium, etc., sont aujourd'hui employés couramment dans diverses branches industrielles.

En France, l'industrie produit chaque année 30 millions de tonnes de déchets divers. Aux États-Unis, où les problèmes de pollution atteignent aujourd'hui des dimensions catastrophiques, inégalées partout ailleurs sauf peut-être en Europe dite de l'Est, il se rejette chaque année 140 millions de tonnes d'ordures ménagères lesquelles renferment divers métaux lourds et autres résidus toxiques. (Ait-ali L & Labii A, 2010, p.16)

I.3.2.3. Les transports et l'automobile

La pollution due aux transports a longtemps été considérée comme un problème de proximité, essentiellement perçue dans les villes en raison de la densité du trafic. Aujourd'hui, on sait que les transports, essentiellement routiers et en particulier l'automobile, sont une source de pollution importante. Les moteurs à explosion sont ainsi de très loin la première cause d'émissions d'oxydes d'azote et de divers hydrocarbures. Les moteurs diesels, moins polluants pour ce qui concerne ce dernier type d'émissions, sont en revanche à l'origine de particules et de dioxyde de

soufre. La contribution des transports à la pollution ne cesse de s'accroître du fait de l'augmentation du trafic directement liée à l'évolution économique, en dépit des nombreux progrès technologiques réalisés au cours des dernières années.

Le poids de l'opinion publique peut certes jouer avec autant de force sur les grands choix de sociétés relatifs aux transports (modification des habitudes de déplacement , développement des transports collectifs ...etc.) mais rien n'est moins sûr car les rapports entre citoyens et thèmes environnementaux sont ambigus, tant qu'il s'agit de développer des idées nobles et généreuses à l'échelle de la planète le consensus environnemental est fort, par contre dès que les propositions écologistes touchent aux intérêts financiers et aux modes de vie auxquels sont attachés les citoyens le soutien disparaît (Subra, 2001, p.159) .

I.3.2.4. Les déchets

Les déchets sont considérés comme l'une des plus grandes sources de pollution. Qu'ils soient abandonnés dans une décharge ou incinérés, par leur décomposition ils sont producteurs de plusieurs polluants, tels que le méthane, l'acide chlorhydrique, les métaux lourds, les dioxines et les furanes.

I.3.2.5. Les activités agricoles

L'agriculture contribue également à la pollution atmosphérique. Ses émissions (essentiellement l'ammoniac, le méthane, le protoxyde d'azote, le monoxyde de carbone et les produits phytosanitaires) sont liées à la décomposition des matières organiques et à l'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires.

Les sources domestiques de pollution atmosphérique sont également nombreuses et impliquent une responsabilité de la société vis-à-vis de la salubrité des locaux.

I.4. Les polluants de l'air

Les polluants atmosphériques se produisent dehors ou dans les logements, et peuvent être naturels ou synthétiques. La pollution atmosphérique à l'extérieur, parfois appelée la pollution atmosphérique ambiante, se produit dans des zones urbaines et rurales, bien qu'un mélange différent des polluants atmosphériques puisse être trouvé dans la campagne comparé à celui trouvé dans une ville. Les polluants atmosphériques urbains typiques venant des activités de l'homme incluent les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone, le dioxyde de soufre, les hydrocarbures et les particules en suspension. Tous ces polluants s'appellent des polluants primaires parce qu'ils sont émis directement dans l'atmosphère. Les sources communes de ces polluants primaires incluent les centrales électriques et les usines industrielles (dioxyde de

soufre), et les transports routiers (monoxyde de carbone, particules en suspension et oxydes d'azote). L'ozone est un polluant secondaire, formé dans le ciel en raison de réactions chimiques. Tandis que l'ozone s'accumule dans les villes les jours chauds d'été, des niveaux plus élevés sont habituellement trouvés dans la campagne, en raison de la nature spéciale des réactions impliquant la formation de celui-ci.

Les polluants atmosphériques communs dans les logements incluent le monoxyde de carbone et le dioxyde d'azote provenant des radiateurs et des cuisinières à gaz défectueux, le monoxyde de carbone et le benzène provenant de la fumée de cigarette, et les composés organiques volatils (COV) provenant d'ameublement, de plancher en vinyle et de peintures synthétiques. En outre, il y a des polluants biologiques tels que les acariens et les moisissures. Puisque la plupart d'entre nous utilisent 80 à 90% de notre temps à l'intérieur, la qualité de l'air pourrait avoir un vrai impact sur notre santé.

I.4.1. Composition de l'atmosphère

L'atmosphère actuelle est composée essentiellement d'azote (78,01% en volume) et d'oxygène (20,95%) elle renferme en outre un nombre élevé de gaz traces dont les plus importants sont l'argon (0,93%) et le CO₂ (360 ppm) (voir tableau I.1). L'eau atmosphérique se présente à la fois à l'état de vapeur et d'aérosol ; fines gouttelettes de diamètre inférieur ou égale à 20 unités constituant les brouillards et les nuages. (Ramade, 2000, p.33)

Tableau I.1 : Composition de l'atmosphère

COMPOSITION DE L'ATMOSPHERE		
constituants	Pourcentage en volume	Pourcentage en masse
Azote	78,01	75,53
Oxygène	20,95	23,14
Argon	0,93	1,28
Gaz carbonique (CO ₂)	0,036	0,051
Néon	1,8. 10 ⁻³	1,25. 10 ⁻³
Hélium	5,24. 10 ⁻⁴	5,24. 10 ⁻⁴
Méthane	1,7. 10 ⁻⁴	9,41. 10 ⁻⁴
Krypton	1,14. 10 ⁻⁴	3,3. 10 ⁻⁴
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	5. 10 ⁻⁵	7,6. 10 ⁻⁵

(Source : Ramade, 2000, p. 33)

I.4.2. Identification des polluants de l'air

Selon le dictionnaire encyclopédique des pollutions ; les polluants de l'air « sont des substances gazeuses ou particulaires introduites par les activités humaines dans l'atmosphère ou naturellement présentes dans cette dernière mais dont la concentration est accrue par suite de diverses sources technologiques ». (Ramade, 2000, p. 13)

Il existe un grand nombre de polluants atmosphériques ces derniers peuvent être classés en deux grands groupes : les effluents gazeux et les particules. (voir tableau I.2) (Ramade, 2000, p. 424)

L'ensemble des sources de pollution de l'air émet vers l'atmosphère des composés sous forme gazeuse ou particulaire avec des tailles et des compositions variables suivant leurs origines. Ainsi, les émissions gazeuses concernent principalement des composés sous forme d'oxydes tels que les oxydes de carbone ou d'azote ou encore les dioxydes de carbone, d'azote ou de soufre. Les particules sont, quant à elles, principalement formées de composés minéraux tels que les métaux, les sels, les nitrates, les sulfates et de composés organiques tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les hydrocarbures aliphatiques, ou les dioxines. La nature dynamique de l'atmosphère favorise ensuite le transport de ces éléments et composés à différentes échelles spatiales et temporelles.

I.4.3. Les polluants gazeux

Quatre gaz sont les principaux responsables de la pollution :

- **L'ozone (O₃)** : le bon et le mauvais. La couche d'ozone, située à haute altitude dans la stratosphère à 30 km au-dessus du sol, est vitale car elle filtre les rayons ultraviolets. C'est le bon ozone. Le mauvais ozone se trouve dans la basse atmosphère : la troposphère située entre le sol et 15 km d'altitude. C'est alors un polluant issu de transformations chimiques dans l'air entre les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (solvants...). Ces réactions sont fortement stimulées par le rayonnement solaire. L'ozone a des effets sur la santé, les végétaux, les matériaux et le climat (c'est un gaz à effet de serre).

- **Le dioxyde d'azote (NO₂)** :

Oxyde d'azote : Famille des oxydes d'azote couramment regroupé sous la formule NO_x et comprenant les composés suivants : le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO₂), le protoxyde d'azote (N₂O), le tétraoxyde d'azote (N₂O₄), le trioxyde d'azote (N₂O₃). Oxydes d'azote (NO_x) est un terme générique pour monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO₂). Les NO_x sont formés avant tout lors des processus de combustion à haute température (véhicules, installations industrielles, chauffages). Ils sont émis en grande partie sous forme de NO, qui sera

oxydé en NO_2 . Le NO_2 est alors transformé en acide nitrique et en nitrate. Ces composés se déposeront alors sous forme de pluies acides ou de dépôts secs.

A la lumière solaire, le NO_2 peut également se scinder en NO et en oxygène atomique (O), qui réagira alors avec l'oxygène de l'air (O_2) pour donner de l'ozone (O_3). Comme l'ozone réoxyde le NO , il s'ensuit un équilibre entre les diverses réactions

Le dioxyde d'azote est un composé chimique de formule NO_2 . Il s'agit d'un gaz brun-rouge toxique suffocant à l'odeur âcre et piquante caractéristique. C'est un précurseur de la production industrielle de l'acide nitrique HNO_3 et un polluant majeur de l'atmosphère terrestre produit par les moteurs à combustion interne et les centrales thermiques ; il est responsable à ce titre de la présence d'acide nitrique dans les pluies acides, où ce dernier se forme par hydratation du NO_2 .

- **Le dioxyde de soufre (SO_2)**: Composé d'un atome de soufre et de deux atomes d'oxygène, le SO_2 est un gaz incolore, d'odeur piquante très irritante, plus lourd que l'air. Il est hydrosoluble et donne par réaction avec la vapeur d'eau l'acide sulfurique.

Le dioxyde de soufre ou anhydride sulfureux est le plus abondant des composés soufrés. Il provient de la combustion des combustibles fossiles (charbons, fiouls) au cours de laquelle les impuretés soufrées sont oxydées par l'oxygène de l'air en SO_2 . Ce polluant est émis par des sources mobiles et des procédés industriels (fabrication de l'acide sulfurique et des plastiques, raffinage du pétrole, grillage et frittage de minerais sulfureux tels que blende, galène, pyrites, etc.). Globalement, on peut considérer que la production thermique est le principal responsable des émissions de dioxyde de soufre dans l'atmosphère. Ainsi, la combustion d'une tonne de fuel lourd de qualité moyenne est à l'origine d'une émission d'environ 50 kg de dioxyde de soufre.

- **Le monoxyde de carbone (CO)** : C'est un gaz combustible, détonnant à faible concentration, particulièrement sournois, toxique et très dangereux par ses effets irréversibles (Il détruit les cellules nerveuses de façon irrémédiable pouvant être mortel suivant la concentration et l'activité soutenue durant le temps d'inhalation).

I.4.4. Les polluants particulaires

Ce sont des polluants chimiques comme les **métaux lourds** et les **composés organiques volatils** (COV) qui comprennent des produits nocifs tels le benzène et les **hydrocarbures aromatiques polycycliques** (HAP).

Le terme "particules" est une expression générique qui désigne des polluants dont les propriétés physico-chimiques sont différentes. Ce terme se rapporte, en quelque sorte, à la "taille" des polluants plus qu'à leur nature. Sauf les particules fibreuses (exemple : l'amiante), le diamètre attribué aux particules est le diamètre qu'aurait une sphère de comportement aérodynamique

équivalent. Les poussières sont des particules solides inférieures à 75 µm (microns) ce sont essentiellement des cendres, des stériles et des imbrûlés.

- **Les particules** respirables (aussi appelées particules fines ou ultrafines) désignent un mélange hétérogène de particules solides et liquides en suspension dans l'air. Elles sont classées en deux catégories selon leur grosseur plutôt que leur composition. Plus elles sont petites, plus elles peuvent être toxiques parce qu'elles pénètrent alors plus profondément dans le système respiratoire et peuvent même atteindre le système cardiovasculaire. On les nomme communément **PM**, l'abréviation du terme anglais *particulate matter*, qui désigne **poussière** en français. On a :

- PM₁₀ (d'un diamètre inférieur à 10 micromètres). À noter qu'un cheveu humain est de 50 à 150 micromètres de diamètre.

- PM_{2,5} (moins de 2,5 micromètres) les plus toxiques.

D'après les experts, il est relativement difficile de savoir quel polluant en particulier peut être responsable d'un problème spécifique de santé. En effet, la plupart du temps, les polluants, peu importe leur provenance, se présentent sous la forme d'un cocktail composé de nombreux éléments qui agiraient en synergie. Ainsi, les études épidémiologiques portent souvent sur les différents effets néfastes d'une pollution « combinée ». On estime généralement l'intensité de cette pollution en évaluant la concentration d'un ou de deux des polluants principaux, qui servent alors de marqueurs, plutôt que de mesurer systématiquement chacun des éléments.

- **Les métaux lourds** : Les métaux sont des minéraux. Les métaux "lourds" sont ainsi qualifiés du fait de leur densité élevée. Les principaux métaux lourds sont le plomb, le cadmium, le mercure, l'arsenic et dans une moindre mesure, le chrome et le nickel. Ils sont dangereux pour l'environnement car ils ne sont pas dégradables. Les métaux lourds ont diverses origines : les roches du sol (arsenic, plomb...) la pollution atmosphérique (plomb, cadmium...), les engrais (cadmium, plomb, arsenic...), les boues urbaines (mercure, plomb, cadmium...).

Les métaux lourds peuvent être absorbés directement par le biais de la chaîne alimentaire entraînant alors des effets chroniques ou aigus :

- * Ils remplacent ou substituent les minéraux essentiels.
- * Ils changent notre code génétique.
- * Ils produisent des radicaux libres.
- * Ils neutralisent les acides aminés utilisés pour la détoxification.
- * Ils causent des allergies.
- * Ils endommagent les cellules nerveuses.

Tableau I.2 : Nature et origine des polluants

Nature et origine des principales substances pollutant l'atmosphère		
Types de polluants atmosphériques	Nature du polluant	Source d'émission
Gazeux	CO ₂	Volcanisme, respiration des êtres vivants, combustibles fossiles, feux de végétation, déforestation.
	CO (oxyde de carbone)	Moteurs à explosion, combustions incomplètes, feux de végétation, bactéries, océan.
	Hydrocarbures	Moteurs à explosion, foyers au fuel ou au charbon industries chimiques
	Composés organiques	Incinération d'ordures, combustions diverses, volcanisme.
	SO ₂ et d'autres dérivés gazeux du soufre	Volcanisme, embruns, marins, bactéries, combustions
	NO _x et d'autres dérivés gazeux de l'azote	Combustions, moteurs à explosion, industrie nucléaire.
	Radionucléides	Essais atmosphériques d'armes atomiques
Particulaires	Métaux composés minéraux	Volcanisme-météorites, érosion éolienne-embruns marins, combustions, moteurs à explosion, métallurgie et diverses industries.
	Carbonées (particules)	Incendies de végétation, combustion de charbon et fuel, moteurs diesel.
	Composés organiques naturels et de synthèse	Incendies de végétation, industrie chimique Combustion de charbon et fuel, moteurs diesel, incinérateurs d'ordures, solvants, pesticides.
	Radionucléides	Industrie nucléaire, essais atmosphériques d'armes atomiques.

(Source : Ramade, 2000, p. 425)

- **Les composés organiques volatils (COV) :** Les composés organiques volatils ou les COV sont des produits chimiques organiques qui se vaporisent facilement à la température ambiante. Ils s'appellent organiques parce qu'ils contiennent l'élément carbone dans leurs structures moléculaires. Les COV n'ont aucune couleur, odeur, ou goût. Ils incluent un éventail très large de différentes substances, telles que les hydrocarbures (par exemple benzène et toluène) et des halocarbures.

La famille des composés organiques volatils regroupe plusieurs milliers de composés (hydrocarbures, solvants, ...) aux caractéristiques très variables. Ils interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère et participent donc au réchauffement de la planète. Les Composés Organiques Volatils (COV) entrent dans la composition des carburants mais aussi de nombreux produits courants: peintures, encres, colles, détachants, cosmétiques, solvants...pour des usages ménagers, professionnels ou industriels (pour ces raisons, leur présence dans l'air intérieur peut aussi être importante). Ils sont émis lors de la combustion de combustibles (notamment dans les gaz d'échappement), ou par évaporation lors de leur fabrication, de leur stockage ou de leur utilisation. Les COV sont émis également par le milieu naturel (végétation méditerranéenne par exemple) et certaines aires cultivées. Ils ont un impact direct sur la santé (certains sont toxiques ou cancérigènes).

I.5. Les effets de la pollution de l'air

L'air est indispensable à la vie, mais il peut avoir des effets nocifs si sa qualité est mauvaise. Sa pollution constitue un danger immédiat pour la santé, mais a également un effet qui s'amplifie au fil des années. Les personnes les plus sensibles, comme les enfants, les personnes âgées, les grands fumeurs, les malades du cœur ou des poumons, sont les plus concernées par la pollution atmosphérique. Pour celles-ci, la pollution peut favoriser des maladies, en aggraver certaines, et parfois même précipiter les décès.

Les effets de la pollution de l'air sur la santé augmentent en fonction des concentrations des substances polluantes dans l'air et de la durée d'exposition.

La réglementation définit, pour certains indicateurs de la pollution, des concentrations de références pour guider l'action des pouvoirs publics. Il s'agit des valeurs limites et des seuils d'alerte.

La plupart des études épidémiologiques portant sur les effets de l'exposition aux contaminants de l'air peuvent être catégorisées selon deux grands types de design de recherche :

1) les études de séries temporelles fournissent des renseignements sur les effets aigus (effets à court terme) et,

2) les études de cohortes donnent des renseignements relatifs aux effets chroniques (effets à long terme).

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'estimation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique devrait inclure les effets aigus et les effets chroniques (Organisation mondiale de la santé, 2000). Les études épidémiologiques montrant une association entre les concentrations ambiantes de contaminants et une augmentation de la mortalité, n'ont pas déterminé de seuil, c'est-à-dire une concentration minimale en deçà de laquelle il n'y aurait pas d'effet significatif. Il apparaît que la relation entre les concentrations de contaminants et les effets sur la santé est linéaire (Health Effects Institute, 2000, p.52).

I.5.1. Effets sur la santé

Les polluants peuvent agir à différents niveaux du corps humain : (voir tableau I.3)

- au niveau de la peau : c'est le cas notamment des vapeurs irritantes et des phénomènes d'allergies,
- au niveau des muqueuses,
- au niveau des alvéoles pulmonaires. Les polluants se dissolvent et passent dans le sang ou dans les liquides superficiels, et au niveau des organes - Certains toxiques véhiculés par le sang peuvent s'accumuler dans des organes.

Tableau I.3 : effets et conséquences des polluants sur la santé

Origine	Conséquences	Effets sur la santé
<p>Oxydes d'azotes (NO_x) Le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂) sont principalement produits par les transports et les centrales thermiques.</p>	Formation d'ozone dans la basse atmosphère et favorise les pluies acides.	Puissant irritant des voies respiratoires en s'infiltrant jusque dans les alvéoles. Au niveau des bronches, il favorise les infections bactériennes chez les enfants et une hyperactivité chez les asthmatiques.
<p>Dioxyde de soufre (SO₂) Provient de la combustion du fuel, charbon et diesel.</p>	Contribue au phénomène des pluies acides.	gaz irritant avec effets bronchoconstricteurs et essoufflement chez les asthmatiques. Toux et gêne respiratoire chez l'adulte. Altération des fonctions respiratoires chez l'enfant.
<p>Monoxyde de carbone (CO) Produit par les moteurs à essence</p>	Formation d'ozone dans la basse atmosphère.	Liaison irréversible sur l'hémoglobine. Baisse de l'oxygénation.

et la circulation routière.		
Particules en suspension (Ps) Produits de combustion industrielle, chauffage et incinération de déchets. Les particules les plus fines sont émises par les moteurs diesel.	Salissure des surfaces pour les plus grosses et transport de composés toxiques (sulfates, métaux lourds, hydrocarbures) par les plus fines.	Très dangereuses même à de faibles concentrations. Altération de la fonction respiratoire chez l'enfant. Propriétés cancérigènes pour les composés émis par les moteurs diesel.
Ozone (O₃) Produit dans la basse atmosphère par interaction entre les ultraviolets et les gaz tels que CO, SO ₂ , NO _x , COV et hydrocarbures.	Forte dégradation de la qualité de l'air, pluies acides et effet de serre.	Atteint facilement les alvéoles pulmonaires, toux, altération pulmonaire surtout chez l'enfant et l'asthmatique. Effets aggravés par l'exercice physique.
Composés organiques volatils (COV) Proviennent des hydrocarbures (benzène, 1-3butadiène) émis dans les gaz d'échappement et des solvants.	Formation d'ozone dans la basse atmosphère.	Irritants pour les yeux, gorge, nez, poumons. Capacité respiratoire diminuée. Risques d'effets cancérigènes.
Plomb (Pb) Provient des hydrocarbures plombés.		Modifie la composition du sang en gênant la fabrication de l'hémoglobine.

Les polluants peuvent avoir des effets selon diverses échelles :

- effets immédiats, tels que ceux observés lors des accidents historiques,
- effets à brève échéance,
- effets à long terme, constatés après une exposition chronique, à des concentrations qui peuvent être très faibles.

I.5.2. Effets sur le cadre bâti

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. La pollution atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façades ou de restauration des monuments.

I.5.3. Effets sur l'environnement

D'après Kalaora « L'environnement s'inscrit d'abord dans une logique de rationalisation administrative et non dans une logique de participation et de communication écologique » (Kalaora, 1998, p.105)

L'effet de la pollution atmosphérique sur l'environnement est divers, par exemple les arbres vivent et dépérissent pour des causes naturelles très variées ne serait-ce que l'âge. Le dépérissement soudain constaté surtout depuis 1980 semble relever de causes tout à fait inhabituelles. Les responsables considèrent que la pollution atmosphérique est l'un des nombreux éléments participant aux dépérissements forestiers. En France, le programme DEFORPA (dépérissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique) ainsi que des recherches en laboratoires, ont montré que les causes du dépérissement forestier sont très complexes telles que les sols de mauvaise qualité, sécheresse anormale, présence de polluants dans l'atmosphère principalement la pollution acide et l'ozone.

I.5.4. Effets sur les écosystèmes d'eau douce

L'acidification des lacs et des cours d'eau entraîne une destruction parfois irréversible de la vie aquatique. La baisse du pH provoque la mise en solution de métaux contenus naturellement dans le sol, comme l'aluminium toxique à l'état dissous pour presque la totalité des organismes vivants.

I.5.5. Les effets de l'appauvrissement de la couche d'ozone

La diminution de la couche d'ozone représente un redoutable problème environnemental. L'amincissement de cette couche protectrice accroît, à la surface de la Terre, le rayonnement des ultraviolets causant les coups de soleil. Il a été prouvé que l'exposition à ces rayons ultraviolets a des effets importants sur notre environnement. Elle peut causer la détérioration de l'écosystème aquatique, réduire le rendement des cultures agricoles et être néfaste pour les forêts. L'exposition aux rayons UV est nuisible pour la santé humaine car elle endommage les yeux, elle diminue l'efficacité de notre système de défense immunitaire et peut provoquer l'apparition du cancer de la peau.

C'est pourquoi, en France, la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie est à l'origine de trois plans régionaux :

- le plan régional pour la qualité de l'air présenté en 1999 (PRQA).
- le plan de protection de l'atmosphère (PPA).
- le plan de déplacement urbain (PDU) présenté en 1999, actuellement en révision

Chacun de ces plans tente d'exposer et de mieux comprendre les composantes de la pollution atmosphérique afin d'y remédier suivant des objectifs propres par des propositions et des décisions. Ainsi, "pour être durable, la ville se doit de conjuguer densité urbaine et circulation douce, qualité urbanistique et transport en commun."

I.6. Législations et recommandations des émissions de polluants

I.6.1. Recommandations européenne

Les limites de concentration dans l'air ambiant de certains polluants (SO₂, Poussières, NO₂, Pb, O₃) imposées par des directives Européennes tiennent compte de ces effets. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) édicte les règles qu'il faudrait respecter pour les divers polluants.

Afin de protéger la santé humaine et l'environnement dans son ensemble, il est particulièrement important de lutter contre les émissions de polluants à la source, ainsi que de définir et de mettre en œuvre les mesures de réduction les plus efficaces aux niveaux local, national et communautaire. Il convient dès lors d'éviter, de prévenir ou de réduire les émissions de polluants atmosphériques nocifs, et de définir des objectifs appropriés en matière de qualité de l'air ambiant en tenant compte des normes, des orientations et des programmes de l'Organisation mondiale de la santé.

C'est pourquoi La DIRECTIVE 2008/50/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe détermine des exigences pour l'évaluation des concentrations des polluants (anhydride sulfureux, dioxyde d'azote et oxydes d'azote, particules « PM₁₀ et PM_{2,5} », plomb, benzène et monoxyde de carbone) dans l'air ambiant à l'intérieur d'une zone ou d'une agglomération.

1- Les seuils d'évaluation supérieurs et inférieurs ci-après s'appliquent :

Polluants		Protection de la santé	Protection de la végétation
Anhydride sulfureux	Seuil d'évaluation supérieur	60 % de la valeur limite par 24 heures (75 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de trois fois par année civile)	60 % du niveau critique hivernal (12µg/m ³)
	Seuil d'évaluation inférieur	40 % de la valeur limite par 24 heures (50 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de trois fois par année civile)	40 % du niveau critique hivernal (8µg/m ³)

Dioxyde d'azote et oxyde d'azote	Valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine (NO₂)	Valeur limite annuelle pour la protection de la santé humaine (NO₂)	Niveau critique annuel pour la protection de la végétation et des écosystèmes naturels (NO_x)
---	--	---	--

Seuil d'évaluation supérieur	70 % de la valeur limite (140 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de dix-huit fois par année civile)	80 % de la valeur limite (32 µg/m ³)	80 % du niveau critique (24 µg/m ³)
Seuil d'évaluation inférieur	50 % de la valeur limite (100 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de dix-huit fois par année civile).	65 % de la valeur limite (26 µg/m ³)	65 % du niveau critique (19,5 µg/m ³)

Particules (PM ₁₀ /PM _{2,5})	Moyenne sur 24 heures PM ₁₀	Moyenne annuelle PM ₁₀	Moyenne annuelle PM _{2,5}
Seuil d'évaluation supérieur	70 % de la valeur limite (35 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de trente-cinq fois par année civile)	70 % de la valeur limite (28µg/m ³)	70 % de la valeur limite (17µg/m ³)
Seuil d'évaluation inférieur	50 % de la valeur limite (25 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de trente-cinq fois par année civile)	50 % de la valeur limite (20 µg/m ³)	50 % de la valeur limite (12 µg/m ³)

Le seuil d'évaluation supérieur et le seuil d'évaluation inférieur pour les PM_{2,5} ne s'appliquent pas aux mesures effectuées pour évaluer la conformité à l'objectif de réduction de l'exposition aux PM_{2,5} pour la protection de la santé humaine.

Plomb (Pb)	Moyenne annuelle
Seuil d'évaluation supérieur	70 % de la valeur limite (0,35 µg/m ³)
Seuil d'évaluation inférieur	50 % de la valeur limite (0,25 µg/m ³)

Benzène	Moyenne annuelle
Seuil d'évaluation supérieur	70 % de la valeur limite (3,5 µg/m ³)
Seuil d'évaluation inférieur	40 % de la valeur limite (2 µg/m ³)

Monoxyde de carbone	Moyenne sur 8 heures
Seuil d'évaluation supérieur	70 % de la valeur limite (7 mg/m ³)

Seuil d'évaluation inférieur	50 % de la valeur limite (5 mg/m ³)
------------------------------	---

(Source : Journal officiel de l'Union européenne, 2008)

2- Valeurs limites pour la protection de la santé humaine

polluants	Période de calcul de la moyenne	Valeur limite	Marge de dépassement	Date à laquelle la valeur limite doit être respectée
Anhydride sulfureux	Une heure	350 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile	150 µg/m ³ (43 %)	janvier 2005
	Un jour	125 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 3 fois par année civile	Néant	janvier 2005
Dioxyde d'azote	Une heure	200 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile	50 % le 19 juillet 1999, diminuant le 1er janvier 2001, puis tous les douze mois par tranches annuelles égales, pour atteindre 0 % au 1er janvier 2010	1er janvier 2010
	Année civile	40 µg/m ³	50 % le 19 juillet 1999, diminuant le 1er janvier 2001 puis tous les douze mois par tranches annuelles égales, pour atteindre 0 % au 1er janvier 2010	1er janvier 2010
Benzène	Année civile	5 µg/m ³	5 µg/m ³ (100 %) le 13 décembre 2000, diminuant le 1er janvier 2006 puis tous les douze mois de 1 µg/m ³ , pour atteindre 0 % au 1er janvier 2010	1er janvier 2010

Monoxyde de carbone	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures (2)	10 mg/m ³	60 %	janvier 2005
Plomb	Année civile	0,5 µg/m ³ (3)	100 %	janvier 2005
PM10	Un jour	50 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile	50 %	janvier 2005
	Année civile	40 µg/m ³	20 %	janvier 2005

(Source : Journal officiel de l'Union européenne, 2008)

I.6.2. Recommandations Algérienne :

L'article 3 du Décret exécutif n° 06-138 du 5 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi les conditions dans lesquelles s'exercent leurs contrôles fixent les valeurs limites des rejets atmosphériques (tableau I.6). Toutefois, il précise qu'en attendant la mise à niveau des installations industrielles anciennes dans un délai de cinq (5) ans, les limites des rejets atmosphériques prennent en charge l'ancienneté des installations industrielles en déterminant une tolérance pour les rejets atmosphériques émanant de ces installations.

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

En général les limites d'émissions dans l'industrie du ciment s'appliquent aux trois principaux polluants que sont les NO_x, le SO₂ et les poussières. Certains pays ont limité les émissions de métaux, de HCl, de HF, de composés organiques et de PCDD/F.

Tableau I.6 : Valeurs limites d'émission des paramètres de rejets atmosphériques

N°	Paramètre	Unité	Valeurs limites	Tolérance des valeurs limites des installations anciennes
1	Poussières totales	mg/Nm ³	50	100
2	Oxydes de soufre (exprimés en dioxyde de soufre)	"	300	500
3	Oxydes d'azote (exprimés en dioxyde d'azote)	"	300	500
4	Chlorure d'hydrogène et autres composés inorganiques gazeux du chlore (exprimé en HCl)	"	50	100
5	Fluor et composés inorganiques du fluor (gaz, vésicule et particules), (exprimés en HF)	"	10	20

6	Composés organiques volatils (Rejet total de composés organiques volatils à l'exclusion du méthane)	"	150	200
7	Métaux et composés de métaux (gazeux et particulaires)	"	5	10
8	Rejets de cadmium, mercure et thallium, et de leurs composés	"	0,25	0,5
9	Rejets d'arsenic, sélénium et tellure et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	"	1	2
10	Rejets d'antimoine, chrome, cobalt, cuivre, étain, manganèse, nickel, vanadium et zinc, et de leurs composés autres que ceux visés parmi les rejets de substances cancérigènes	"	5	10
11	Phosphine, phosgène	"	1	2
12	Acide cyanhydrique exprimé en HCN brome et composés inorganiques gazeux du chrome exprimé en HBr, chlore exprimé en HCl, Hydrogène sulfuré	"	5	10
13	Ammoniac	"	50	100

(Source : Décret exécutif 06-138 du 5 avril 2006)

I.7. Conclusion du chapitre

L'air est un élément vital, si on ne prend pas garde de sa qualité en continuant de le polluer il deviendra un souci majeur pour notre santé ainsi que pour l'environnement.

Ce chapitre rassemble les informations sur la caractérisation et la description de la pollution atmosphérique. Il a été identifié que les polluants se distinguent en deux catégories : polluants gazeux (SO₂, NO_x, CO, CO₂...) et polluants particulaires (poussières, métaux lourds...) ces polluants sont appelés, polluants primaire puis, au contact les uns avec les autres produits des réactions chimiques avec d'autres composants de l'atmosphère, ce qui génère des polluants dits secondaires,

Ainsi, l'étude de cette pollution a permis, d'une part, d'identifier les principales sources de polluants (naturelles et anthropiques) et d'autre part, d'investiguer les impacts sanitaires et environnementale engendrée par celle-ci.

Par conséquent, il est nécessaire de réduire les émissions de polluants atmosphériques nocifs afin d'instaurer une qualité de vie sans nuisance. Ainsi cette réduction permet de minimiser les effets nocifs sur la santé humaine en accordant une attention particulière aux populations sensibles et à

l'environnement dans son ensemble, d'améliorer la surveillance et l'évaluation de la qualité de l'air.

Dans cet objectif notre recherche va porter sur l'étude d'impact d'une source polluante qui est l'industrie de ciment.

Références

- 1- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), (2008), « pollution olfactive, origine, législation, analyse du nord », ADEME, Paris.
- 2- Ait-ali L & Labii A, (2010), « Simulation de l'évaluation et du captage du CO₂ émis par une cimenterie d'Alger » mémoire d'ingénieur, Université de d'Alger.
- 3- Albin M, (1998), Encyclopédie Universalis, (1998), Paris.
- 4- Bailly A, (1996), Risques naturels, Risques de sociétés, « présentation faite au Festival international de géographie sur le thème risques naturels, risques de sociétés » France.
- 5- Bibliorom Larousse, (1996), dictionnaire (cédérom) version office 1.0 Microsoft corporation et Liris Interactive.
- 6- Code de l'environnement livre 2 (année) « milieux physiques », titre 2 « Air et atmosphère » (ex-loi 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie).
- 7- Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique CITEPA « la pollution atmosphérique en bref. Différentes échelles de la pollution », mise à jour 14/12/2010 disponible sur (<http://www.citepa.org/>)
- 8- Encyclopédie de l'Environnement Atmosphérique (http://www.ace.mmu.ac.uk/eae/french/air_quality/older/natural_air_pollution.html)
- 9- Health Effects Institute. (2000). « Special report: Reanalysis of the Harvard six cities study and the American Cancer Society study of particulate air pollution and mortality». Cambridge, MA
- 10- Kalaora B, (1998), Au delà de la nature l'environnement: L'observation sociale de l'environnement. Paris
- 11- Lacour S, (2001), Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique CERE A (<http://cerea.enpc.fr/fr/>)
- 12- Ministère de l'environnement, (1983), Code de l'environnement : La loi n° 83-03 du 5 février 1983, relative à la protection de l'environnement, Paris.
- 13- Organisation mondiale de la santé, (2000), Quantification of health effects of exposure to air pollution, Report of a who working group. (Rapport no:EUR/01/5026342E74256), Pays-Bas
- 14- Pacyna J.M, (1984), Estimation of the Atmospheric Emissions of Trace Elements from Anthropogenic Sources in Europe. «Atmospheric Environment». pp. 18, 41-50.

- 15- Pacyna J.M, & Graedel T.E, (1995), Atmospheric emissions inventories: status and prospects. « Annual Review of Energy and the Environment », pp.20, 265-300.
- 16- Ramade F, (2000), « les polluants de l'environnement et de l'homme» dictionnaire encyclopédique des pollutions, Ediscience international, Paris, pp.13, 33, 424
- 17- Subra P, (2001), Le transport routier en France: aspects géopolitiques d'une question environnemental. « Ecologie et géopolitique», France.
- 18- Thibaut G, (1998), « La pollution atmosphérique en milieu urbain (l'exemple de la région parisienne ». Mairie de Paris : Direction de la Protection de l'Environnement, Service des Pollutions Atmosphériques - Air et Silence
- 19- Free Encyclopédie Wikipedia (http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_de_l'air)
- 20- http://www.ace.mmu.ac.uk/eac/french/air_quality/Older/VOCs.html
- 21- <http://www.environnement.ccip.fr/Thematique/Air/Entreprises-comment-reduire-vos-emissions-atmospheriques/Les-particules-et-poussieres/Definition-Particules-et-Poussieres>
- 22- http://www.actu.environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/compose_organique_volatil_cov.php4
- 23- <http://www.medecine-anti-age.com/site/definition-54.html?idGlossaire=53>
- 24- <http://www.eea.dk> : Agence Européenne de l'environnement
- 25- <http://www.rnsp-sante.fr> : Réseau National de santé publique
- 26- <http://www.environnement.gouv.fr>: Ministère de l'écologie et du développement durable
- 27- <http://www.people-pt.net/eundex.html> : Programme people de l'UE sur les relations air et santé

II.1. Introduction :

Le ciment est le matériau de base répondant à une utilisation homogène entrant dans les activités de réalisation et de construction de bâtiments et d'ouvrages de génie civil. Un matériau fondamental dans la construction mais dont la fabrication génère des émissions polluantes et nuisibles, si celles-ci se développent à proximité d'agglomérations habitables. De cette manière, elle constitue un risque urbain par la pollution qu'elle cause aussi bien pour la population que pour l'environnement.

Les principales émissions polluantes des cimenteries qui doivent être traitées sont celles de poussières, d'oxydes d'azote (NO_x) et de dioxyde de soufre (SO_2), ainsi que celles de composés organiques volatils (COV), des polychlorodibenzo-para-dioxines (PCDD), de chlorure d'hydrogène (HCl) et des polychlorodibenzofuranes (PCDF). En outre, les émissions d'oxydes de carbone (CO, CO_2), de fluorure d'hydrogène (HF), d'ammoniac (NH_3), de benzène, toluène, éthylbenzène et xylène (BTEX), d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH), de métaux et leurs composés, de bruit et d'odeurs peuvent être prises en considération dans des circonstances spéciales.

Dans ce chapitre, on explique les techniques et procédés de fabrication du ciment, on identifie les différentes nuisances et types de polluants engendrés par sa production qui affectent la population ainsi que l'environnement à proximité des cimenteries. Ensuite, on explique l'impact de chacune des nuisances sur la santé humaine, le cadre bâti et l'environnement.

II.2. Fabrication du ciment : Techniques et Procédés

La production du ciment dans l'Union européenne est environ 10,5 % de la production mondiale. En 2008, on dénombrait dans l'Union européenne 268 installations produisant du clinker et du ciment fini, regroupant 377 fours au total. On recensait également 90 usines de broyage (broyeurs à ciment) et deux installations de production de clinker sans broyeur. En règle générale, les fours ont une capacité d'environ 3 000 tonnes de clinker/jour.

La production du ciment en Algérie est d'environ 15,5 millions de tonnes /an. Le pays compte 13 installations de cimenteries, 12 publiques et 1 privée, réparties à travers le nord du territoire.

La réaction chimique de base de la fabrication du ciment commence avec la décomposition du carbonate de calcium (CaCO_3) en oxyde de calcium (CaO , chaux) accompagnée d'un dégagement de gaz carbonique (CO_2), à environ 900 °C. Ce procédé appelé calcination est suivi de la cuisson du clinker, ou clinkérisation, pendant laquelle l'oxyde de calcium réagit à une haute température (en général entre 1 400 et 1 500 °C) avec la silice, l'alumine et l'oxyde ferreux pour

former des silico-aluminates de calcium composant le clinker. Celui-ci est ensuite broyé et mélangé à du gypse et à d'autres constituants ce qui permet d'obtenir le ciment. Le carbonate de calcium est extrait de formations naturelles de roches calcaires, de marne ou de craie. La silice, l'oxyde de fer et l'alumine se trouvent dans divers minerais et minéraux. (CE, 2010, p. 10)

Plusieurs types de déchets peuvent également être utilisés pour remplacer une partie des matières premières naturelles. La cuisson du clinker est réalisée dans un four rotatif qui peut faire partie d'un système du type four long à voie sèche ou à voie humide, du type four avec préchauffeur à grille (Lepol) à voie semi-sèche ou à voie semi-humide. On a alors, quatre grands procédés de fabrication du ciment : la voie sèche, semi-sèche, semi-humide et humide.

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

Le choix du procédé dépend dans une large mesure de l'état des matières premières (sèches ou humides). Une grande partie de la production mondiale de clinker est toujours fabriquée en voie humide. (CE, 2010, p. 10)

Les opérations suivantes sont communes à tous les procédés : (voir figure II.1)

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

Le procédé de fabrication du ciment blanc est tout à fait semblable à celui du ciment Portland gris. La principale différence technique réside toutefois dans le refroidissement et le blanchissement. Nécessaires, ces étapes ont pour but d'améliorer la blancheur de ce type particulier de ciment et de lui conférer une couleur uniforme.

La Figure II.1 représente de manière schématique le procédé type d'une cimenterie.

II.2.1. Les matières premières et leur extraction :

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

Les principales matières premières (pierres calcaires, marnes crayeuses et schistes argileux ou argiles) sont extraites dans des carrières généralement proches de l'usine. Après un concassage primaire, les matières premières sont transportées vers l'usine où elles sont stockées et préparées. D'autres matériaux tels que la bauxite, le minerai de fer, le laitier de haut fourneau ou le sable de fonderie sont approvisionnés par d'autres sources. (CE, 2010, pp. 10 -13)

Stockage et préparation des matières premières :

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

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

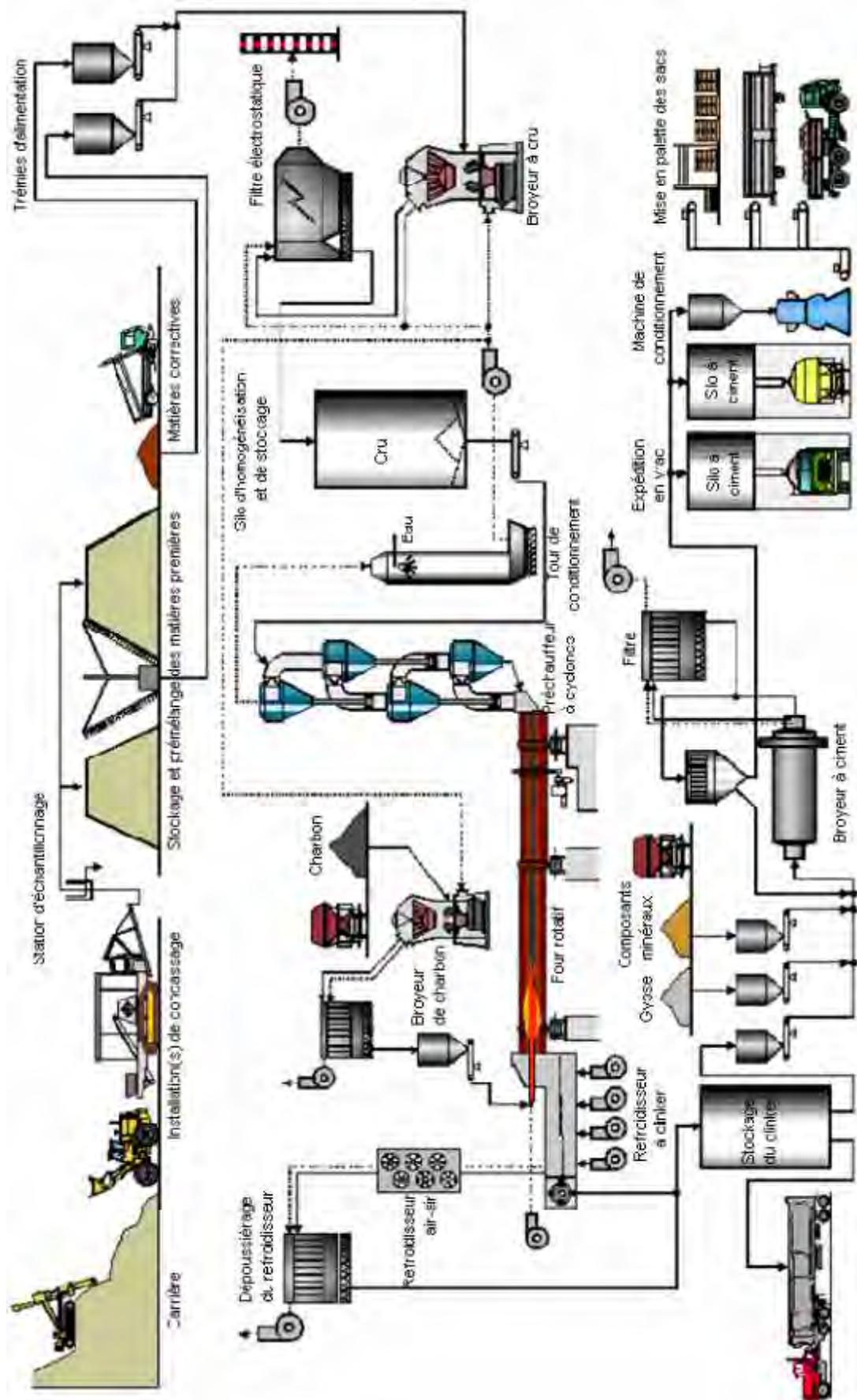


Figure II.1 : Vue d'ensemble d'un procédé de fabrication de ciment (CE, 2010, p.11)

- Homogénéisation : En sortant du broyeur, le cru ou la pâte doivent être malaxés et homogénéisés une nouvelle fois pour que le mélange acquière sa rhéologie optimale avant introduction dans les différents types de four. Le cru est homogénéisé et stocké dans des silos, la pâte dans des cuves ou dans des silos. (CE, 2010, pp. 14 -16)

II.2.2. Stockage et préparation des combustibles :

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

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

Les cendres produites par la combustion de ces produits sont majoritairement formées de silice et d'alumine, et peuvent également contenir des traces de métaux, qui se combinent avec les matières premières et deviennent partie intégrante du clinker. (CE, 2010, pp. 16-19)

II.2.3. Utilisation des déchets :

En Europe, l'industrie du ciment utilise une quantité importante de combustibles dérivés de déchets qui peuvent, dans certaines usines, remplacer les combustibles fossiles jusqu'à hauteur de 80 %. Ainsi, l'industrie du ciment peut apporter sa contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la diminution de la consommation des ressources naturelles. Il est possible de remplacer les combustibles conventionnels par des déchets combustibles, c'est-à-dire issus de fractions de déchets prétraités et triés, y compris par des combustibles solides et liquides valorisés ou de la biomasse, ou les deux. De nombreux types de déchets différents sont utilisés en tant que combustibles, y compris les cendres résiduelles. Qu'ils se présentent sous forme solide, liquide ou pâteuse, les déchets sont définis par leur origine, par exemple industrielle, agricole et urbaine. Les conditions de la cuisson du clinker sont idéales pour l'utilisation de différents types de déchets à la place des combustibles conventionnels. La qualité constante des déchets utilisés comme matières premières ou combustibles, ou les deux, dans les fours à ciment est essentielle. Étant donné qu'ils sont entièrement absorbés par le clinker, ils doivent atteindre différents niveaux de qualité et il convient également de réduire au minimum leurs effets négatifs en matière d'émissions atmosphériques. (CE, 2010, pp. 19 -29)

II.2.4. Cuisson du clinker :

Il s'agit de l'opération la plus importante du procédé de fabrication en termes de potentiel d'émissions, de qualité et de coût du produit. Le cru (ou la pâte pour la voie humide) est introduit dans le four où il est séché, décarbonaté et clinkérisé pour donner le clinker, lequel est refroidi par de l'air avant d'être stocké. Pendant la cuisson du clinker, de hautes températures sont requises pour transformer le cru en clinker. La température de la charge du four dans la zone de clinkérisation des fours rotatifs doit impérativement être maintenue entre 1 400 et 1 500 °C et celle de la flamme à 2000 °C environ. Le clinker doit également cuire en milieu oxydant ; c'est pourquoi un excès d'air est requis dans la zone de clinkérisation d'un four à ciment. Dans tous les fours, les gaz résiduels traversent un équipement de réduction de la pollution de l'air (filtre électrostatique ou filtre à manches) avant d'être envoyés vers la cheminée principale. Dans la voie sèche, la température des gaz peut être relativement haute et cette chaleur peut être réutilisée dans le broyeur à cru quand il est en marche (fonctionnement compound). Quand il est arrêté (fonctionnement direct), les gaz passent en général dans une tour de conditionnement où ils sont refroidis par un brouillard d'eau avant de passer dans le collecteur de poussières, à la fois pour réduire leur volume et pour améliorer leur aptitude à la séparation.

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

Le refroidisseur à clinker fait partie intégrante du four et a une influence déterminante sur les performances et l'économie de l'installation de préparation à hautes températures. Sa fonction est double : valoriser le maximum de chaleur dans le clinker chaud (1 450 °C) pour la recycler dans le procédé et abaisser la température du clinker à un niveau compatible avec le bon fonctionnement des équipements aval. (CE, 2010, pp. 29 -41)

II.2.5. Cogénération : Il est possible dans les cimenteries de générer de l'électricité et d'utiliser le surplus de chaleur du procédé de production du ciment. La plus grande partie de la chaleur émise par un four à ciment est normalement utilisée pour les procédés de séchage et de broyage en voie sèche ci-après :

- séchage et broyage de la matière première,
- séchage du laitier,
- séchage du sable,
- séchage et broyage du combustible. (CE, 2010, pp. 41 -42)

II.2.6. Broyage et stockage du ciment :

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

Le ciment Portland est obtenu par broyage et mélange de clinker et de sulfates comme le gypse et l'anhydrite. Les ciments composés contiennent d'autres constituants comme du laitier granulé de haut fourneau, des cendres volantes, des pouzzolanes naturelles ou artificielles, des calcaires ou des fillers inertes. Ces constituants sont broyés avec le clinker ou doivent être séchés et broyés séparément (les stations de broyage peuvent être implantées ailleurs que sur le site de production du clinker). Le type de ciment à fabriquer détermine le choix du procédé et celui de l'installation de broyage. L'aptitude au broyage, l'humidité et le comportement à l'abrasion des constituants du type de ciment fabriqué sont tous particulièrement importants. Les différents types de ciments sont stockés dans des silos différents, mais il faut souvent plusieurs silos pour stocker un type donné de ciment. Cependant grâce aux nouvelles conceptions, il devient possible de stocker des ciments différents dans un même silo. (CE, 2010, pp. 42 -45)

II.2.7. Conditionnement et expédition

Le ciment est chargé directement en vrac dans des camions citernes, des péniches ou des wagons ou envoyé dans un atelier d'ensachage. (CE, 2010, p. 46)

II.3. Emissions atmosphériques

La fabrication du ciment est à l'origine de rejets de polluants dans l'air et d'émissions sonores. Chacune de ces opérations engendre des pollutions directes ou indirectes affectant les éléments de la nature. La cuisson du clinker est l'étape qui contribue le plus aux problèmes environnementaux associés à la fabrication du ciment, à savoir la consommation d'énergie et les émissions dans l'air. En fonction des procédés de production mis en œuvre, les cimenteries rejettent des émissions dans l'air et produisent des déchets. Dans de rares cas, des rejets dans l'eau sont possibles. Peuvent s'y ajouter des nuisances sonores et olfactives. Les principales substances polluantes émises dans l'atmosphère sont des poussières, des oxydes d'azote et du dioxyde de soufre. S'y ajoutent des émissions d'oxydes de carbone, de dibenzo-p-dioxines et de dibenzofurannes polychlorés, de carbone organique total, de métaux, de chlorure d'hydrogène et de fluorure d'hydrogène. Le type et le volume des polluants atmosphériques dépendent de plusieurs paramètres, notamment des intrants (matières premières et combustibles utilisés) ainsi que du type de procédé mis en œuvre. (CE, 2010, p. 58)

D'après Stenger ; ces pollutions ne sont pas uniquement une agression contre l'environnement, mais peuvent être une source de gênes pour les riverains tout en constituant des sources de conflits potentielles. Cependant, cette panoplie de nuisances exige une étroite surveillance du fonctionnement des ateliers et la mise en œuvre de moyens capables de réduire les inconvénients, ainsi qu'une maintenance accomplie correctement. Il faut aussi remarquer que si la maîtrise des pollutions est assurée dans l'usine, le personnel employé travaillera dans de meilleures conditions, les qualités du produit et de la vie seront meilleures et l'environnement mieux respecté. (Stenger, 1998, p. 11)

II.4. Types de polluants rejetés : origine et transformation

Les principales émissions de la fabrication du ciment sont les émissions atmosphériques des fours. Elles sont dues aux réactions physico-chimiques des matières premières et à la combustion des matériaux utilisés pour chauffer les fours. Les principaux constituants des gaz résiduels d'un four à ciment sont l'azote (issu de l'air comburant), le CO₂ (produit par la calcination du CaCO₃ et par la combustion), la vapeur d'eau (produite par la combustion et les matières premières) et l'excès d'oxygène. Dans tous les procédés, les matières solides progressent à contre-courant des gaz chauds de combustion. Cette circulation à contre-courant a un effet positif sur les émissions de polluants, car elle agit comme un lit fluidisé circulant intégré. De nombreux produits gazeux issus de la combustion ou de la transformation des matières premières en clinker sont absorbés par le flux de matières premières circulant à contre-courant ou se condensent. Ce pouvoir d'absorption des matières premières varie avec leur état physico-chimique qui lui-même dépend de leur position dans le four. Par exemple, la matière qui sort de l'étage de calcination contient beaucoup d'oxyde de calcium, ce qui lui donne une grande capacité d'adsorption de certains acides, comme le HCl, le HF et le SO₂.

Il existe également des émissions de poussières canalisées provenant d'autres sources, comme les opérations de broyage et de manutention (matières premières, combustible solide et produit). Tous les stocks extérieurs de matières premières et de combustibles solides ainsi que tous les systèmes de transport des matériaux, y compris ceux servant à charger le ciment, constituent un risque potentiel d'émissions de poussières diffuses qui peuvent être importantes si elles ne sont pas prises en compte correctement du point de vue technique ; des problèmes de nuisance peuvent apparaître localement si elles ne sont pas réduites et maintenues à un niveau bas. (CE, 2010, p. 58 ; Khelifa, 2009, p. 208)

II.4.1. Composés gazeux

Les polluants contenus dans les gaz de combustion dépendent de la nature du combustible utilisé (charbon, fuel ou gaz naturel) et de la composition du minerai (qui peut contenir également du soufre). Les principaux polluants gazeux dans l'industrie du ciment sont le SO_2 , les NO_x , le CO, et le CO_2 .

- Le dioxyde de soufre (SO_2)

Les émissions de SO_2 des cimenteries dépendent de l'apport total de composés soufrés et du type de procédé utilisé ; elles sont principalement déterminées par la quantité de soufre volatil présent dans les matières premières et éventuellement par les combustibles. La production et les émissions potentielles de SO_x dépendent également de la circulation du soufre à l'intérieur du four. Dans le four, le soufre provient de différentes sources, comme le SO_2 des gaz résiduels, le CaSO_4 et d'autres composés combinés dans le clinker et les poussières.

Cependant, la plus grande partie du soufre est absorbée par le clinker ou bien rejetée du système par le procédé. En fonction de leurs dépôts respectifs, les matières premières peuvent contenir du soufre sous forme de sulfate ou de sulfure. Les sulfates sont des composés stables qui ne se décomposent que partiellement aux hautes températures les plus fréquemment rencontrées dans la zone de clinkérisation des fours rotatifs, lesquelles peuvent être augmentées par une atmosphère réductrice localisée et par la combustion de combustibles et de déchets. Par conséquent, le soufre présent sous forme de sulfate est plus ou moins complètement rejeté par le système avec le clinker quand la qualité du clinker le requiert. Les sulfures, à l'inverse, s'oxydent dans le préchauffeur et sont partiellement rejetés sous forme de dioxyde de soufre.

Le soufre introduit dans le four avec les combustibles s'oxyde pour former du SO_2 dont il ne provoque pas d'émissions importantes du fait de l'atmosphère très alcaline de la zone de clinkérisation, de la zone de calcination et de l'étage inférieur du préchauffeur. Ce soufre entre dans la zone de décarbonatation du four avec de faibles concentrations en SO_2 provenant de la décomposition partielle du sulfate dans la zone de clinkérisation. Dans la zone de décarbonatation, le SO_2 réagit entre autre avec les éléments alcalins et les sulfates alcalins provenant des matières premières. Au contact avec le cru partiellement décarbonaté, le surplus de SO_2 réagit d'abord avec le CaSO_3 puis avec le CaSO_4 . Ces sulfates entrent à nouveau dans le four rotatif. C'est ainsi que se créent des cycles du soufre qui s'équilibrent avec le rejet du soufre à travers le clinker.

La zone de décarbonatation d'un four rotatif apporte les conditions idéales pour capturer le SO_2 des gaz qui s'échappent du four. Cependant, lorsque les conditions de conduite du four, par

exemple la concentration en oxygène à l'intérieur du four rotatif, n'ont pas été optimisées pour capturer le SO₂, des émissions peuvent se produire. De surcroît, divers facteurs peuvent influencer l'efficacité de la réaction, comme la température, la teneur en humidité, le temps de séjour, la concentration d'oxydes en phase gazeuse, la disponibilité d'une surface solide, etc.

Il faut s'attendre avec des matières premières contenant du soufre organique à des émissions de SO₂ élevées, notamment lorsque du soufre présent dans la matière première se trouve sous une forme facilement oxydable, (pyrite ou marcassite). Contrairement aux composants sulfatés des matières premières, ces composés facilement oxydables peuvent être transformés en SO₂ dès les étages cycloniques supérieurs. Dans ces conditions, les émissions de SO₂ liées aux matières premières peuvent atteindre 1,2 g/Nm³, voire plus dans certains cas si aucune mesure/technique secondaire de lutte contre les émissions n'est prévue. Cependant, quand les matières premières ne contiennent que peu ou pas de soufre volatil, les émissions de SO₂ des fours ne posent que peu ou pas de problème et la concentration en SO₂ des gaz résiduels de certains fours est inférieure à 10 mg/m³ sans utilisation de techniques de réduction ; elle augmente avec la teneur en soufre volatil des matières premières utilisées. L'utilisation de mesures/techniques de lutte contre les émissions secondaires, comme l'utilisation de chaux hydratée, permet de réduire considérablement les émissions de SO₂.

Les ordres de grandeur des teneurs en soufre dans les combustibles sont les suivants :

- Charbon.....de 0,5 à 1,5% (quelquefois 5 à 6%)
- Fuel lourd.....de 0,5 à 4% selon les pays
- Fuel domestique et gazoile..... de 0,3 à 0,7% selon les pays
- Gaz..... de 0 à 0,01%

Une fois rejeté, le SO₂ s'oxyde en SO₃ dans l'atmosphère. En présence d'humidité, de fines gouttelettes d'acide sulfurique et des sulfates peuvent être formés : SO₃ + H₂O → H₂SO₄ (pluies acides) Le SO₂ est également responsable du phénomène de « smog acide », mélange de SO₂ et de particules dont l'impact sur la santé est très connu. L'utilisation de mesures/techniques de lutte contre les émissions secondaires, comme l'utilisation de chaux hydratée, permet de réduire considérablement les émissions de SO₂.

Cependant, vu que la plupart des cimenteries du pays fonctionnent au gaz naturel, les émissions de SO₂ sont considérablement réduites. (Aoudia, 2001 p. 2; CE, 2010, pp. 70-74)

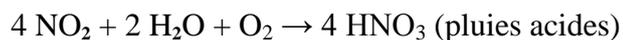
- Les oxydes d'azote (NO + NO₂ = NO_x)

La cuisson du clinker est un procédé à haute température qui entraîne la formation d'oxydes d'azote (NO_x). Ces oxydes jouent un rôle très important dans la pollution de l'air par les

cimenteries. Ils se forment au cours de la cuisson par la combinaison soit de l'azote du combustible et de l'oxygène dans la flamme soit de l'azote atmosphérique et l'oxygène de l'air comburant. Les émissions de NO_x varient en fonction du procédé de cuisson utilisé. Outre la température et la teneur en oxygène (facteur d'excès d'air) la formation des NO_x peut être influencée par la forme et la température de la flamme, par la configuration de la chambre de combustion, la réactivité et la teneur en azote du combustible, la présence d'humidité, la durée de la réaction et la conception des brûleurs.

Les oxydes d'azote sont produits au niveau du four pendant la combustion. Leur formation est favorisée par un excès d'oxygène mais surtout par la température de la flamme qui conduit à une dissociation des molécules d'azote et d'oxygène.

Le NO obtenu peut s'oxyder dans l'atmosphère pour former en présence d'humidité de fines gouttelettes d'acide nitrique. On aura alors:



(Aoudia, 2001, p.2)

On peut toutefois observer quelques légers changements dans les émissions de NO_x lorsque des déchets sont utilisés :

- La combustion principale peut émettre moins de NO_x si les déchets combustibles contiennent de l'eau ou consomment plus d'oxygène (impact sur la température de la flamme qui est abaissée). L'effet est comparable au refroidissement de la flamme.
- La combustion secondaire/du précalcinateur peut émettre moins de NO_x si des combustibles lourds créent une zone de réduction. (CE, 2010, pp. 64-70).

- Les oxydes de carbone

Le monoxyde de carbone (CO)

Ce sont les petites quantités de composants organiques apportés par les matières premières naturelles (restes d'organismes et de plantes incorporés dans la roche au fil de l'histoire géologique) qui sont généralement à l'origine des émissions de CO et du carbone organiquement lié pendant la cuisson du clinker. Pendant le préchauffage du cru introduit dans le four, ces composants subissent une transformation et s'oxydent pour former du CO et du CO_2 . De petites quantités de gaz contenant des traces organiques, comme le carbone organique total, se forment également lors de ce procédé. Dans la cuisson du clinker, la teneur en CO et en gaz contenant des traces organiques dans le gaz épuré ne permet donc pas de tirer des conclusions sur les conditions de combustion. (CE, 2010, pp. 74-75 ; Ali Khoudja, 2007, p.14)

Cependant, d'autres émissions de CO peuvent également provenir d'une mauvaise combustion et de conditions insatisfaisantes dans la zone de cuisson secondaire.

Au niveau d'un four fonctionnant au gaz naturel, les émissions de CO sont très faibles quand la combustion est complète. (Aoudia, 2001, p.2)

- Le dioxyde de carbone (CO₂)

Selon les estimations, la fabrication d'une tonne de clinker gris entraîne des émissions de 900 à 1 000 kg de CO₂, pour un besoin thermique spécifique de 3 500 à 5 000 MJ/tonne de clinker, ce qui dépend aussi du type de combustible utilisé. Comme le ciment est broyé avec des additions minérales, les émissions de CO₂ par tonne de ciment fabriquée sont réduites. Environ 62 % des émissions de CO₂ sont issues de la décarbonatation et les 38 % restant issus de la combustion du combustible. Les émissions de CO₂ produites par la combustion du carbone du combustible sont directement proportionnelles au besoin de chaleur spécifique et au rapport entre la teneur en carbone du combustible et son pouvoir calorifique. Les émissions de CO₂ produit par la combustion ont progressivement été réduites ; cette diminution qui a atteint 30 % au cours des 25 dernières années est principalement due à l'adoption de procédés de cuisson utilisant l'énergie plus efficacement.

L'industrie du ciment contribue d'une manière appréciable aux émissions mondiales de CO₂ (2,4%). Le CO₂ n'est pas officiellement un polluant du fait de la généralité de son émission lors de la combustion de tous les combustibles fossiles mais son augmentation dans l'atmosphère pose le problème actuel de l'effet de serre. Il fait également partie du cycle naturel du carbone (photosynthèse des plantes et production d'oxygène) (Aoudia, 2001, p.3)

II.4.2. Les poussières (particules)

La pollution par les poussières représente la forme de pollution la plus importante au niveau des cimenteries. La granulométrie des poussières est un facteur important. Les poussières fines restent en suspension dans l'atmosphère alors que les plus grosses sont appelées à se déposer sur le sol à différentes distances de la source selon leur taille. (CE, 2010, pp. 60-64)

Emissions de poussières canalisées

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

procédés secondaires d'une cimenterie sont également à l'origine d'émissions de poussières, par exemple :

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

Les unités de broyage des matières premières, du ciment et du charbon, le stockage des combustibles (coke de pétrole, houille, lignite), et l'expédition du ciment (chargement).

Dans tous ces procédés, des volumes importants de gaz circulent au travers de matériaux poussiéreux. Pendant le concassage, le broyage et l'expédition, une légère aspiration est maintenue au-dessus des équipements et ces sources de poussières sont normalement équipées de filtres à manches. La conception et la fiabilité des filtres électrostatiques et des filtres à manches modernes permettent d'abaisser les émissions de poussières à des niveaux négligeables, inférieurs à 10 mg/Nm^3 (moyennes journalière).

Émissions de poussières fines PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$

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

Émissions de poussières diffuses

Des émissions de poussières diffuses peuvent se produire au cours du stockage et du transport des matières premières et des combustibles solides, par exemple sur un lieu de stockage ouvert ou sur les convoyeurs de matières premières, ainsi qu'à la surface des routes à cause du transport. Les émissions qui se produisent lors du conditionnement et de l'expédition du clinker et du ciment peuvent aussi être importantes. Elles peuvent provoquer une augmentation locale du

niveau des émissions de poussières alors que les rejets de poussières résultant de la mise en œuvre des procédés (en général, par des cheminées très élevées) peuvent affecter la qualité de l'air d'une zone beaucoup plus étendue. Les convoyeurs et les tapis élévateurs prennent la forme de systèmes clos si des matériaux poussiéreux sont susceptibles de libérer de la poussière. Les routes empruntées par les camions sont pavées et régulièrement nettoyées de manière à éviter les émissions de poussières diffuses. En outre, la pulvérisation d'eau sur le site permet d'éviter ces émissions. Des systèmes de stockage fermés sont utilisés dans la mesure du possible.

II.4.3. Les métaux lourds

Les métaux lourds sont dangereux pour l'environnement car ils ne sont pas dégradables, de plus ils sont enrichis au cours des processus minéraux et biologiques, et finissent par s'accumuler dans la nature. Ils peuvent également être absorbés directement par le biais de la chaîne alimentaire entraînant alors des effets chroniques ou aigus.

Les matières premières et les combustibles contiendront toujours des métaux, mais leur concentration est très variable d'un endroit à un autre et leur potentiel d'émissions dans l'atmosphère dépend de mécanismes très complexes. (voir figure II.2) De plus, les concentrations en métaux des déchets utilisés comme combustible sont variables selon l'origine des déchets. Les composés métalliques peuvent être classés en quatre catégories, selon la volatilité des métaux et de leurs sels : (CE, 2010, p. 81)

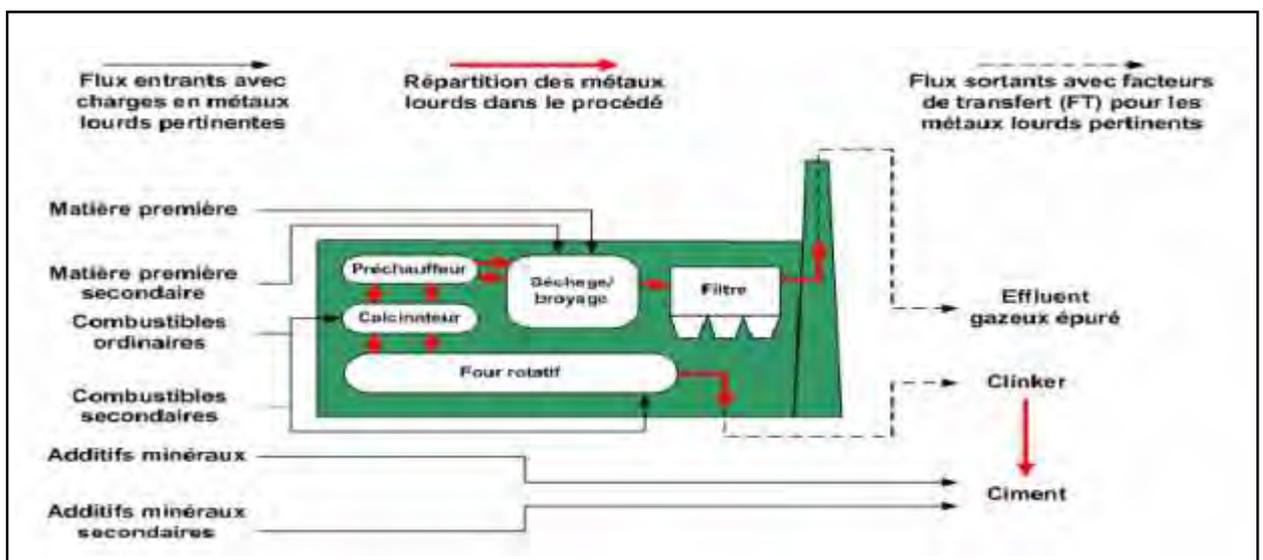
- **Les métaux** qui sont ou qui ont des **composés réfractaires ou non volatils** : Ba, Be (Béryllium), Cr (Chrome), As (Arsenic), Ni (Nickel), V (Vanadium), Al (Aluminium), Ti, Ca (Calcium), Fe (Fer), Mn (Manganèse), Cu (Cuivre) et Ag (Argent). Ces métaux sont entièrement absorbés par le clinker et rejetés avec celui-ci ; ils ne circulent donc pas dans le four. Dans le gaz résiduaire, les seules émissions proviennent des poussières et dépendent donc uniquement des matières entrantes et de du dépoussiérage. Leurs émissions sont par conséquent très faibles.

- **Les métaux** qui sont ou qui ont des **composés semi-volatils** : Sb (Antimoine), Cd (cadmium), Pb (Plomb), Se (Sélénium), Zn (Zinc), K (Potassium) et Na. Ces métaux se condensent en sulfates ou en chlorures à des températures comprises entre 700 et 900 °C et une circulation intérieure se produit. Ainsi, les éléments semi-volatils qui s'accumulent dans le système de préchauffage du four sont à nouveau précipités dans le préchauffeur à cyclones et sont presque complètement retenus dans le clinker.

- **Le thallium** : métal qui est ou qui possède un composé volatil : dans les fours à échangeur thermique, les composés du thallium (par exemple, TlCl) se condensent entre 450 et 550 °C dans la zone supérieure du préchauffeur où ils peuvent s'accumuler (circulation interne).

- **Le mercure** : métal qui est ou qui possède un composé volatil. La plupart du mercure et des composés du mercure traversent le four et le préchauffeur. Ils ne sont adsorbés que partiellement par la poussière du gaz brut en fonction de la température des effluents gazeux. La précipitation du mercure, et donc sa suppression, augmente lorsque la température des gaz résiduels diminue. Les composés de mercure sont alors entièrement supprimés du collecteur de poussières du four. Grâce à la haute efficacité du collecteur de poussières, les concentrations en mercure du gaz épuré des fours rotatifs sont souvent inférieures à la limite de détection.

Le comportement et le niveau d'émission de chacun de ces métaux pendant la cuisson du clinker dépendent de leur volatilité, de l'alimentation du four, de la concentration en éléments métalliques des matières premières et des combustibles, notamment lorsque des déchets ou des déchets dangereux sont utilisés, du procédé et surtout de l'efficacité de précipitation des systèmes de dépolluage sur la cheminée principale. Les métaux qui entrent dans la cuisson par le biais des matières premières et des combustibles peuvent s'évaporer complètement ou partiellement dans les zones chaudes du préchauffeur ou du four rotatif, ou les deux, selon leur volatilité, réagir avec les composants présents dans la phase gazeuse et se condenser sur le cru dans les parties moins chaudes du four. Les métaux provenant des combustibles entrent d'abord dans les gaz de combustion, mais leur émission est réduite uniquement du fait de la capacité de rétention du four et du préchauffeur. Étant donné que le rapport matière première/masse du combustible pour la production de clinker est d'environ 10:1, les éléments introduits par les matières premières déterminent les émissions. (CE, 2010, p. 82)



La Figure II.2 : Parcours des métaux dans les fours à ciment équipés de préchauffeurs en voie sèche. (CE, 2010, p. 82)

Les composés métalliques non volatils restent présents pendant toute la cuisson et sont intégrés dans la composition chimique du clinker à la sortie du four (>99,9 %). Les composés métalliques semi-volatils se retrouvent partiellement dans la phase gazeuse aux températures de clinkérisation et se condensent sur les matières premières dans les zones les moins chaudes du four. Ils provoquent l'apparition d'un effet cyclique (cycles internes) qui se limite au four et au préchauffeur ou s'intègre également dans l'unité de séchage-broyage. Si les métaux se condensent en grande partie dans le préchauffeur, ils entreront à nouveau dans le four avec la charge du four. Cela produit un cycle interne du métal (cycle four/préchauffeur). Cet effet cyclique s'amplifie jusqu'à ce qu'un équilibre entre l'entrée et la sortie du clinker soit atteint et maintenu. (CE, 2010, p. 81)

Les composés métalliques volatils se condensent sur les matières premières à des températures moins élevées et peuvent provoquer l'apparition de cycles internes ou externes s'ils ne sont pas évacués avec les gaz résiduels du four. Le thallium, le mercure et leurs composés sont particulièrement très volatils. Ils ne sont pas entièrement capturés par la matrice du clinker. Le thallium et ses composés se condensent dans la zone haute du préchauffeur à cyclones à des températures allant de 450 à 500 °C. Une grande partie du thallium introduit dans le four est donc retenue par le préchauffeur. (CE, 2010, p. 81)

Par conséquent, un cycle peut se former entre le préchauffeur, le séchage de la matière première et la purification des gaz résiduels (interne et externe). Le niveau d'émission de thallium est déterminé par le niveau de concentration du cycle externe et par l'efficacité du collecteur de poussières. En outre, mais dans une moindre mesure, le cadmium, le plomb, le sélénium et leurs composés sont particulièrement facilement volatilisés. Un cycle interne de composés métalliques très volatils apparaît quand ils réagissent avec les matières en cours de calcination ou quand ils se déposent sur ces matières dans les zones froides de la chambre de calcination, dans le préchauffeur ou au niveau du séchage. Les métaux provoquent l'apparition d'un cycle externe quand les poussières et les composés volatils condensés sont collectés dans les filtres à poussières et recyclés dans le cru. (CE, 2010, p. 82)

Les poussières résultant de la fabrication du ciment contiennent de faibles quantités de composés métalliques comme l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le thallium (Tl) et le zinc (Zn). La principale source de poussières chargée en métaux est le système de four, incluant les préchauffeurs, les précalcinateurs, les fours rotatifs et les refroidisseurs à clinker. Leur concentration en métaux dépend de la matière à cuire et de la recirculation dans le système de four. En particulier, l'utilisation de charbon et de déchets pour chauffer le four peuvent

augmenter l'apport de métaux dans le procédé. Comme les métaux qui entrent dans le système de four n'ont pas tous le même degré de volatilité et du fait des températures élevées, les gaz chauds du système de four contiennent aussi des composés métalliques en phase gazeuse. (CE, 2010, p. 83)

II.4.4. Composés organiques totaux (COT)

La présence dans les réactions thermiques (combustion) de composés organiques volatils et de monoxyde de carbone est associée à une combustion incomplète. Dans les fours à ciment, les émissions seront faibles en régime normal stable en raison du type de four utilisé, du séjour prolongé des gaz dans le four, de la température élevée, de la nature de la flamme (2 000 °C) et de l'excès d'oxygène. C'est dans ces conditions que les composés organiques se décomposent et sont détruits avec un taux d'efficacité élevé (>99,9999 %). Les concentrations peuvent augmenter au démarrage ou dans des conditions anormales. Ceci peut se produire plus ou moins souvent, de une ou deux fois par semaine à une fois tous les deux ou trois mois.

Des émissions de composés organiques volatils (COV) peuvent se produire aux premiers stades du procédé (préchauffeur, précalcinateur) quand la matière organique contenue dans le cru se volatilise au cours du chauffage de la charge. Les matières organiques se dégagent entre 400 et 600 °C. La teneur type en composés organiques volatils des gaz résiduels des fours à ciment est comprise entre 1 et 80 mg/Nm³, mesurée sous forme de COT comme illustré dans la Figure 1.5. Cependant, les émissions peuvent dans de rares cas atteindre 120 mg/Nm³ du fait des caractéristiques des matières premières. (CE, 2010, p. 76)

II.4.5. Chlorure d'hydrogène et fluorure d'hydrogène (HCl et HF)

Les chlorures et les fluorures sont des constituants additionnels mineurs qui peuvent être introduits dans le four par le biais des différentes matières entrantes, telles que les matières premières ou les combustibles, ou les deux. Il convient de surveiller régulièrement ces substances. (CE, 2010, p. 88)

II.4.6. Ammoniac (NH₃)

Les matières premières libèrent du NH₃ dès les premières étapes du procédé. La teneur en NH₃ du gaz résiduel des fours à ciment peut atteindre 200 mg/Nm³. Les techniques de réduction peuvent également libérer du NH₃, c'est notamment le cas de la SNCR (réduction sélective non catalytique) au cours de laquelle de l'ammoniac inaltéré peut se dégager (fuite d'ammoniac). Il est essentiel de surveiller régulièrement les émissions de NH₃. En outre, l'équipement des sites d'un épurateur de SO_x qui neutralise l'ammoniac dans sa liqueur afin d'égaliser les pointes et les baisses peut s'avérer nécessaire. (CE, 2010, p. 95)

II.4.7. Autres polluants organiques

Les chlorobenzènes, les PCB (polychlorobiphényles), y compris les congénères coplanaires et les chloronaphthalènes, sont autant d'autres polluants organiques produits lors de la fabrication du ciment. Il peut être nécessaire de mesurer de temps en temps ces substances en cas de régime de fonctionnement spécial. (CE, 2010, p. 97 ; Azimi, 2004, p. 28)

II.5. Les effets des polluants sur la santé :

La partie du corps de l'être humain la plus touchée par les polluants rejetés par les cimenteries sont les poumons qui sont une vaste surface d'échange (75 m²) L'appareil respiratoire a une fonction essentielle, celles des échanges gazeux (apport d'oxygène et élimination de gaz carbonique). A cette fonction est associée la fonction d'épuration qui assure la bonne qualité de l'air qui arrive dans les alvéoles pulmonaires en éliminant les aéro-contaminants. L'appareil respiratoire peut être divisé en deux parties :

- les voies aériennes supérieures ou proximales : nez (poils, cornets), bouche, pharynx, larynx,
- les voies aériennes inférieures ou distales extra- puis intra-thoracique : trachée-artère, arbre bronchique ramifié, (bronches souches, bronches lobaires, bronches segmentaires, bronchioles), Alvéoles.

(Bisson, 1990, p.28)

II.5.1. Les polluants gazeux

Parmi les polluants gazeux cités au début du chapitre et qui peuvent être rejetés pour une raison ou une autre en ayant un impact sur la santé de manière significative sont les suivants :

Dioxyde de soufre (SO₂) : C'est un gaz irritant qui affecte le système respiratoire. Le mélange acido-particulaire peut, selon les concentrations des différents polluants, déclencher des effets bronchospastiques chez l'asthmatique, augmenter les symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire), altérer la fonction respiratoire chez l'enfant.

Oxyde d'azote (NOx) : Perturbe la fonction respiratoire, en provoquant des troubles respiratoires chroniques, et à forte dose il peut engendrer des lésions. Il pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Il peut, dès 200 µg/m³, entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et chez les enfants.

Monoxyde de carbone (CO) : Il perturbe le transport de l'oxygène dans le sang et peut provoquer des anémies, des vertiges, des migraines, comme il peut être mortel à forte dose.

2.5.2. Les poussières

- **A court terme**, les poussières fines inférieures à $1\ \mu$ atteignent les alvéoles et peuvent pénétrer dans le sang. Elles peuvent transporter d'autres polluants qui y sont adsorbés (SO_2 , métaux lourds, hydrocarbures...). Elles sont associées aux hospitalisations et aux décès pour cause respiratoire et cardio-vasculaire

- **A long terme**, ces polluants peuvent provoquer des maladies respiratoires telles :
 - ✓ asthme, bronchite, emphysème (poussières, SO_2)
 - ✓ cancer des poumons (particule et NO_2)

Leurs effets sur la santé dépendent de trois facteurs :

- ✓ Des niveaux de concentration auxquels est exposé l'organisme (exemple : milieu professionnel par rapport aux sites propres)
- ✓ De la durée d'exposition (le temps durant lequel on est exposé à ce niveau)
- ✓ De l'activité physique : l'effort physique s'accompagne d'une augmentation de la ventilation pulmonaire et donc de la quantité de polluants introduits dans l'organisme.

(Aoudia, 2001, p. 213)

Les particules fines

Les particules figurent parmi les polluants dont l'évolution pose un réel problème de santé publique.

Le degré de pénétration de celles-ci dans les voies respiratoires basses (bronches et poumons) est fonction de leur taille et du rythme respiratoire. Les particules dont la taille est supérieure à $5\ \mu\text{m}$ sont retenues par les muqueuses nasales tandis que les autres ont de grandes chances de se déposer dans la trachée ou les poumons. Les particules inférieures à $0.5\ \mu\text{m}$ qui se déposent sur les alvéoles du poumon se fixent au tissu alvéolaire et ne sont pas éliminées provoquant ainsi l'apparition du cancer du poumon ou de maladies respiratoires chroniques.

Les constituants particuliers peuvent agir comme irritants. Il en résulte une sécrétion de mucus destinée à soulager l'irritation qui peut s'accumuler et provoquer une réduction du volume effectif respiratoire provoquant des maladies chroniques d'obstruction pulmonaire.

À terme, le mucus et le fluide alvéolaire servent à répandre l'infection pulmonaire jusqu'à provoquer une aggravation des maladies chroniques d'obstruction pulmonaire, qui, à terme, se révèlent fatale. Le tableau II.1 suivant résume les effets sanitaires de l'exposition aux particules en suspension. (Stenger, 1998, p.19)

Tableau II.1 : Les effets sanitaires de l'exposition aux particules en suspension

Concentration de poussières	Durée d'exposition	Effets
500 µg/m³ (moyennes journalières)	Plusieurs jours consécutifs	Augmentation de la mortalité et du nombre d'hospitalisations des personnes âgées présentant en particulier des symptômes cardio-vasculaires et des symptômes respiratoires graves
250 µg/m³ (moyennes journalières)	Plusieurs jours consécutifs	Exacerbation de leurs symptômes chez des patients atteints de bronchite chronique, détérioration temporaire de leurs fonctions respiratoires chez des personnes sensibles
Légèrement inférieure à 250 µg/m³ (moyennes journalières)	24 heures au moins	Détérioration similaire des fonctions respiratoires
100 µg/m³ (moyennes arithmétiques)	Année	Aggravation de l'inflammation des voies respiratoires inférieures et diminution du débit respiratoire maximum chez les enfants

(Source : Stenger, 1998, p.19)

II.5.3. Les métaux lourds

Le plomb: Le plomb est un toxique à effet cumulatif : il s'accumule dans le corps jusqu'à une quantité à partir de laquelle apparaissent les symptômes. L'intoxication s'effectue par les voies respiratoires par inhalation et par ingestion de nourriture contaminée et d'eau polluée (canalisations en plomb). Il est absorbé et retenu par le foie, et évacué par la bile, les urines, la salive. Une faible fraction de plomb passe dans le sang. On estime que 20 à 50 % du plomb inhalé est absorbé dans le corps contre 5 à 10 % pour le plomb ingéré. L'intoxication chronique donne lieu à trois types de manifestations cliniques (saturnisme) qui apparaissent de façon indépendante:

- Coliques de plomb accompagnées de constipation intense et de poussée de tension artérielle.
- Anémie modérée.
- Encéphalopathie (sous forme d'atteinte vasculaire cérébrale).

L'empoisonnement aigu se manifeste par une anémie bénigne qui s'accompagne des effets et symptômes présentés dans le tableau ci-après:

Tableau II .2. Effets et symptômes de différentes concentrations du Plomb dans le sang.

Concentration de plomb dans le sang	Effets et symptômes
60 à 120 µg Pb/ 100 g de sang	- Fatigue - irritabilité - maux de tête - pâleur
au-delà de 80 µg Pb/ 100 g	- apparition de constipation et de crampes abdominales - possibilité de dommages cérébraux
au-delà de 120 µg Pb/ 10 g	(encéphalopathie, convulsions, arrêt cardiaque et mort)

(Source : Stenger, 1998, p.26)

Le chrome: Les concentrations élevées de poussières ou de fumées peuvent engendrer des irritations. Des expositions répétées ou prolongées à certains composés du chrome engendrent :

- Par inhalation, une ulcération et une perforation de la cloison nasale, des troubles à court terme de l'attention et de la mémoire, des troubles gastro-intestinaux, une sensibilisation pulmonaire, des fibromes ou des congestions pulmonaires, et des hépatites intenses avec jaunisse.
- Par contact avec la peau, des perforations, une sensibilisation et des lésions rénales, des dermatites allergiques.
- Par contact avec les yeux, des conjonctivites et des larmoiements.

Le chrome métal est médiocrement absorbé par le transit intestinal, une absorption de composés de chrome en quantité relativement importante peut engendrer des étourdissements, de grandes soifs, des douleurs abdominales, des vomissements, etc. Les ingestions excessives de certains composés du chrome peuvent provoquer des dommages rénaux. (Belala & Debbih, 2003, p. 31).

Le nickel: Le nickel est relativement peu toxique et ce qui s'en trouve dans les aliments et l'eau n'est pas considéré comme dangereux pour la santé, bien que les premières études sur l'animal ont démontré qu'à très forte dose (1600 mg/kg par voie alimentaire) il a des effets toxiques minimes (moins de souris survivent au sevrage).

On associe généralement les dermatites à l'exposition industrielle, bien que les mêmes effets ont été observés dans les ateliers de joaillerie ou de frappe des monnaies. Des problèmes rénaux, de même que des vertiges et des dyspnées, ont été attribués à de fortes expositions professionnelles. (OMS, 1986)

Le cobalt: On peut citer le classique syndrome irritatif respiratoire, qui se traduit par: une toux sèche, une dyspnée, des éternuements, ou une conjonctivite.

Il peut survenir après des temps d'exposition variables d'un mois à plusieurs années et survient généralement lors d'exposition à des empoussièrément élevés. Ces symptômes sont rythmés par le travail et disparaissent à l'arrêt de l'exposition.

Actuellement, de nombreux praticiens considèrent qu'il s'agit plus d'un asthme, d'une broncho-alvéolite ou d'une fibrose pulmonaire débutante. (Bonnard, 2000, p.5)

Le manganèse: les effets sur la santé sont de deux types d'intoxication :

Intoxication aiguë :

- Fièvre des fondeurs : l'inhalation de fumées d'oxyde de manganèse peut engendrer un syndrome pseudo-grippal similaire à celui de la " fièvre des fondeurs " dont le traitement est symptomatique.
- Pneumonie chimique : en cas d'exposition intense aux fumées ou poussières de divers sels de manganèse, il peut survenir une "pneumonie chimique sévère".
- L'intoxication aiguë par ingestion : l'intoxication aiguë par voie orale survient rarement et elle résulte de l'ingestion accidentelle ou volontaire d'un sel de manganèse (comme des comprimés de permanganate de potassium), cette dernière substance cause une brûlure massive des voies digestives, un œdème des voies respiratoires supérieures et un collapsus circulatoire.

Intoxication chronique : Le principal organe cible du manganèse est le système nerveux central, en particulier le système extrapyramidal; le poumon peut également être lésé en cas d'exposition chronique au manganèse.

- Système nerveux central : parmi les symptômes qu'il faut rechercher dans l'intoxication chronique au manganèse on a : la nervosité, l'irritabilité, la perte de mémoire, la fatigue, l'insomnie, la faiblesse musculaire, la douleur musculaire, les tremblements des extrémités, surtout intentionnels, la raideur des membres, les difficultés aux mouvements fins, le bégaiement, la voix rauque, les troubles urinaires et l'impotence.
- Voies respiratoires : Le tissu pulmonaire ne semble pas constituer la cible critique du manganèse lors de l'exposition chronique. Par contre, diverses manifestations respiratoires (bronchite aiguë et chronique, pneumonie, modifications fonctionnelles sous forme de syndrome obstructif) ont été observées parmi les travailleurs exposés chroniquement au manganèse à des niveaux supérieurs à ceux qui causent de légères perturbations neurologiques chez certains d'entre eux. (Bastarache, 2003)

Le cuivre : les effets sur la santé sont de deux types de toxicité :

Toxicité aiguë : Puisque le cuivre est un élément essentiel, la toxicité est rare, comme avec tous les éléments essentiels. Les symptômes se développent généralement après des expositions répétées et se résument-en : congestion nasale, fièvre jusqu'à 39 °C, frissons, malaise, douleurs musculaires, sécheresse de la bouche et la gorge, mal de tête, essoufflement, et leucocytose

jusqu'à 12,000 à 16,000. L'inhalation des sels de cuivre peut causer l'irritation des voies respiratoires et l'inhalation de fumée de cuivre peut causer des nausées, un goût métallique, et de la décoloration de la peau et des cheveux.

Toxicité chronique : L'inhalation chronique et récurrente de fumée de cuivre et de poussières peut mener à des perforations du septum nasal. L'exposition chronique à la poussière de cuivre et aux fumées, en milieu industriel, peut mener à des symptômes des voies respiratoires supérieures et à des signes cliniques concomitants chez les travailleurs.

L'incidence la plus élevée du cancer du poumon rapporté chez les fondeurs de cuivre est due à la présence d'arsenic dans le minerai. (Bastarache, 2003)

II.6. Les effets des polluants sur le cadre bâti

L'accélération de la vitesse de dégradation de nombreux monuments au cours des dernières décennies a mis en évidence l'impact des polluants sur les matériaux. Les polluants primaires ou leurs polluants secondaires (ozone, dérivés acides) peuvent agir sur un grand nombre de matériaux (métaux, pierre, peintures, tissus, cuir, plastiques, caoutchouc, papier...), utilisés dans différentes fonctions (bâtiment, grands équipements, matériels mécaniques et électroniques, vêtements...).

Les polluants participent aussi à la corrosion des métaux, comme le cuivre, l'argent, le fer et l'aluminium. Le grès, le calcaire, la brique, le béton et le verre sont également vulnérables à certains ingrédients du smog, notamment l'ozone, le dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote. Ces deux derniers éléments peuvent se transformer en acides corrosifs en présence d'humidité dans l'air.

La corrosion des matériaux de construction a fait l'objet du plus grand nombre d'études et notamment d'un Programme International Concerté dans le cadre de la Convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière. Les études ont permis de mettre en relation la corrosion de nombreux matériaux avec les concentrations de polluants dans l'air ambiant.

Ces fonctions exposition-réponse ne constituent évidemment qu'un modèle simplifié de la réalité : les tests portent sur des matériaux-standards alors que des matériaux tels que la pierre présentent des qualités très variables suivant leur origine ; la vitesse de corrosion des matériaux sur site dépend de leur emplacement, plus ou moins exposé aux agents climatiques; les études n'ont jusqu'à présent porté que sur quelques polluants principaux...

Outre la connaissance des fonctions exposition-réponse, une évaluation fine des effets de la pollution sur le parc de bâtiments d'un pays et sur sa gestion exige des études lourdes pour

décrire le stock de matériaux constitutifs du parc et pour convertir les vitesses de corrosion des matériaux en fréquences de remplacement ou d'entretien et donc en coûts économiques. Une étude faite suivant une approche de ce type a conduit à évaluer le coût de l'impact "bâtiment" des émissions de dioxyde de soufre du trafic routier de la ville d'Oslo à 0,03 F/litre d'essence et 0,06 F/litre de gazole (Glomsrod, 1996, p.43).

A coté de la corrosion des matériaux, une autre forme d'impact de la pollution atmosphérique sur le cadre bâti est constituée par le phénomène de salissure de la surface des matériaux du fait des dépôts de particules. Les particules fines, et notamment les particules émises par les moteurs diesel, paraissent particulièrement efficaces de ce point de vue.

La visibilité est la qualité de l'atmosphère qui permet de voir à une plus ou moins grande distance, mais aussi de voir plus ou moins bien des objets proches et d'en apprécier les détails de couleur ou de texture. La visibilité est considérée comme un élément de bien-être.

La pollution atmosphérique réduit la visibilité, par absorption et par diffraction de la lumière. L'absorption est principalement le fait des particules de carbone élémentaire, qui donne à l'atmosphère une couleur brune. La diffraction, qui est le fait des particules fines, est fonction de la taille des particules ; elle est donc en relation avec l'humidité de l'atmosphère, la composition chimique des particules et leur processus de formation.

L'observation d'un bâtiment ou d'une statue révèle l'ampleur de cette dégradation physique et esthétique, attribuée à la sulfatation et au dépôt et à l'accrochage de poussières noirâtres. Ainsi, sur une même façade, coexistent des zones sombres et des zones claires. Les premières, abritées de la pluie, sont couvertes de croûtes noires constituées par du gypse cimentant, entres autres particules, des cendres volantes et des suies. A l'inverse, les zones claires, frappées par la pluie ou parcourues par des ruissellements d'eau, offrent l'aspect d'un matériau nu, lavé ou même érodé: les particules déposées entre deux pluies ont été évacuées et le peu de gypse formé a été dissout.

La pollution des villes n'est pas un phénomène récent : les monuments en témoignent. Lorsque l'on brûle des combustibles (bois, charbon, fioul lourd ou léger, essence, kérosène, gaz naturel...) dans de mauvaises conditions de ventilation (moteur déréglés, conduit de chaudières et de poêles encrassés, feux de cheminées mal éteints, incendies...), des particules noirâtres sont produites qui se déposent et s'incrument dans les façades, provoquant ainsi leur noircissement.

Enfin le tableau II.3 synthétise d'une manière générale l'impact des polluants rejetés par les cimenteries sur les différents récepteurs.

Tableau II.3 Exemples d'effets sur différents récepteurs de la pollution atmosphérique.

POLLUANTS	EFFETS	RECEPTEURS
Particules primaires	Salissure	Matériaux
Particules secondaires : Nitrates, sulfates, composés organiques ...	Réduction de visibilité Impacts sur la santé	Homme psychisme Homme biologique Homme psychisme
Oxydants photo chimiques : ozone, aldéhydes, peroxyac et ylnitrate.	Corrosion Impactes sur la santé Ecotoxicité	Matériaux Homme psychisme Homme biologique Cultures Ecosystèmes terrestres Ecosystèmes aquatiques
Oxydes d'azote	Ecotoxicité Acidification Impacts sur la santé Eutrophication	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ecosystèmes terrestres ▪ Ecosystèmes aquatiques ▪ cultures ▪ Ecosystèmes aquatiques ▪ Ecosystèmes terrestres ▪ Homme biologique ▪ Homme psychisme Ecosystèmes terrestres Ecosystèmes aquatiques
Oxydes de soufre	Impacts sur la santé Ecotoxicité Acidification	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Homme biologique ▪ Homme psychisme ▪ Cultures ▪ Ecosystèmes terrestres ▪ Ecosystèmes aquatiques ▪ Ecosystèmes aquatiques ▪ Ecosystèmes terrestres
Monoxyde de carbone	Impacts sur la santé	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Homme psychisme ▪ Homme biologique
Composés organiques volatils.	Impacts sur la santé	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Homme psychisme ▪ Homme biologique
Hydrocarbures aromatiques polycycliques.	Ecotoxicité Impacts sur la santé	<ul style="list-style-type: none"> ▪ cultures ▪ Ecosystèmes terrestres ▪ Ecosystèmes aquatiques ▪ Homme psychisme ▪ Homme biologique
Métaux lourds	Impacts sur la santé Ecotoxicité	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Homme psychisme ▪ Homme biologique ▪ cultures ▪ Ecosystèmes terrestres ▪ Ecosystèmes aquatiques
Dioxyde de carbone	Changement climatique	Ecosphère

(Source: Glomsrod, 1996 < http://lpsc.in2p3.fr/gpr/Dautreppe/Landrieu/Landrieu_texte2.htm).

II.7. Les effets des polluants sur l'environnement :

La pollution de l'air constitue à la fois une atteinte à notre qualité de vie et à notre santé. Elle est aussi néfaste pour l'environnement et le climat (pluies acides, pollution photochimique, trou de la couche d'ozone, effet de serre...).

Les effets des polluants se ressentent sur les écosystèmes mais aussi sur les bâtiments (corrosion, noircissement, encroûtement et altérations diverses)

Les dépôts de poussières le long des axes de circulation entraînent une multiplication des feuillaisons des arbres, et accentuent le stress d'implantation des jeunes pieds de rosiers qui s'accumulent difficilement, alors que les plantes âgées semblent bien s'adapter. Mais la pollution a un impact esthétique plus qu'économique: elle n'entraînera pas de changement fondamental dans la gestion des arbres urbains.

En revanche, les particules et les macromolécules présentent essentiellement un risque de contamination de la chaîne alimentaire.

Les molécules organiques (composés organiques volatils, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), Dioxine, pesticides) et les métaux lourds se présentent souvent sous forme de particules, d'aérosols ou sont adsorbés sur d'autres particules (suie, diesel). Celles-ci se collent sur la cuticule cireuse des feuilles notamment, d'où certaines sont difficilement lavées. Aussi les végétaux exposés destinés à être consommés, c'est-à-dire les cultures maraîchères, fruitières et fourragères, présentent-ils le plus de risque de contamination pour l'homme et l'animal, les céréales étant relativement protégées dans leurs enveloppes. L'absorption à l'intérieur des parties aériennes du végétal est par contre limitée, comme celle par les racines d'autant plus que le sol constitue un filtre efficace (Ferfar, 2003, p. 31)

Les poussières déposées sur les plantes les empêchent de respirer et peuvent causer leur mort progressive. A la longue, cela provoque la disparition de toutes les espèces végétales avoisinantes. Les différentes études de recherche ont montré que certains rejets chimiques comme le SO₂, le fluor et le peroxy acétyl nitrate avaient des effets néfastes sur la végétation. Les plantes affectées sont aussi rendues plus sensibles aux infections cryptogamiques, ce qui entraîne avec le temps une réduction du rendement des cultures (Khelifa, 2009, p. 212).

La pollution de l'air peut créer des troubles graves dans les mécanismes régulateurs des fonctions qui régissent la vie d'une plante (nutrition, croissance, reproduction...). Les polluants pénètrent dans les végétaux par les stomates et les lenticelles des feuilles, ou indirectement par le sol. L'obstruction des stomates, par les fines particules, provoque un lent dépérissement des végétaux. Les polluants non dotés d'un tel pouvoir de pénétration, y compris les impuretés solides en suspension dans l'air (cendre, suie, poussières) et insolubles dans l'eau, sont entraînés par la pluie ou la neige et se déposent sur la végétation et le sol.

Les poussières de ciment sont dans certains cas nocifs pour la végétation. On relève la présence de croûtes grisâtres sur les plantes situées autour des cimenteries, d'épaisseur variable selon l'importance des retombées. Les croûtes empêchent toute fonction métabolique des feuilles qui finira par la mort des plantes. (Belala & Debbih 2003, p. 22)

Tableau II.4 effets des polluants sur l'environnement

Polluants	Effets sur l'environnement
Dioxyde de soufre SO ₂	En présence d'eau, le dioxyde de soufre forme de l'acide sulfurique (H ₂ SO ₄) qui contribue, comme l'ozone, à l'acidification de l'environnement <ul style="list-style-type: none"> ▪ Participation au phénomène des pluies acides par transformation en acide sulfurique au contact de l'humidité de l'air. ▪ Dégradation de la pierre et des matériaux de nombreux bâtiments.
Poussières ou Particules en suspension dont PM ₁₀ et PM _{2,5}	Les poussières absorbent et diffusent la lumière, limitant ainsi la visibilité. Elles suscitent la formation de salissure par dépôt et peuvent avoir une odeur désagréable. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Effets de salissure des monuments et bâtiments.
Oxydes d'azote NO et NO ₂	Les NO _x interviennent dans la formation d'ozone troposphérique et contribuent au phénomène des pluies acides qui attaquent les végétaux et les bâtiments <ul style="list-style-type: none"> ▪ Participation à l'augmentation de l'effet de serre
Ozone O ₃	En quantité très élevée, l'ozone peut avoir des conséquences dommageables pour l'environnement. Il contribue à l'acidification de l'environnement qui perturbe la composition de l'air, des eaux de surface et du sol. Ainsi, l'ozone porte préjudice aux écosystèmes (dépérissement forestier, acidification des lacs d'eau douce, atteinte à la chaîne alimentaire,...) et dégrade les bâtiments et les cultures. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Diminution des rendements agricoles ▪ Dégradation des matériaux (caoutchouc par exemple) ▪ Participation à l'augmentation de l'effet de serre
Monoxyde de carbone CO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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.
Composés Organiques Volatils COV dont le benzène	Les COV interviennent dans la formation d'ozone troposphérique et contribuent au phénomène des pluies acides qui attaquent les végétaux et les bâtiments. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Participation à la formation de l'ozone troposphérique (rôle majeur avec les oxydes d'azote) ▪ Participation indirecte à l'augmentation de l'effet de serre (par intervention dans des mécanismes conduisant à la formation des gaz à effet de serre).
Métaux Lourds dont Plomb Pb, Arsenic As, Nickel Ni, Cadmium Cd	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contamination des sols et des aliments ▪ Accumulation dans les organismes vivants et perturbation des mécanismes et équilibres biologiques.
Dioxyde de carbone (CO ₂)	L'augmentation de la concentration en CO ₂ accroît sensiblement l'effet de serre et contribue à une modification du climat planétaire.

(Source : <http://www.airfobep.org/impact-pollution-environnement.html>)

Au XXI^e siècle, la protection de l'environnement est devenue un enjeu majeur, en même temps que s'imposait l'idée de sa dégradation à la fois globale et locale, à cause des activités humaines polluantes. La préservation de l'environnement est un des trois piliers du développement durable. C'est aussi le 7^{ème} des huit objectifs du millénaire pour le développement, considéré par l'ONU

comme « crucial pour la réussite des autres objectifs énoncés dans la Déclaration du Sommet du Millénaire »

II.8. L'impact du bruit sur la santé

Des émissions sonores sont produites tout au long du procédé de production du ciment, de la préparation et de la transformation des matières premières à l'expédition du produit final en passant par la cuisson du clinker, le procédé de production du ciment et le stockage. Les équipements lourds et les ventilateurs de grande puissance utilisés à différentes étapes du procédé de fabrication du ciment peuvent être des sources de bruit ou de vibrations, ou les deux, notamment :

- les goulottes et trémies,
- toutes opérations dans lesquelles la matière première, les combustibles, le clinker et le ciment sont cassés, concassés, broyés ou tamisés,
- les ventilateurs extracteurs,
- les soufflantes,
- la vibration des conduites.

Les cimenteries doivent se conformer aux normes de réductions imposées par la réglementation nationale et des relevés de bruit sont réalisés et analysés. L'industrie du ciment utilise des écrans antibruit naturels tels que les bâtiments administratifs, des murs, les arbres et les buissons pour réduire les émissions sonores. Lorsqu'une cimenterie est implantée dans une zone résidentielle, la construction de tout nouveau bâtiment est conditionnée à la réduction des émissions sonores. (CE, 2007, p. 100)

Cependant, le bruit, ou plus précisément l'excès de bruit, constitue un préjudice à la qualité de vie et à la santé des personnes. Il s'est avéré que celui-ci a non seulement des effets sur les organes de l'audition, mais aussi sur l'organisme en général, et notamment avec des troubles du sommeil ou du comportement.

L'exposition au bruit s'accompagne d'hypertension artérielle chez les hommes, de troubles du sommeil, d'hospitalisation et arrêt de travail ainsi que des états anxieux et une augmentation de consommation de médicaments. (Berglund & Maschke, 2000, p.7)

II.9. Effets des Odeurs

Les émissions d'odeurs posent très rarement problème dans une installation bien conduite. Si les matières premières contiennent des composants combustibles (kérogènes) qui ne brûlent pas

mais qui pyrolysent quand leur température s'élève dans le préchauffeur, des émissions d'hydrocarbures peuvent se produire. Ces rejets sont visibles au sommet de la cheminée sous forme d'un panache ou de fumée bleue et peuvent être à l'origine d'odeurs tout autour des cimenteries quand les conditions météorologiques sont défavorables. L'utilisation de combustibles ou de matières premières contenant du soufre, ou les deux, peut entraîner des dégagements d'odeurs (ce problème touche plutôt les fours verticaux).

En outre, les déchets utilisés comme matières premières ou combustibles peuvent être à l'origine d'émissions d'odeurs, notamment pendant les différentes étapes de transformation comme la préparation ou le stockage. L'utilisation d'ammoniac pour la réduction des NO_x peut également causer des émissions d'odeurs pendant certaines étapes du procédé s'il n'est pas manipulé correctement. (CE, 2007, p. 100)

II.10. Conclusion

Le ciment est un produit indispensable pour la construction et le développement de tous les pays mais dont la fabrication est un risque potentiel qui a un mauvais impact sur la santé et sur l'agriculture avoisinante si des mesures ne sont pas mises en œuvre pour une bonne protection.

Les cimenteries ne sont pas appelées uniquement à améliorer la qualité de leurs ciments et à baisser leurs coûts, mais aussi à remédier aux problèmes de pollution causés par les rejets des gaz et des poussières qu'elles dégagent à tous les niveaux de la fabrication de leurs ciments.

Concernant la localisation : la nocivité des cimenteries serait moindre si les usines étaient installées dans des régions à faibles densité humaines et sur des terres non agricoles.

Références :

- 1- Aoudia M. T, (2001), « Les rejets atmosphériques dans le secteur de la production du ciment et leurs impacts sur l'environnement. Moyens d'évaluation et de contrôle ». Séminaire CETIM, du 28-30 Octobre, Hôtel Hilton d'Alger.
- 2- Bastarache E, (2003), « Le chrome et ses composés : Substitutions de matériaux céramiques complexes. Smart Conseil », Québec, Canada. (<http://www.sorel-tracy.qc.ca/~edouardb/>)
- 3- Bastarache E, (2003), « Manganèse et composés : Toxicologie. » Tracy, Québec, Canada. (<http://www.sorel-tracy.qc.ca/~edouardb/>)
- 4- Belala A & Demmene Debbih W, (2003), « Pollution particulaire et métallique aéroportée dans la ville de Didouche Mourad », Mémoire de fin d'étude en écologie et environnement, Université Mentouri Constantine
- 5- Berglund B & Maschke C, (2000), « Bruit et santé » : Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 30p.
- 6- Benyoucef K, (1992), « Mesure des retombées totales et humides à Blida ». Mémoire de fin d'étude de cycle d'ingénieur, Université Blida.
- 7- Bisson J, (1990), « Pollution atmosphérique. Environnement » Canada. Ottawa.
- 8- Bonnard N & al, (2000), « Cobalt et composés minéraux », INRS fiche toxicologique N° 128. (<http://www.inrs.fr/dossiers/fichtox/ft128.pdf>).
- 9- Commission Européenne, (2010), « Document de référence sur les meilleures techniques disponibles Industries du ciment, de la chaux et de la magnésie », Ministère de l'énergie et du développement durable et de la mer en France, Paris.
- 10- Ferfar A, (2003), « étude des retombées atmosphériques autour de la cimenterie de Hamma Bouziane », Mémoire de fin d'étude en Ecologie et Environnement, Option : Pathologie des écosystèmes (Pollution), Université Mentouri de Constantine.
- 11- Glomsrod S, & al, (1996), « Air pollution, impacts and values; corrosion costs of buildings, materials and cars in Norway », SFT, Oslo, 54p.
- 12- Kadem. D.E.D, (2000), « Pollution des sols par les métaux lourds ». Mémoire magistère, option Ecologie. Université Mentouri Constantine (Algérie).
- 13- Khelifa M. R. & al, (2009), « les cimenteries et l'environnement cas de la cimenterie de ain-touta », 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, SBEIDCO October 12-14 Oran (Algérie).

- 14- OMS, (1986), Directive de qualité pour l'eau de boisson. Volume 2, Critères d'hygiène et documentation à l'appui. Genève.
- 15- Azimi S, (2004), « sources, flux et bilan des retombées atmosphériques de métaux » Mémoire de doctorat option : Sciences et Techniques de l'Environnement ILE-DE-France.
- 16- Sekiou. S, (1998), « Incidents de la Pollution des Carriers d'Agrégats sur les Sols. Cas de la carrière géante de Ain-Touta », mémoire d'ingénieur. Université de Batna, 69p.
- 17- Stenger, R, (1998), « Partie I : Polluants contenus dans les fumées » Colorado Springs, USA.

III.1. Introduction

La prévention et le contrôle intégrés de la pollution résultant des activités de la fabrication du ciment en vue de conduire à un haut niveau de protection de l'environnement dans son ensemble sont un sujet pertinent dans la communauté Européenne en général et dans les pays en voie de développement y compris l'Algérie en particulier. Le stade de développement le plus efficace et avancé des activités et de leurs modes d'exploitations, démontrent l'aptitude pratique de techniques particulières à constituer, en principe, la base des valeurs limites d'émission visant à éviter et, lorsque cela s'avère impossible, à réduire de manière générale les émissions et l'impact sur l'environnement dans son ensemble.

En Europe « Les meilleures techniques disponibles » sont utilisées pour un résultat optimum de protection et ces termes sont définis par la Directive 2008/1/CE du Parlement européen et du Conseil relative à la prévention et au contrôle intégrés de la pollution (IPPC), comme suit :

- par « techniques », on entend aussi bien les techniques employées que la manière dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise à l'arrêt ;
- par « disponibles », on entend les techniques mises au point sur une échelle permettant de les appliquer dans le contexte du secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, en prenant en considération les coûts et les avantages, que ces techniques soient utilisées ou produites ou non sur le territoire de l'État membre intéressé, pour autant que l'exploitant concerné puisse y avoir accès dans des conditions raisonnables ;
- par « meilleures », on entend les techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

Cette section présente les mesures/techniques développées dans cette Directive, relative à la prévention et au contrôle intégrés de la pollution, qui de l'avis général, permettent d'atteindre des niveaux de protection de l'environnement élevés dans les industries de ciments et autres. Les systèmes de management, les mesures/techniques intégrées aux processus et les mesures/techniques curatives y sont inclus, mais il convient de souligner que ces trois éléments peuvent être combinés dans le but d'obtenir des résultats optimaux. L'emploi de ces mesures en Europe et ailleurs dans le monde a donné des résultats satisfaisants. Leur investigation nous permettra plus tard de vérifier si ces mesures ou certaines entre elles sont adoptées au niveau des cimenteries Algériennes.

III.2. Techniques générales adoptées pour la réduction des impacts de la cimenterie

III.2.1. Optimisation de la conduite des fours

L'optimisation du procédé de clinkérisation vise en général à diminuer la consommation calorifique, à améliorer la qualité du clinker et à augmenter la durée de vie des équipements (le revêtement réfractaire par exemple) en stabilisant les paramètres du procédé. La réduction des émissions (NO_x, SO₂ et poussières) est un effet secondaire de cette optimisation. La conduite régulière et stable d'un four au plus près des valeurs nominales des paramètres du procédé appliqué est bénéfique pour toutes les émissions des fours ;

L'optimisation inclut des mesures/techniques comme l'homogénéisation des matières premières, la régularité du dosage du charbon et l'amélioration du fonctionnement du refroidisseur. Pour que le débit d'alimentation en combustibles solides soit régulier, avec un minimum de pointes, il est essentiel que la configuration des trémies, des convoyeurs et des distributeurs soit satisfaisante et permette la mise en place d'un système moderne d'alimentation en combustible solide par gravité.

- Les émissions de NO_x diminuent quand la longueur de la flamme, la température de cuisson et la consommation de combustibles diminuent et avec la création d'une atmosphère réductrice dans le four. Le contrôle de la teneur en oxygène de l'atmosphère du four (facteur d'excès d'air) joue un rôle essentiel dans la réduction des NO_x. En général, plus la teneur en oxygène (facteur d'excès d'air) est faible à l'arrière du four, plus la production de NO_x est faible. Ceci doit cependant être pondéré avec les augmentations de CO et de SO₂ pour de plus faibles teneurs en oxygène.
- L'effet de l'optimisation du procédé du four sur les émissions de SO₂ est considérable sur les fours longs en voie humide et sèche et marginale pour les fours à préchauffeur. Les émissions de SO₂ diminuent avec le CaO produit par la calcination, la volatilité du SO₂, provoquée par la réduction de la longueur de la flamme, la baisse des températures de cuisson et la création d'une atmosphère oxydante dans le four, le tout associé à un régime de fonctionnement stable.
- La stabilité des conditions de marche des fours et l'élimination des pics de CO en cas d'utilisation de filtres électrostatiques réduisent les émissions de poussières ce qui diminue les émissions de substances adsorbées par les poussières, comme les métaux. Les systèmes de régulation modernes utilisant des appareils de mesure et de contrôle à réaction rapide acceptent des consignes plus fines, ce qui réduit le nombre de déclenchements de la sécurité sur « pics de CO ».

- La surveillance et la mesure des paramètres et des émissions du procédé jouent un rôle essentiel dans l'optimisation de la conduite des fours.

Avantages de cette mesure pour l'environnement :

La réduction de la longueur de la flamme et des températures de cuisson entraîne des réductions d'émissions de NO_x. Cela permet en outre de réduire la consommation de combustibles. Pour réduire les émissions de poussières, il convient d'assurer la stabilité des conditions de marche du four et d'éviter les pics de CO en utilisant des filtres électrostatiques. (CE, 2010, pp. 115-116)

III.2.2. Choix des combustibles et des matières premières

La sélection et le contrôle soigneux des matières introduites dans un four peuvent réduire les émissions. La limitation de la teneur en soufre des matières premières et des combustibles peut par exemple diminuer les rejets de SO₂. Ceci s'applique aussi aux matières premières et aux combustibles contenant d'autres substances comme l'azote, les métaux, les composés organiques volatils, le HCl et le HF. Il existe cependant des différences selon les fours et les points d'alimentation. La teneur en soufre ne pose par exemple pas de problème dans les fours en voie sèche à préchauffeur et précalcinateur et tous les composés organiques des combustibles brûlés par le brûleur principal seront complètement détruits.

La limitation de la teneur en chlore des matières introduites dans le four diminue la formation des chlorures alcalins et des autres chlorures métalliques ; qui peuvent provoquer des colmatages, perturber les conditions de marche du four, nuire au bon fonctionnement des filtres électrostatiques et finalement faire augmenter les émissions de poussières. Quand des matières sont très alcalines, il faut parfois évacuer une partie des poussières au lieu de les recycler dans le four pour éviter que l'alcalinité des produits finaux soit trop élevée. Dans ce cas, l'utilisation de matières peu alcalines peut permettre de recycler les poussières dans le procédé ce qui réduit la quantité de déchets qu'il produit.

Les combustibles et les matières premières conventionnels peuvent être remplacés par différents types de déchets. Il est toutefois essentiel de soumettre certaines caractéristiques et certains paramètres spécifiques de ces déchets à un contrôle qualité rigoureux. Des déchets appropriés utilisés comme combustible sélectionnés pour leur pouvoir calorifique et leur réactivité ainsi que pour leur faible teneur en humidité et en substances polluantes peuvent économiser des combustibles fossiles. (Étude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.68)

Les déchets utilisés comme matières premières qui contiennent des COV, des composés halogénés et du mercure peuvent poser problème, tout particulièrement en matière d'émissions. Il faut éviter d'introduire des matériaux à forte teneur en métaux volatils dans le four. La teneur

en mercure des matières doit être réduite et il peut être nécessaire de limiter l'apport de mercure dans le four. Les déchets qui contiennent des COV/composés halogénés ne peuvent être utilisés que si les composants volatils peuvent se décomposer à haute température avec un temps de séjour suffisant. Un contrôle systématique est obligatoire dans le cas de l'utilisation de déchets.

Avantages pour l'environnement: Un choix rigoureux des combustibles et des matières premières peut limiter l'apport de substances pouvant être à l'origine d'émissions. L'utilisation de déchets combustibles présente deux avantages : l'économie de combustibles fossiles et la réduction de la mise en décharge.

(CE, 2010, pp. 117-118)

III.2.3. Utilisation de déchets comme combustibles

Les déchets sélectionnés en raison de leur pouvoir calorifique (net) adéquat peuvent servir de combustibles dans un four à ciment à la place des combustibles fossiles conventionnels, comme le charbon, s'ils répondent à certaines spécificités et caractéristiques. Ils ne peuvent souvent être utilisés qu'après un prétraitement afin d'alimenter la cuisson du clinker avec des combustibles sur mesure. Différents critères pèsent dans le choix des déchets combustibles, car ils peuvent avoir un impact sur la conduite du four et sur les émissions, il s'agit notamment de :

- critères physiques, par exemple l'entraînable à l'air,
- critères chimiques, par exemple la teneur en chlore, en soufre, en éléments alcalins et en phosphate, la réactivité et la teneur en métaux volatils.

D'autres équipements de surveillance de l'environnement peuvent être installés afin de contrôler les émissions. Des mesures/techniques spéciales appliquées au contrôle et au procédé sont nécessaires afin de respecter les normes relatives à l'environnement, à la sécurité et à la qualité.

Avantages pour l'environnement : Le choix des déchets combustibles est motivé par un certain nombre de facteurs étroitement liés dont il convient de tenir compte. Les points principaux suivants en font partie :

- réduction des émissions, par exemple CO₂ fossile et NO_x ,
- réduction de l'utilisation de ressources naturelles, par exemple les combustibles fossiles et les matières premières.

(CE, 2010, pp. 118-116)

III.2.4. Emissions de poussières

Cette section décrit les mesures/techniques visant à prévenir des émissions de poussières canalisées et diffuses.

III.2.4.1. Mesures/techniques pour les opérations génératrices de poussières

Les émissions de poussières diffuses sont principalement liées au stockage et à la manutention des matières premières, des combustibles et du clinker ainsi qu'à la circulation des véhicules sur le site de fabrication. Une implantation simple et linéaire est préférable, car elle permet de minimiser les éventuelles sources d'émissions de poussières diffuses. La maintenance correcte et complète de l'installation réduit toujours indirectement les émissions diffuses, car elle diminue les fuites d'air et les points de déversement accidentel de matériaux. L'utilisation d'équipements automatiques et le bon fonctionnement continu de l'installation contribuent également à réduire les émissions diffuses. Plusieurs mesures/techniques différentes de réduction des poussières diffuses sont présentées ici. Elles sont applicables individuellement ou en association:

- capoter les activités qui dégagent de la poussière, comme le broyage, le tamisage et le mélange,
- recouvrir les convoyeurs et les tapis élévateurs qui sont construits sous la forme de systèmes clos si des matériaux poussiéreux sont susceptibles de causer des émissions de poussières diffuses,
- diminuer les fuites d'air et les points de déversement, achèvement de l'installation,
- utiliser des équipements automatiques et des systèmes de régulation,
- veiller à un fonctionnement sans problème,
- nettoyer à l'aide de systèmes d'aspiration fixes et mobiles pour une maintenance correcte et complète de l'installation :

- au cours des opérations de maintenance ou en cas de problème avec les convoyeurs, des matériaux peuvent se déverser. Il est indispensable d'utiliser des systèmes de nettoyage par aspiration pour empêcher les émissions de poussières diffuses pendant les opérations d'enlèvement. L'équipement des bâtiments neufs avec des systèmes fixes de nettoyage par aspiration ne pose pas de problème. Par contre, il est préférable d'équiper les bâtiments existants de systèmes mobiles et de raccords souples. (Étude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.108)

- Pour des systèmes de transport pneumatiques, un système à circulation pourrait être favorisé dans certains cas particuliers,

- ventilation et collecte dans des filtres à manches :

- les matériaux doivent autant que possible être manipulés dans des circuits fermés en dépression. L'air de succion utilisé à cet effet est ensuite dépoussiéré dans un filtre à manches avant d'être renvoyé à l'air.

- effectuer le stockage en milieu clos avec un système de manutention automatique :
 - les silos de stockage du clinker et les zones de stockage des matières premières clos entièrement automatisés sont considérés comme la solution la plus efficace au problème des émissions de poussières diffuses liés à la présence de stocks volumineux. Les installations de stockage de ce type sont équipées d'un ou de plusieurs filtres à manches pour empêcher les émissions de poussières diffuses pendant les opérations de chargement et de déchargement.
 - procéder au stockage dans des silos aux capacités adéquates, dotés d'indicateurs de niveau, d'interrupteurs et de filtres afin de gérer l'air chargé de poussière mis en mouvement lors des opérations de remplissage,
 - pour l'expédition et le chargement du ciment, utiliser des tuyaux de remplissage flexibles dotés d'un système d'extraction de poussières et orientés vers le plancher de chargement du camion.

Avantages pour l'environnement :

- Réduction des émissions de poussières diffuses.
- Le confinement des machines permet aussi de réduire les niveaux de bruit.

(CE, 2010, pp. 120-121)

III.2.4.2. Mesures/techniques pour les zones de stockage en vrac et les stocks

Description et avantages pour l'environnement

Afin de réduire les émissions de poussières diffuses des lieux de stockage des matières premières minérales poussiéreuses ou des combustibles en plein air, les stocks ou les zones de stockage en vrac peuvent être recouverts ou encloués par des grilles, des parois ou un recouvrement végétal vertical (pare-vents artificiels ou naturels pour la protection contre le vent des matériaux stockés à ciel ouvert). Exemples de mesures/techniques de réduction des émissions de poussières diffuses :

- protection contre le vent des matériaux stockés à ciel ouvert :
 - Il faut éviter de stocker en plein air les réserves de matériaux poussiéreux, mais lorsque c'est le cas, l'utilisation de pare-vents correctement conçus permet de diminuer les émissions de poussières diffuses.
 - pulvérisation d'eau et d'agents chimiques permettant d'éviter la formation de poussières :
 - quand la source de poussières diffuses est bien localisée, un circuit de pulvérisation d'eau peut être installé. L'humidification des poussières facilite leur agglomération et favorise leur dépôt. Par ailleurs, de très nombreux agents permettent d'améliorer l'efficacité générale des pulvérisations d'eau.

- pavage, humidification des chaussées, propreté :
 - les zones de circulation des camions doivent être empierrées chaque fois que possible et la surface doit être maintenue dans un bon état de propreté. L'humidification des routes peut réduire les émissions de poussières diffuses, en particulier par temps sec. Des balayeuses peuvent également nettoyer la voirie. L'application de bonnes règles de maintenance permet de minimiser les émissions de poussières diffuses.

- humidification des stocks :
 - les émissions de poussières diffuses des stocks peuvent être réduites grâce à une humidification suffisante des points de chargement et de déchargement ainsi qu'avec l'utilisation de convoyeurs réglables en hauteur.

Si les émissions de poussières diffuses aux points de chargement et de déchargement des sites de stockage sont inévitables, elles peuvent toutefois être réduites en ajustant, si possible automatiquement, la hauteur de déchargement à la hauteur du tas ou en réduisant la vitesse de déchargement.

(CE, 2010, pp. 122-123)

III.2.4.3. Réduction des émissions de poussières canalisées

Il existe différents points principaux d'émission de poussières dans les cimenteries : les fours, les refroidisseurs à clinker et les broyeurs à matière première, à ciment et à charbon, ainsi que les procédés secondaires. Il est possible de réduire une grande partie des poussières fines (PM_{10} , $PM_{2,5}$) en réduisant de la concentration totale de poussière et en utilisant des installations de dépoussiérage à haute efficacité. Différents systèmes de dépoussiérage ont été utilisés par le passé, mais en 2007 les principaux systèmes de filtration de gaz résiduaux secs utilisés pour la réduction des poussières étaient les filtres à manches, les filtres électrostatiques ou bien une combinaison des deux que l'on appelle les filtres hybrides. On signale dans certains cas l'utilisation de filtres lamellaires frittés, toutefois pas pour des applications de four à ciment.

Les filtres électrostatiques et filtres à manches ont leurs avantages et leurs inconvénients. Ils sont tous deux très efficaces dans les conditions de services normales. Dans des conditions spéciales - forte concentration en CO, démarrage ou arrêt du four, passage du fonctionnement compound (broyeur à cru en marche) au fonctionnement direct (broyeur à cru arrêté), les performances des filtres électrostatiques peuvent être diminuées alors que celles des filtres à manches sont moins affectées.

Les filtres électrostatiques et les filtres à manches présentent une efficacité globale élevée, car ils retiennent plus de 99 % des particules et les deux dépendent de la taille des particules. Afin de

conserver leur efficacité, les deux types de filtres doivent être dûment entretenus (régulièrement). Il convient d'utiliser différents types d'éléments filtrants en fonction de la température des gaz résiduels. Les manches ont l'inconvénient de constituer un déchet quand elles sont usées.

(CE, 2010, pp. 123-124)

Filtres électrostatiques : Ces filtres créent un champ électrostatique au travers de la trajectoire des matières particulaires en suspension dans la veine d'air. Leurs charges électriques deviennent négatives et elles se dirigent vers les plaques collectrices chargées positivement. Celles-ci vibrent ou sont frappées régulièrement, ce qui fait tomber la poussière dans des bacs de récupération placés en-dessous. Il est important d'optimiser les cycles de frappe des filtres électrostatiques pour minimiser le réentraînement des particules et donc limiter le potentiel de voir le panache formé au sommet de la cheminée. Les filtres électrostatiques se caractérisent par leurs aptitudes à supporter des températures élevées (jusqu'à 400 °C environ) et de forts taux d'humidité.

Les principaux inconvénients de cette mesure/technique sont une baisse d'efficacité lors de la formation d'une couche isolante et une accumulation de matière causée par l'introduction de chlore et de soufre. Les problèmes de résistivité élevée de la poussière peuvent en partie être résolus par injection d'eau dans des refroidisseurs-évaporateurs. L'utilisation de filtres à manches est une solution permettant également de résoudre cet inconvénient.

Les filtres électrostatiques éliminent non seulement les poussières, mais aussi les substances qui s'adsorbent sur ces particules, comme la dioxine et les métaux, s'ils sont présents. La taille et la consommation électrique des filtres électrostatiques augmentent de façon exponentielle parallèlement à la réduction du niveau de poussières dans les gaz épurés. Le fonctionnement optimal d'un filtre électrostatique dépend de caractéristiques définies du gaz brut, comme sa température et son taux d'humidité. Un filtre électrostatique correctement entretenu peut avoir une durée de vie de plusieurs dizaines d'années. Certaines pièces, comme les marteaux et les paliers, doivent être remplacées régulièrement après quelques années de service dans le cadre de l'entretien courant. (CE, 2010, pp. 124-126)

Filtres à manches : Les filtres à manches sont efficaces pour collecter les poussières. Le principe de base d'un filtre à manches consiste à utiliser une membrane en tissu perméable aux gaz mais retenant les poussières. L'élément filtrant est disposé géométriquement, mais on distingue les manches cylindriques (suspendues verticalement), illustrés sur la Figure III.1, des poches qui s'installent horizontalement. Dans un premier temps, les poussières se déposent sur les fibres en surface et à l'intérieur du tissu mais comme une couche de poussière se forme à la surface du filtre, la poussière devient le principal élément filtrant. Les gaz de dégagement

peuvent circuler de l'intérieur de la manche vers l'extérieur ou l'inverse. Au fur et à mesure que la couche de poussière s'épaissit, la résistance au passage des gaz augmente ; c'est pourquoi le filtre doit être nettoyé régulièrement pour contrôler la perte de charge dans le filtre. Il existe plusieurs méthodes de nettoyage, mais les plus courantes sont le contre-courant à jets d'air comprimé (filtres à jet d'air pulsé), le frappe ou le battage mécanique et le nettoyage par vibration. Un filtre à manches doit avoir plusieurs compartiments isolés les uns des autres en cas de rupture d'une manche ; elles doivent être suffisamment nombreuses pour que le filtre conserve son efficacité si l'une d'elles est percée. Chaque compartiment doit être muni d'un « détecteur de manche percée » indiquant qu'il faut la remplacer, si nécessaire.

Les manches sont disponibles dans une gamme de tissus tissés et non tissés. Pour les applications à température élevée, il faudra utiliser d'autres tissus que ceux « couramment » disponibles. Il en existe une gamme très satisfaisante. Les tissus synthétiques modernes peuvent supporter des températures assez élevées (jusqu'à 280 °C).



Figure III.1 : Exemple de filtre à manches et de matière filtrante utilisés dans une cimenterie du Royaume-Uni (CE, 2010, pp. 127)

La performance des filtres à manches est fortement influencée par différents facteurs, tels que la compatibilité de l'élément filtrant avec les caractéristiques des gaz résiduels et des poussières, ses propriétés adéquates de résistance thermique, physique et chimique (hydrolyse, acide, élément alcalin et oxydation) et la température. La surface de filtration, l'efficacité de séparation et la résistance à la filtration (autrement dit la « pression différentielle du filtre ») sont autant de caractéristiques importantes pour un filtre. Ces valeurs dépendent des propriétés de l'élément filtrant et des poussières. Le paramètre servant de base à la conception d'un filtre est le débit volumétrique. Il convient donc de définir le degré de filtration qui dépend du type, de la quantité et des propriétés des poussières et du gaz. Les contraintes thermiques et mécaniques ont une incidence sur la durée de vie, la consommation d'énergie et les besoins d'entretien. Le débit du gaz, l'épaisseur de la couche de poussière, la porosité et le cycle de nettoyage peuvent affecter l'efficacité de traitement des poussières. Des améliorations telles qu'une réduction de la perte de

charge dans le filtre, la détection rapide des éventuelles fuites grâce à un contrôle continu et à des détecteurs ainsi que les systèmes de nettoyage prolongent la durée de vie du filtre et font baisser les coûts.

Les refroidisseurs à clinker peuvent également bénéficier de cyclones en plus des filtres à manches. Dans un séparateur à cyclones/centrifuge, les particules de poussières à éliminer des effluents gazeux sont projetées sur la paroi extérieure de l'unité par une force centrifuge, puis éliminées à travers une ouverture située au fond de l'unité.

Dans l'industrie du ciment, les cyclones sont associés à un échangeur thermique à air pour abaisser la température et à un filtre à manches pour dépoussiérer par exemple les gaz résiduaux de refroidissement. Un cyclone peut réduire la concentration en poussières de 70 % et, combiné avec un échangeur thermique à air et un filtre à manches, il peut atteindre une efficacité de nettoyage élevée pouvant atteindre 99,99 % avec de faibles niveaux d'émission de 5 à 7 mg/Nm³. Cette installation requiert toutefois un espace suffisant en raison des grandes dimensions du cyclone (par exemple 25 m de long, 6,4 m de haut et 6,4 m de diamètre) et de l'échangeur thermique associé. (CE, 2010, pp. 127-131 ; Étude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.106)

Filtres hybrides : Les filtres hybrides sont la combinaison de filtres électrostatiques et de filtres à manches dans le même dispositif. Ils sont généralement le résultat de la conversion de filtres électrostatiques existants. Ils permettent une réutilisation partielle de l'ancien équipement. (CE, 2010, p. 132)

III.2.5. Composés gazeux

III.2.5.1. Réduction des émissions de NO_x

L'application d'une ou d'un ensemble de mesures/techniques primaires ou secondaires, ou les deux intégrées aux processus est jugée appropriée en vue de réduire ou de maîtriser les émissions de NO_x.

- Les mesures/techniques primaires sont les suivantes :

- **Refroidissement de la flamme :** L'addition d'eau au combustible ou directement dans la flamme à l'aide de différentes méthodes d'injection, l'injection d'un fluide (liquide) ou de deux fluides (liquide et air comprimé ou solides) ou l'utilisation de déchets liquides/solides avec une forte teneur en eau abaisse la température et augmente la concentration en radicaux hydroxyles. Cela peut avoir un effet positif sur la réduction des NO_x dans la zone de clinkérisation.

- **Brûleurs bas NO_x :** Leur conception varie dans les détails, mais pour l'essentiel, le combustible et l'air sont injectés dans le four par des conduites concentriques.

- **Chauffe en milieu de four** : Dans les fours longs en voie humide et sèche, la création d'une zone réductrice par la combustion de combustibles en morceaux peut diminuer les émissions de NO_x . Comme il n'existe pas normalement de zone de température à 900 ou 1 000 °C dans les fours longs, des systèmes de cuisson ont été aménagés en milieu de four pour permettre l'incinération des déchets qui ne peuvent être brûlés par le brûleur primaire, comme par exemple les pneus

- **Addition de minéralisateurs** : L'apport de minéralisateurs, comme le fluorure, dans la matière première permet d'ajuster la qualité du clinker et d'abaisser la température dans la zone de clinkérisation, ce qui abaisse la température de cuisson et réduit aussi la formation des NO_x et améliorer l'aptitude à la cuisson du cru (clinker minéralisé),

- **Combustion étagée** : La combustion étagée est utilisée dans les fours à ciment possédant un précalcinateur spécifiquement conçu. Le premier étage de la combustion est le four rotatif où les conditions de cuisson du clinker sont optimales. Le deuxième étage est un brûleur situé à l'entrée du four ; il crée une atmosphère réductrice qui décompose une partie des oxydes d'azote formés dans la zone de clinkérisation. La température élevée de cette zone favorise la reconversion des NO_x en azote élémentaire. Au troisième étage, le combustible est introduit dans le calcinateur avec une certaine quantité d'air tertiaire ce qui crée là aussi une atmosphère réductrice. Ce procédé diminue la formation des NO_x combustibles et les NO_x venant du four. Au quatrième et dernier étage de combustion, le reste d'air tertiaire est introduit dans l'installation en tant qu'air final et utilisé pour la combustion résiduelle.

- **Optimisation du procédé** : L'optimisation du procédé, comme la stabilisation et l'optimisation des conditions de fonctionnement du four et de la chauffe, l'optimisation de la régulation de la conduite du four et/ou l'homogénéisation des combustibles introduits, peut servir à réduire les émissions de NO_x .

- Exemples de mesures/techniques secondaires pouvant en outre être utilisées pour la réduction des NO_x : la Technique SNCR et technique SNCR haute efficacité, et la Technique SCR.

- **Réduction sélective non catalytique (SNCR)** : La réduction sélective non catalytique (SNCR) consiste à injecter de l'eau ammoniacale (jusqu'à 25 % de NH_3), des composés de précurseurs d'ammoniac ou une solution d'urée dans les gaz de combustion pour réduire le NO en N_2 . La réaction est optimale entre 830 et 1 050 °C, et le temps de séjour doit être suffisant pour que les agents injectés aient le temps de réagir avec le NO.

- **SNCR haute efficacité** : La SNCR haute efficacité est une évolution de la celle-ci qui est utilisée dans des cimenteries. Elle consiste à injecter de l'eau ammoniacale (solution

ammoniacale à 25 %) dans le préchauffeur au moyen de rangées de buses (rampes) en conditions contrôlées. La disposition des rampes est déterminée par le profil des températures dans le conduit ascendant. L'injection de l'eau ammoniacale est contrôlée par le profil des températures mesurées dans le préchauffeur à proximité des rampes. Une bonne distribution de l'ammoniac peut réduire la fuite de NH_3 ainsi que la consommation d'eau ammoniacale.

- **Réduction sélective catalytique (SCR) :** La SCR réduit le NO et le NO_2 en N_2 à l'aide de NH_3 et d'un catalyseur entre 300 et 400 °C. Cette technique est très utilisée pour réduire les émissions de NO_x dans d'autres secteurs industriels (centrales thermiques au charbon, incinérateurs de déchets)

Pour des raisons environnementales, sécuritaires et économiques, le procédé de réduction des émissions de NO_x doit commencer de préférence par la mise en œuvre de mesures/techniques primaires générales (mesures/techniques de régulation intégrées aux processus, combustion étagée, refroidissement de la flamme, amélioration de la technique de cuisson, optimisation des liaisons des refroidisseurs et sélection des combustibles) qui permettent également de réduire les émissions de NO_x (par exemple, utilisation de déchets sélectionnés). Certains fours bien optimisés, équipés de préchauffeurs et de préchauffeurs/précalcinateurs, parviennent à abaisser le niveau de leurs émissions de NO_x au-dessous de 500 mg/Nm^3 grâce à des mesures/techniques primaires appliquées seules ou conjointement avec la combustion étagée ainsi que grâce à l'association d'une combinaison de combustibles et de mesures/techniques intégrées aux processus. (CE, 2010, pp. 133-142 ; Étude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.103)

III.2.5.2. Réduction des émissions de SO_2

La première phase du contrôle du SO_2 passe par la mise en œuvre des mesures/techniques primaires d'optimisation du procédé, comme l'optimisation de la cuisson du clinker, y compris la stabilisation de la conduite du four, la répartition homogène du cru chaud dans la conduite montante du four et la prévention de l'apparition d'une atmosphère réductrice pendant la cuisson ainsi que le choix des matières premières et des combustibles. En outre, la concentration en oxygène à l'entrée du four est cruciale pour capturer le SO_2 dans la charge du four. L'augmentation de la teneur en oxygène dans l'atmosphère des fours longs réduit le niveau de SO_2 et augmente celui des NO_x . Cependant, afin d'obtenir la qualité de produit spécifié, la cuisson du clinker a besoin d'un excès d'oxygène. Par conséquent, il y a toujours un apport suffisant d'oxygène pour assurer la formation de sulfates dans la partie basse du préchauffeur à cyclones ou dans la chambre à gaz chaud du préchauffeur à grilles, lesquels sont évacués du four avec le clinker. L'optimisation des teneurs en $\text{NO}_x/\text{SO}_2/\text{CO}$ via l'ajustement de la teneur en

oxygène dans la partie arrière du four doit être recherchée pour trouver un équilibre qui protège l'environnement. Si ces mesures/techniques sont insuffisantes, d'autres mesures/techniques curatives peuvent être mises en œuvre, telles que ; addition d'absorbants (chaux hydratée), épurateur en voie humide, ou charbon actif.

(CE, 2010, pp. 153-159)

III.2.5.3. Réduction des émissions d'oxydes de carbone (CO₂) et pics de CO

En plus de divers autres constituants, les gaz résiduels du four/broyeur à cru contiennent du CO₂, du N₂, de la vapeur d'eau et de l'oxygène ainsi que dans une moindre mesure du NO et des SO_x, et aussi du CO.

Le choix, chaque fois que possible, de matières premières à faible teneur en matières organiques contribue aussi à réduire les émissions de CO. Lorsqu'elles sont le produit d'une combustion incomplète, les émissions de monoxydes de carbone (CO) constituent généralement une perte d'efficacité. Par conséquent, les exploitants tendent à limiter les émissions de CO de leurs fours. L'amélioration de la combustion, par exemple à travers l'optimisation et la qualité du combustible, les propriétés et la configuration du brûleur, le tirage du four, la température de combustion et le temps de séjour peuvent réduire les émissions de CO.

Avantages pour l'environnement : Réduction des risques d'explosion, des pics de CO et des émissions de poussières (particules). (CE, 2010, pp. 159-163)

III.2.5.4. Réduction des émissions de carbone organique total (COT)

Description et avantages pour l'environnement Dans des conditions normales, les émissions de composés organiques volatils (COV) sont faibles, mais elles peuvent être plus importantes si les matières premières utilisées dans la cimenterie en contiennent. Il serait préférable, quand cela est possible, que les matières premières naturelles ou les déchets à forte teneur en composés organiques volatils ne soient pas acheminés dans le four avec l'alimentation en matières premières et que les combustibles à forte teneur en substances halogénées ne soient pas utilisés pour la combustion secondaire. Pour de fortes concentrations en composés organiques volatils, on peut considérer l'adsorption sur du charbon actif comme dans d'autres secteurs. (CE, 2010, p. 163)

III.2.5.5. Réduction du chlorure d'hydrogène (HCl) et du fluorure d'hydrogène (HF)

Description et avantages pour l'environnement L'utilisation de matières premières et de combustibles à faible teneur en chlore et en fluorure peut réduire les émissions. En outre, l'utilisation des techniques d'injection d'absorbants ou d'épuration peut également avoir une

influence sur les émissions de HCl et de HF. Les composés chlorés se condensent sur le cru ou les poussières du four à des températures comprises entre 700 et 900 °C. Ils présentent un comportement cyclique et peuvent s'enrichir dans la zone située entre le four rotatif et le préchauffeur. L'utilisation d'un bypass à l'entrée du four permet de réduire efficacement les cycles des chlorures alcalins. En outre, avec l'utilisation de matières premières et combustibles à faible teneur en chlore, la circulation du chlore est faible et cela peut limiter le cycle d'enrichissement résultant de la circulation interne entre le four et le préchauffeur. 90 à 95 % du fluorure présent dans les fours rotatifs est capturé par le clinker et le reste est lié avec la poussière sous forme de fluorure de calcium (CaF₂) qui est stable dans les conditions de la cuisson. (CE, 2010, p. 164)

III.2.6. Réduction des émissions de polychlorodibenzo-para-dioxines (PCDD) et de polychlorodibenzofuranes (PCDF)

Description et avantages pour l'environnement Les fours à ciment émettent généralement peu de PCDD/F ; cependant, il est possible de recourir à des mesures/techniques primaires afin de les minimiser, par exemple :

- une conduite régulière et stable du four au plus près des valeurs de consigne des paramètres du procédé est bénéfique pour toutes les émissions des fours ainsi que pour la consommation d'énergie. Pour ce faire il est possible de :
 - optimiser la conduite des fours, y compris avec un système de régulation automatique informatisé;
 - utiliser des systèmes d'alimentation en combustibles modernes.
 - minimisation de la consommation d'énergie thermique par le biais :
 - du préchauffage et de la précalcination en tenant compte de la configuration existante du four.
 - sélection et contrôle soigneux des matières introduites dans un four.
 - sélection et utilisation de matières premières et de combustibles homogènes avec une faible teneur en soufre, en azote, en chlore, en métaux et en composés organiques volatils, si possible.
- Pour minimiser la reformation des PCDD/PCDF, les mesures/techniques primaires ci-après sont considérées les plus importantes :
- refroidissement rapide des gaz résiduels du four à moins de 200°C dans les fours longs en voie humide et sèche sans préchauffeur. Dans les fours modernes avec préchauffeur et précalcinateur, cette caractéristique est déjà intégrée ;
 - limitation ou non utilisation dans le cru des déchets utilisés comme matières premières s'ils contiennent des matières organiques chlorées ;

- non utilisation de déchets combustibles au démarrage et à l'arrêt du four ;
- surveillance et stabilisation des paramètres critiques du procédé, c'est-à-dire cru et combustibles homogènes, dosage régulier et excès d'oxygène,
- non utilisation de combustibles à forte teneur en substances halogénées pour la combustion secondaire.

Cependant, si de fortes concentrations en PCDD/PCDF sont observées, l'adsorption sur du charbon actif peut être considérée comme dans d'autres secteurs.

(CE, 2010, pp. 165-166 ; Étude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.109)

III.2.7. Réduction des émissions de métaux

Description et avantages pour l'environnement Il faut éviter d'introduire des matériaux à forte teneur en métaux volatils dans le four. L'utilisation de matériaux à forte teneur en métaux volatils, comme le Hg et le Tl, doit tout particulièrement être contrôlée, car ceux-ci conduiront à des émissions plus élevées alors que d'autres métaux se retrouveront dans le clinker et les poussières. Une sélection attentive des substances introduites dans le four et la garantie de leurs caractéristiques contribuent à réduire les émissions.

L'accumulation de métaux, en particulier le thallium, dans les cycles internes et externes des fours à ciment provoque une augmentation des émissions avec l'allongement des temps de marche du four. L'interruption totale ou partielle de ces cycles permet de les réduire. Cependant, comme les cycles internes et externes sont en relation étroite, il suffit d'interrompre le cycle externe ce qui est possible en évacuant la poussière collectée dans l'installation d'épuration au lieu de la réintégrer dans le cru. Si leur composition chimique s'y prête, ces poussières de four à ciment rebutées peuvent être directement incorporées au ciment au stade du broyage. Comme les métaux émis (sauf une partie du mercure) sont dans une large mesure liés aux poussières, les stratégies de réduction des métaux découlent de celles de la réduction des émissions de poussières. Un traitement des poussières efficace réduit les émissions de métaux. Une des méthodes de réduction des émissions de mercure consiste à abaisser la température des gaz. Les éléments non volatils restent dans le four et sont intégrés dans la composition chimique du clinker. Si les concentrations en métaux volatils (en particulier le mercure) sont élevées, leur teneur (en particulier leur teneur en mercure) dans les matériaux doit être minimisée et il peut être nécessaire de limiter l'entrée de ces substances dans le four.

En outre, il est possible de les adsorber à l'aide de charbon actif. Les métaux semi-volatils se condensent sous forme de fumées fines et sont capturés, avec toutefois une efficacité

d'abattement moindre que pour les métaux non volatils. Lorsque les métaux non volatils sont introduits dans le four, ils sont en grande partie capturés dans le clinker.

(CE, 2010, p. 166)

En synthèse ces techniques/mesures primaires générales se résument comme suit :

1- Assurer un fonctionnement stable et régulier du four, proche des valeurs de consigne pour les paramètres du procédé, qui est bénéfique pour toutes les émissions des fours tout comme pour l'utilisation de l'énergie grâce à l'application des mesures ou des techniques suivantes :

(a) optimisation du contrôle de procédé, incluant un système de contrôle automatique par ordinateur (systèmes experts);

(b) utilisation de systèmes modernes et gravimétriques d'alimentation en combustible solide.

2- Procéder à une sélection et un contrôle rigoureux des substances qui alimentent le four afin d'éviter ou de réduire les émissions.

3- Procéder à la surveillance et à la mesure des paramètres de procédé et des émissions sur une base régulière, par exemple :

(a) des mesures en continu des paramètres du procédé afin d'en démontrer la stabilité – comme température, teneur en O₂, pression, débit et émission de NH₃ avec la technologie SNCR ;

(b) la surveillance et la stabilisation des paramètres critiques du procédé, comme l'homogénéité du cru et de l'alimentation en combustible, le dosage régulier et l'excès d'oxygène ;

(c) des mesures en continu des émissions de poussières, de NO_x, de SO_x et de CO ;

(d) des mesures périodiques des émissions de PCDD, de PCDF et de métaux ;

(e) des mesures en continu ou périodiques des émissions de HCl, de HF et de COT.

III.2.8. Considérations concernant le bruit

Certaines mesures/techniques antibruits peuvent être mises en œuvre dans les cimenteries de manière à réduire les niveaux sonores pour la protection du voisinage. Au cours de la préparation des matériaux, les nuisances acoustiques sont dues par exemple à la mise en œuvre de concasseurs à percussion et de broyeurs pour la fragmentation de matériaux durs.

Pour réduire ou minimiser les émissions de bruit pendant le procédé de fabrication du ciment, il faut :

(a) capoter les opérations ou les unités bruyantes ;

(b) isoler les vibrations des opérations ou unités bruyantes ;

(c) utiliser des revêtements internes et externes en matériaux amortissants ;

(d) insonoriser les bâtiments afin d'isoler les opérations bruyantes dans lesquelles interviennent des équipements de transformation des matériaux ;

- (e) construire des murs de protection antibruit comme des bâtiments ou des barrières naturelles telles que des arbres et des buissons, entre la zone à protéger et l'activité bruyante ;
- (f) installer des silencieux sur les cheminées de gaz résiduaires ;
- (g) installer des revêtements sur les conduites et les souffleries finales situées dans les bâtiments insonorisés ;
- (h) fermer les portes et fenêtres des zones couvertes

D'autres mesures/techniques antibruit secondaires (par exemple la construction de bâtiments ou la mise en place de barrières naturelles comme des arbres et des buissons entre la zone protégée et l'activité bruyante, par exemple le four ou la zone de stockage) peuvent être mises en œuvre. Les portes et fenêtres des surfaces bâties doivent être maintenues fermées pendant les opérations bruyantes.

Pour éviter les nuisances, l'usine de ciment doit respecter un éloignement de 500 m minimum des dépasser 50 à 60 dB(A) le jour et 35 à 45 dB(A) la nuit.

III.2.9. Considérations concernant les odeurs

Les odeurs accompagnant les émissions d'hydrocarbures peuvent être évitées par postcombustion thermique, utilisation d'un filtre à charbon actif ou introduction des matières premières incriminées dans la zone la plus chaude du four. Si les odeurs sont provoquées par les composés soufrés, une des solutions consiste à changer de combustible, de matières premières, ou les deux. Le stockage des déchets utilisés en tant que matières premières ou combustible peut également être à l'origine d'odeurs. Il est alors possible de couvrir les lieux de stockage des déchets ou bien d'utiliser des systèmes de stockage des déchets

III.3. Techniques émergentes de protection dans l'industrie du ciment

Plusieurs techniques émergentes dans l'industrie du ciment permettant des réductions des différents polluants sont adoptées :

III.3.1. Fabrication du ciment par la technique du lit fluidisé

La technique de clinkérisation du ciment dans un four à lit fluidisé est un projet subventionné par le ministère japonais de l'industrie et du commerce international depuis 1986. Sumitomo Osaka Cement Co. Ltd a exploité pendant six ans (1989-1995) une unité pilote d'une capacité de production de 20 tonnes de clinker/jour à l'usine Toshigi au Japon. Une unité pilote à grande échelle pouvant produire 200 tonnes de clinker/jour a été construite fin 1995.

Les objectifs finaux de la mise au point technique du four à lit fluidisé (conformément à l'étude de faisabilité réalisée dans une usine d'une capacité de production de 3 000 tonnes de clinker/jour et sur la base des résultats obtenus dans l'unité pilote produisant 20 tonnes/jour) :

1. réduction de 10 à 12 % de la quantité de chaleur utilisée ;
2. réduction de 10 à 12 % des émissions de CO₂ ;
3. niveau d'émission des NO_x inférieur ou égal à 380 mg/Nm³ (converti à 10 % d'O₂) ;
4. maintien du niveau d'émission de SO_x ;
5. réduction de 30 % des coûts de construction ;
6. réduction de 30 % de la surface de l'installation.

III.3.2. Combinaison de la combustion étagée et de la SNCR

Théoriquement, les résultats obtenus en combinant la combustion étagée et la SNCR devraient être comparables à ceux de la SCR. Cette combinaison est considérée comme très prometteuse par les fournisseurs.

III.3.3. Traitement des gaz résiduaux d'un four à ciment au bicarbonate de sodium sec et réutilisation des produits chimiques

Description Cette mesure ou technique est envisagée pour la désulfuration des gaz résiduaux produits par les fours à ciment, le plus souvent dans les cas où des déchets sont utilisés en tant que combustible. Pour réduire de manière importante et économique les taux de SO₂, on injecte à sec du bicarbonate de sodium dans les fumées et les déchets à base de sodium qui peuvent souvent être réutilisés dans le processus de production du ciment, suivant leurs caractéristiques et leur composition. Toutefois, dans certains cas, cette réutilisation est impossible car elle peut induire une teneur trop importante en sodium dans le ciment produit. Pour permettre une réduction importante du SO₂ avec une quantité faible de réactif et, dans le même temps, permettre la réutilisation des déchets issus du traitement des gaz résiduaux, il est possible de recourir à des techniques émergentes de filtration en deux étapes des gaz résiduaux. *Filtration en deux étapes* Un premier filtre à poussières collecte ces dernières émises par le procédé. Celles-ci peuvent être réintégrées dans le procédé car elles ne sont pas chargées en sodium. L'injection à sec de bicarbonate de sodium sec intervient en aval de ce premier filtre. On injecte du bicarbonate de sodium sec broyé qui réagit avec les SO_x pour produire des sels de sodium, principalement du sulfate de sodium (Na₂SO₄). Ces déchets obtenus par le traitement des gaz résiduaux sont collectés par un second filtre, le plus souvent un filtre à manches.

Avantages pour l'environnement Cette mesure ou technique permet de réduire de manière importante et économique le taux de SO_x dans les gaz résiduaire sans compromettre la réutilisation intégrale des déchets issus du traitement de ces gaz pour les raisons suivantes :

- le ciment ne contient pas de quantité excessive de sodium ;
- elle n'ajoute pas de SO_x dans les gaz résiduaire.

De plus, le procédé ne produit pas de déchet supplémentaire et ne consomme aucune ressource naturelle additionnelle.

III.4. Conclusion

Dans différents pays de l'Europe, plusieurs techniques sont utilisées pour éliminer ou réduire les émissions nocives des cimenteries, quelles soient composées de gaz, de poussières ou de métaux lourds. Avec les mesures présentées dans cette section, et utilisées par la majorité des pays européens, ces derniers sont arrivés à des taux de réductions importantes de ces émissions afin de respecter l'environnement et protéger la santé humaine, animale et végétale ; éléments essentiels pour l'homme.

La synthèse de ces techniques nous permettra d'effectuer notre analyse qui sera menée au niveau de la cimenterie de Hamma Bouziane, à Constantine.

Références

- 1- Commission Européenne (2010) : « Document de référence sur les meilleures techniques disponibles Industries du ciment, de la chaux et de la magnésie », Ministère de l'énergie et du développement durable et de la mer en France, Paris
- 2- Cellule environnementale, (2007), « Etude environnementale Hama Bouziane ».
- 3- <http://www.environnement.gouv.fr>: Ministère de l'écologie et du développement durable
- 4- <http://www.drire.gouv.fr> : Direction Régionale de l'Industrie, de la recherche et de l'Environnement (DRIRE)
- 5- <http://www.aschieri.net/collectif/accueil.htm>: Groupe santé-environnement de l'Assemblée nationale

IV.1. Introduction

Durant les années soixante dix, la wilaya de Constantine possédait un tissu industriel assez étoffé incluant en plus des complexes mécaniques ENMTP, la cimenterie de Hamma Bouziane, le complexe enfûteur de Bounouara et un nombre important d'unités réalisées dans le cadre de la petite et moyenne industrie réparties à travers l'ensemble de la wilaya (qui incluait à l'époque les daïras de Mila et Chelghoum –Laid). Les transformations induites par la transition vers l'économie du marché, avec la dissolution d'entreprises et de personnels ont transformé totalement le paysage industriel de la wilaya qui se trouve imputé d'une partie importante de son potentiel de production et de réalisation.

Cependant, conformément à l'instruction ministérielle R1 du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement datant du 22/9/2003 et au complément d'informations datant du 8/6/2004, relatifs à la maîtrise et la gestion du risque industriel impliquant des substances dangereuses, les installations qui sont en service et n'ayant pas fait l'objet d'étude d'impact, sont soumises à une étude environnementale pour pouvoir évaluer l'impact de l'activité industrielle sur l'environnement et proposer des mesures d'atténuation.

La cimenterie de Hamma Bouziane fait partie de ces installations à laquelle beaucoup d'améliorations ont été instaurées pour protéger la santé de l'homme et l'environnement. Cependant, les émissions de polluants causées par ce type d'industrie semblent persister ce que notre étude va essayer d'investiguer tout en examinant le niveau d'amélioration.

A cet effet et sur la base de ce qui a été investigué dans la partie théorique, l'exemple de la cimenterie de Hamma Bouziane fait l'objet de notre recherche dans l'analyse de son impact sur son environnement immédiat avec ses habitants. Dans cette partie de recherche on présente le cas d'étude dans ses détails, l'implantation de la cimenterie dans le site, les procédés de fabrication du ciment, les différents niveaux d'émissions de polluants, ainsi que les techniques de réduction utilisées à tous les niveaux.

IV.2. Description de la Commune de Hamma Bouziane

IV.2.1. Vocation et superficie

Hamma Bouziane, appelée aussi verger de la ville de Constantine ; située au nord de cette dernière, est connue par sa terre fertile, ses fruits et légumes ainsi que ses sources d'eau. D'une superficie de 71 km², la daïra de Hamma Bouziane tend à former un ensemble homogène dans ses limites territoriales. (Djessas et Laouir, 2004, p. 40)

A vocation agricole, la commune de Hamma peut s'enorgueillir de s'en défendre avec ses jardins potagers et vergers arboricoles qui résistent toujours en dépit d'une urbanisation à outrance, de surcroît illicite et anarchique. Dans le secteur industriel, c'est surtout la menuiserie qui fait le crédo de l'activité industrielle tandis que la cimenterie en impose la marque. (Belala & Debbih, 2003, p. 4). En ce qui concerne le commerce, El Hamma s'est érigée ces dernières années en grand centre commercial perceptible au boulevard central de la ville d'une part, et les marchés hebdomadaires de véhicules accompagnés simultanément d'autres produits, d'autre part. Ces activités commerciales florissantes d'El Hamma génèrent forcément des ramifications jusqu'à Didouche Mourad, Bekira, El bir et s'étendent jusqu'à Constantine à travers les livraisons de fruits et légumes. La daïra de Hamma Bouziane occupe la troisième position dans les activités commerciales après Constantine et El khroub.

IV.2.2. Population

La population constitue l'élément de base de toute action d'aménagement et de développement, celle résidente au niveau du groupement de Constantine se caractérise par sa forte concentration et est estimée à 938475 habitants. (ONS, 2008)

En général, les communes enregistrent des taux d'agglomérations importants, sachant que cette forme de répartition de population est fortement dépendante des conditions économiques et surtout des ressources locales et activités qui en découlent. (voir tableau IV.1)

Tableau IV.1 : Répartition de la population selon la dispersion géographique

Commune	*A.C.L	*A.S	*Z.E	Total
Constantine	18672	24358	5344	448374
El Khroub	89251	85568	4214	179033
Ain smara	32057	2266	2676	36998
H. Bouziane	41945	36376	1631	79952
D. Mourad	40819	1364	2768	44951
Ibn Badis	11518	3653	3564	18735
Zighoud Yousef	28764	3685	2799	35248
Ain Abid	22529	4723	4490	31743
Beni Hamiden	3022	0	6375	9397
Ouled Rahmoune	11263	11723	3146	26132
Messaoud Boujeriou	5400	1508	2142	9050
Ibn Ziad	11567	4315	2979	18861
Tot zone centrale	716806	179539	42129	938475

(Source : RGPH, 2008, p.1)

ACL : Agglomérations chef lieu ; AS : Agglomérations Secondaire ; ZE : Zone Eparse

IV.2.3. Le climat

Le vent et la pluie sont des paramètres météorologiques les plus importants pour le transport et la dispersion des polluants. En effet, un flux de polluants va subir dès son entrée dans l'atmosphère un transport dont la direction et la vitesse seront fonction de celles du vent à l'instant considéré. La pollution sera emportée en même temps que la masse d'air et d'eau ou elle pénétrera d'autant plus vite que la force du vent sera importante et ce par la direction imposée par celui-ci. (Deletraz & Paul, 1998, p.24) Il existe donc une relation évidente entre la vitesse du vent et les niveaux de concentration de polluants dans l'air ou le sol. La dispersion des polluants augmente avec la vitesse et la turbulence du vent. (Djessas & Laouir, 2004, p.35)

Le climat au niveau du groupement de Constantine a quelques particularités et sa partie septentrionale y compris El Hamma étant la zone la plus arrosée, la pluviométrie sur les hauteurs peut atteindre jusqu'à 1200 mm. Par contre plus on se dirige vers le Sud, plus les précipitations diminuent, on passe facilement à 500 mm. A caractère orageux, les précipitations sont irrégulièrement réparties dans l'espace et varient d'une année à l'autre.

Le tableau IV.2 résume les valeurs moyennes des paramètres météorologiques pour l'année 2006 obtenues au moyen d'une station météorologique sans fil installée au niveau du centre hospitalo-universitaire de Constantine.

Tableau IV.2 : Valeurs mensuelles moyennes des paramètres météorologiques pour Constantine en 2006 (station météorologique propre installée au niveau du CHUC)

Mois	Vitesse du vent (m/s)	Température ambiante (°C)	Humidité relative (%)	Point de rosée (°C)	Pression atmosphérique (mb)	Précipitations (mm)
Janvier	3.45	7.70	65.56	2.37	749.92	99.00
Février	3.30	9.71	62.19	3.25	720.86	71.00
Mars	3.98	12.98	52.00	3.13	933.48	28.00
Avril	3.75	17.30	47.91	5.19	932.72	16.00
Mai	3.52	21.53	20.44	3.08	935.62	57.00
Juin	4.09	24.69	25.48	5.32	937.03	2.00
Juillet	4.36	26.86	15.51	4.07	937.47	0.00
Août	3.32	24.30	29.46	6.86	934.38	0.00
Septembre	3.15	22.34	35.07	6.12	936.56	26.00
Octobre	3.12	18.40	58.05	9.43	937.10	3.00
Novembre	3.29	11.76	58.82	4.11	934.76	22.00
Décembre	3.20	7.67	65.85	2.00	935.91	77.00

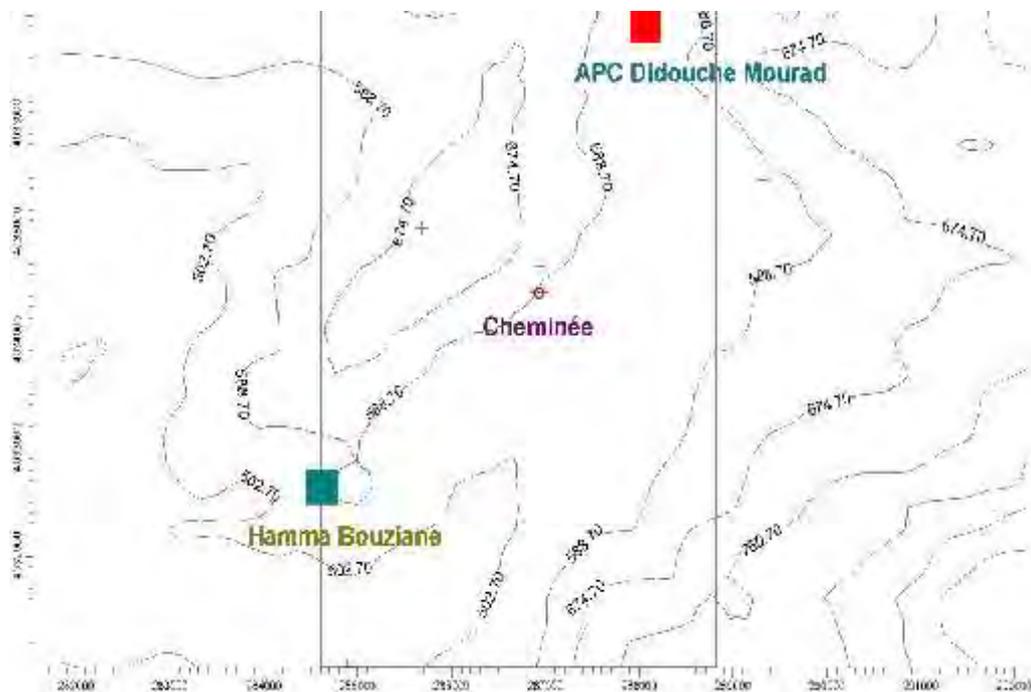
(Source : Étude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.16)

IV.3. La cimenterie d'étude « DJOUAD TAHAR »

IV.3.1. Localisation et historique

Vu le besoin en matériaux de construction, l'état Algérien a implanté dans l'Est du pays dans la wilaya de Constantine, une unité de production du ciment. Cette unité a été confiée à une entreprise française « Creusot Loire » pour la réalisation de l'usine, en décembre 1974. (Belala & Debbih, 2003, p.3)

Cette cimenterie de Hamma Bouziane nommée « DJOUAD TAHAR », se situe sur la route nationale N°5, près de la gare ferroviaire de la commune, à 12 km au Nord de la ville de Constantine à une altitude de 590m. (voir carte IV.1 et photo IV.1) Elle s'étale sur une superficie de 129 ha, elle est constituée d'un bâtiment administratif et de différents ateliers de production et de stockage.



Carte IV.1 : Situation de la cimenterie DJOUAD TAHAR (Auteur : Ali-Khodja, 2007, p.4)

Cette unité est entrée en production en 1982 avec une capacité nominale de production de 3000 tonnes/j de clinker destinée essentiellement à la production et la commercialisation de ciment CPJ45 selon la norme algérienne NA442 équivalente à la norme française NF15 301. La capacité actuelle de la cimenterie est de 1 000 000 T/an de ciment.

La cimenterie a ses propres structures ; une direction générale assistée de cinq chefs de département et neuf départements assumant des missions de gestion et de soutien à la production. (Étude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.11)



Photo IV.1 : Vue aérienne de la cimenterie DJOUAD TAHAR (Source : Google Earth, 2010)

L'énergie électrique nécessaire à la production est fournie par deux lignes de 60 Kv (Kilo volts) et l'énergie thermique nécessaire au séchage du cru et la cuisson est fournie par le gaz naturel. Cette cimenterie utilise le procédé économique à « voie sèche » et la fabrication d'une tonne de ciment nécessite : 1600 kg de matière première, 0.080 à 0.085 tonnes équivalent de pétrole et 90 à 110 kilowatt/heure.

IV.3.2. Fabrication du ciment

L'usine de cette cimenterie est implantée sur trois niveaux en forme de S:

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

Seuls les équipements de production de clinker, de broyage du cru, d'homogénéisation et de cuisson sont implantés en ligne. (Belala & Debbih, 2003, p.3)

La fabrication du ciment se fait en quatre phases : La préparation des matières premières, la cuisson, le broyage ciment, et l'expédition (voir photo IV.2 et figure IV.1)

IV.3.2.1. Préparation des matières premières :

La cimenterie de Hamma Bouziane dispose d'une carrière de calcaire et de deux gisements d'argile rouge et brune. Elle a pour but l'alimentation de la cimenterie en calcaire et en argile, matières premières essentielles pour la fabrication du ciment.

L'extraction ou l'abattage du calcaire se fait via la méthode des explosifs, c'est la méthode la plus utilisée. Elle se fait dans des gradins prédécoupés par des " forages ", sur 10 mètres de paroi au maximum. Dans les forages, on place les explosifs caractérisés par une forte puissance ; l'explosion interne développe une pression de gaz pouvant dépasser quelques centaines de milliers de bars.

Ensuite, les blocs de calcaire et d'argile sont amenés des carrières par camion (dumpers de 65, 55, 45 et 32 tonnes éventuellement) au concasseur par 3 alimentateurs à tablier métallique entraînés par des moteurs à vitesse variable. (voir photos IV.3 et IV.4) Le concassage a pour rôle de ramener les blocs à des dimensions admissibles pour le broyeur.

Après concassage, les matières premières sont transportées de la carrière à l'aide d'un transporteur de 1,2 km de long à la station d'échantillonnage située avant le stock de pré-homogénéisation. (voir photo IV.5)

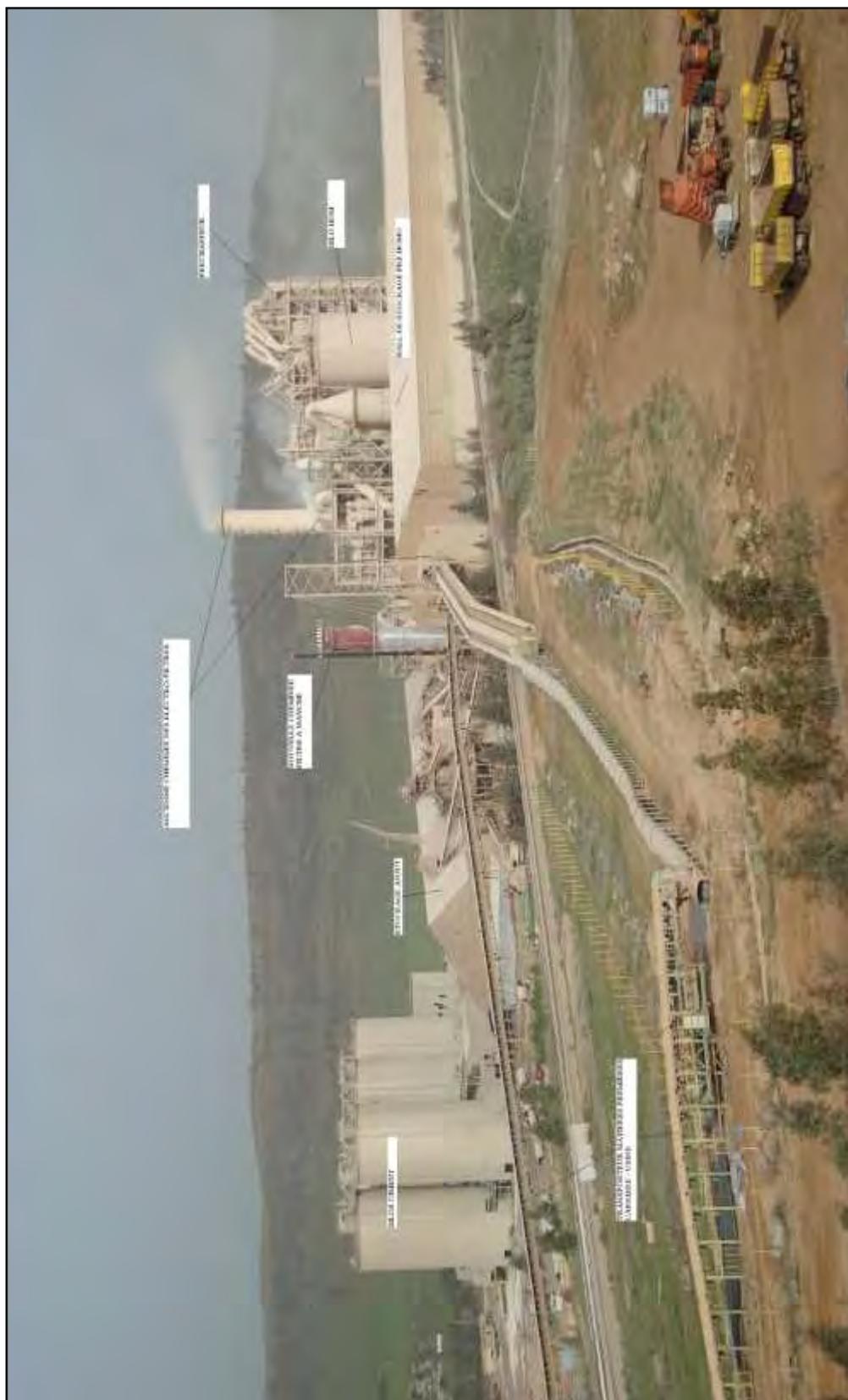


Photo IV.2 : Présentation des différents composants de la cimenterie (Source : Auteur 2011)

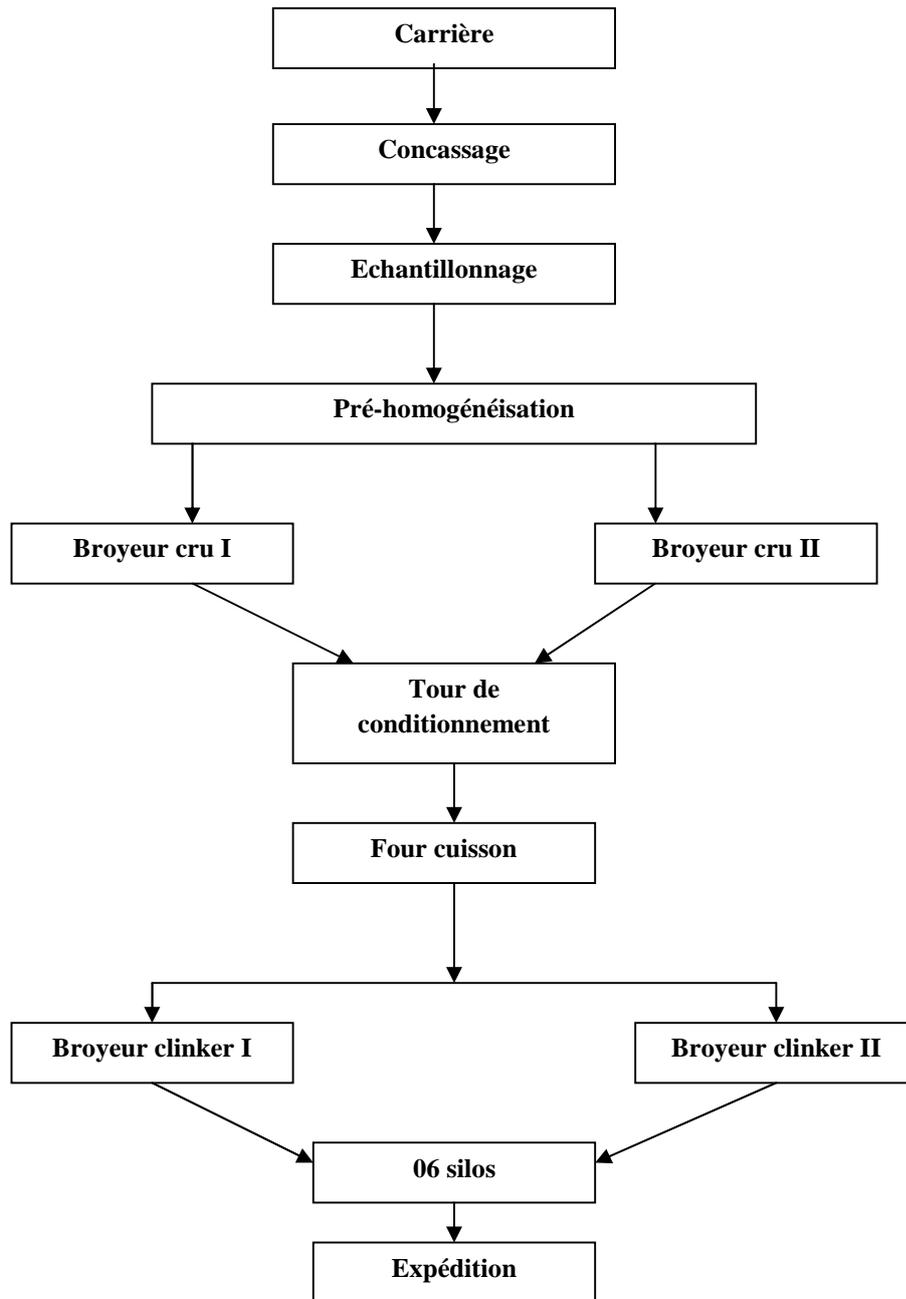


Figure IV.1 : Plan d'organisation des ateliers de la cimenterie (source : étude environnementale, 2007 p.45)

Un dispositif de prélèvement automatique et de traitement des échantillons permet d'expédier toutes les heures, au laboratoire, par voie pneumatique, un échantillon représentant la constitution moyenne du mélange cru concassé pendant ce laps de temps.

Ainsi les matières premières transportées sont soigneusement dosées et mélangées de façon à obtenir une composition parfaitement régulière. Ce mélange comprend : 75% de calcaire, 12,5% d'argile rouge, et 12,5% d'argile brune.

Un deuxième mélange est effectué ; il est composé de 99% de matières premières (mélange précédent), +1% de minerai de fer.



Photo IV.3 : Blocs de matières premières à l'air libre au niveau de la carrière
(source : Auteur, 2011)



Photo IV.4 : Concassage des matières premières au niveau de la carrière
(source : Auteur, 2011)

Pour obtenir un mélange parfaitement homogène des constituants et permettre les réactions ultérieures, les matières premières sont très finement broyées dans les broyeurs rotatifs à boulets fortement blindés. Les corps broyants qui travaillent par chocs sont constitués de boulets d'acier ou de fonte dure. Les produits de carrière sont séchés (voie sèche), broyés, dosés et homogénéisés après contrôle. La poudre crue (farine) ainsi obtenue est stockée dans un endroit clos au niveau des silos d'homogénéisation en attente d'utilisation. Elle sera introduite directement au four. (voir photo IV.6)



Photo IV.5 : Transporteurs mécaniques des matières premières vers l'usine (Source : Auteur, 2011)



Photo IV.6 : Hall de stockage du cru
(Source : Auteur, 2011)

On peut résumer cette phase de la production de la matière nécessaire à la fabrication du clinker en:

- Explosion au niveau de la carrière,
- Déversement de la matière première dans le concasseur,
- Concassage primaire et secondaire de la matière première,
- Opération de criblage,
- Transport de la matière première par tapis à ciel ouvert ou par camion vers le concassage ou le stockage,
- Déversement de la matière sur le site de stockage,
- Broyage de la matière pour la préparation du cru.

IV.3.2.2. Cuisson : "Le clinker"

La clinkérisation a lieu dans un four rotatif long, celui-ci faisant partie d'un système à four avec préchauffage en cyclones. (voir photo IV.7) La cuisson se fait à une température voisine de 1450 °C. Elle est réalisée dans un four rotatif cylindrique tournant (1 à 3 tours/minute environ), dans lequel la matière chemine lentement, venant à la rencontre de la source de chaleur (flamme de gaz). La température des gaz à la sortie du four est environ 200 °C. Le procédé utilisé par la cuisson de la matière crue est à échangeurs cyclones (60 à 90 m) mais qui est complété par des échangeurs de température dont le rôle est d'assurer le préchauffage de la matière en amenant sa température au voisinage de 800 °C avant introduction dans le four lui-même.



Photo IV.7 : Four de cuisson de la cimenterie (Source : Auteur, 2011)

Dans l'ensemble de cuisson, au fur et à mesure de l'élévation de température, les opérations suivantes se déroulent :

- de 0 à 550°C : élimination progressive de l'eau libre et de l'eau de constitution des matières premières.
- de 550 à 900°C : décarbonatation du calcaire (carbonate de calcium) donnant CaO (chaux libre) et CO₂ (gaz carbonique).

- de 900 à 1200°C : formation du clinker c'est-à-dire, des composants recherchés, silicates, aluminates et ferro-aluminates de calcium.

Le clinker se présente sous formes de petites «patines» dures et cristallisées, de teintes grises foncées pour les ciments habituels. Sa composition est en moyenne pour les clinkers gris :

- Silicate tricalcique C_3S 50 à 65%
- Silicate bi-calcique C_2S 15 à 20%
- Aluminate tricalcique C_3Al 5 à 15%
- Ferro-aluminate tétracalcique C_4AlFe 5 à 10%

Cette phase de cuisson résume comme suit :

- Cheminée des fours à cuisson pour la fabrication de clinker,
- Refroidissement du clinker vers le hall de stockage qui est clos,
- Acheminement du clinker vers le hall de stockage,
- Déversement du clinker dans le hall,
- Broyage du clinker (au niveau de l'alimentation de la trémie du broyeur),
- Transport du clinker par élévateur (qui se fait dans les deux endroits clos et ouverts) et son déversement dans le séparateur,
- Transport de produits séparés vers les silos clos de stockage du ciment, a travers des pompes a ciment
- Émission de poussières à travers les cheminées d'aération placées sur le Toit des silos,
- Ensachage du ciment dans un endroit clos au niveau d'expédition
- Chargement des camions par du ciment en vrac et en sachets,
- Mouvement des camions pendant les opérations de chargement.

La composition minéralogique du clinker obtenu après traitement thermique des matières crues introduites dans le four rotatif est fonction de la composition du mélange introduit mais, aussi de la température à laquelle la cuisson est réalisée et des conditions de refroidissement (trempé à l'air).

Cette étape constitue le cœur du procédé de fabrication du ciment. Les réactions chimiques et les procédés physiques accompagnant cette réaction sont assez complexes mais elles peuvent être résumées comme suit:

- évaporation de l'eau libre
- évaporation de l'eau combinée aux composés argileux

- le carbonate de calcium est transformé en oxyde de calcium, laissant s'échapper le dioxyde de carbone (CO₂) contenu dans le calcaire
- réaction du CaO avec la silice pour former le dicalcium silicate
- réaction du CaO avec l'aluminium et les composés renfermant du fer pour former la phase liquide
- formation de nodules de clinker
- évaporation des composés volatils (ex: sodium, potassium, chlorures et sulfates)
- réaction du CaO en excès avec le dicalcium silicate pour former le tricalcium silicate.

L'objectif du processus de cuisson est de transmettre à la matière à cuire, pour une qualité donnée du cru, la quantité de chaleur qui assure la qualité désirée du produit cuit en vue de fabriquer des ciments hydrauliques suivant les spécifications des normes et de la clientèle en :

- minimisant les coûts de production
- optimisant le débit du produit de cuisson
- minimisant la dépense d'énergie
- minimisant les variations de qualité.

Après la cuisson, le clinker (à plus 1300°C) tombe par gravité sur le refroidisseur à grille d'où il ressort à 65°C au dessus de la température ambiante. Environ le tiers de l'air soufflé sous la grille du refroidisseur constitue l'air de combustion de la flamme du four. Les deux tiers restant sont aspirés à travers le filtre à gravier et rejetés à l'atmosphère.

IV.3.2.3. Refroidisseurs à clinker :

Le refroidisseur à clinker fait partie intégrante du four et a une influence déterminante sur les performances et l'économie de l'installation de préparation à hautes températures. Sa fonction est double : récupérer le maximum de chaleur dans le clinker chaud (1 450°C) pour la recycler dans le procédé et abaisser la température du clinker à un niveau compatible avec le bon fonctionnement des équipements aval. (voir photo IV.8)



Photo IV.8 : Refroidisseur avec filtre à gravier (Source : Auteur, 2011)

La chaleur est récupérée en préchauffant l'air utilisé pour la combustion principale et la combustion secondaire au plus près de la limite thermodynamique. Ceci est rendu difficile par les températures élevées, le très haut pouvoir abrasif du clinker et la granulométrie très variée. En refroidissant le clinker rapidement, on fige sa composition minéralogique ce qui augmente son aptitude au broyage et optimise la réactivité du ciment.

Les problèmes types posés par les refroidisseurs à clinker concernent les points suivants : dilatation thermique, usure, débits d'air incorrects et faible disponibilité, ce qui va à l'encontre des exigences indiquées ci-dessus.

IV.3.2.4. Broyage du ciment :

Le ciment doit être finement broyé pour obtenir le ciment qui réagira au contact de l'eau. Les broyeurs à ciment sont des cylindres tournants. Les corps broyants sont constitués de boulets d'acier et de "cylpeds" qui, par chocs, font éclater les grains de clinker et progressivement, amènent le ciment à l'état de fine farine, ne comportant que très peu de grains supérieurs à 80 µm. L'alimentation des tubes broyeurs est faite en continue. Des distributeurs automatiques assurent un dosage défini et constant des éléments qui doivent entrer dans la composition du ciment fini : clinker + gypse (5 à 7% destiné à assurer la régularité de la prise) + éventuellement des produits d'addition (laitier de haut-fourneau, cendres volantes, calcaire, fumée de silice).

Le broyage du ciment s'effectue à l'aide de deux circuits de mouture équipée chacun d'un broyeur à deux compartiments, à attaque centrale, travaillant en circuit fermé avec un séparateur dynamique à cyclones extérieurs. Le dépoussiérage du circuit est assuré par un filtre à manche pour chaque atelier. A la suite du broyeur, le ciment est transporté mécaniquement ou pneumatiquement vers les silos ou il est stocké en attente d'expédition.

IV.3.2.5 : Expédition :

Le ciment est stocké dans six silos d'une capacité unitaire de 10.000 tonnes, correspondant à une capacité de stockage de plus de deux semaines. L'alimentation des silos est prévue pour être réalisée au choix par l'un ou l'autre des deux broyeurs à ciment.

L'extraction est réalisée par fluidisation des fonds de silo et un ensemble d'aéroglossières l'achemine vers les ensacheuses ou vers les postes de chargement en vrac. Divers modes d'expédition sont prévus :

- Sac route : (4 postes de chargement).
- Sac fer : (2 postes de chargement).
- Vrac fer : (2 postes de chargement).
- Vrac route : (2 postes de chargement).

Les ateliers de livraison peuvent atteindre des rendements horaires très élevés pour satisfaire la demande qui est concentrée sur quelques heures par jour. Le ciment peut être livré en sacs ou en vrac. (Étude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane, 2007, p.37)

Le dépoussiérage de l'usine est assuré par plusieurs filtres placés à tous les niveaux d'émission de poussières (voir figure IV.2)

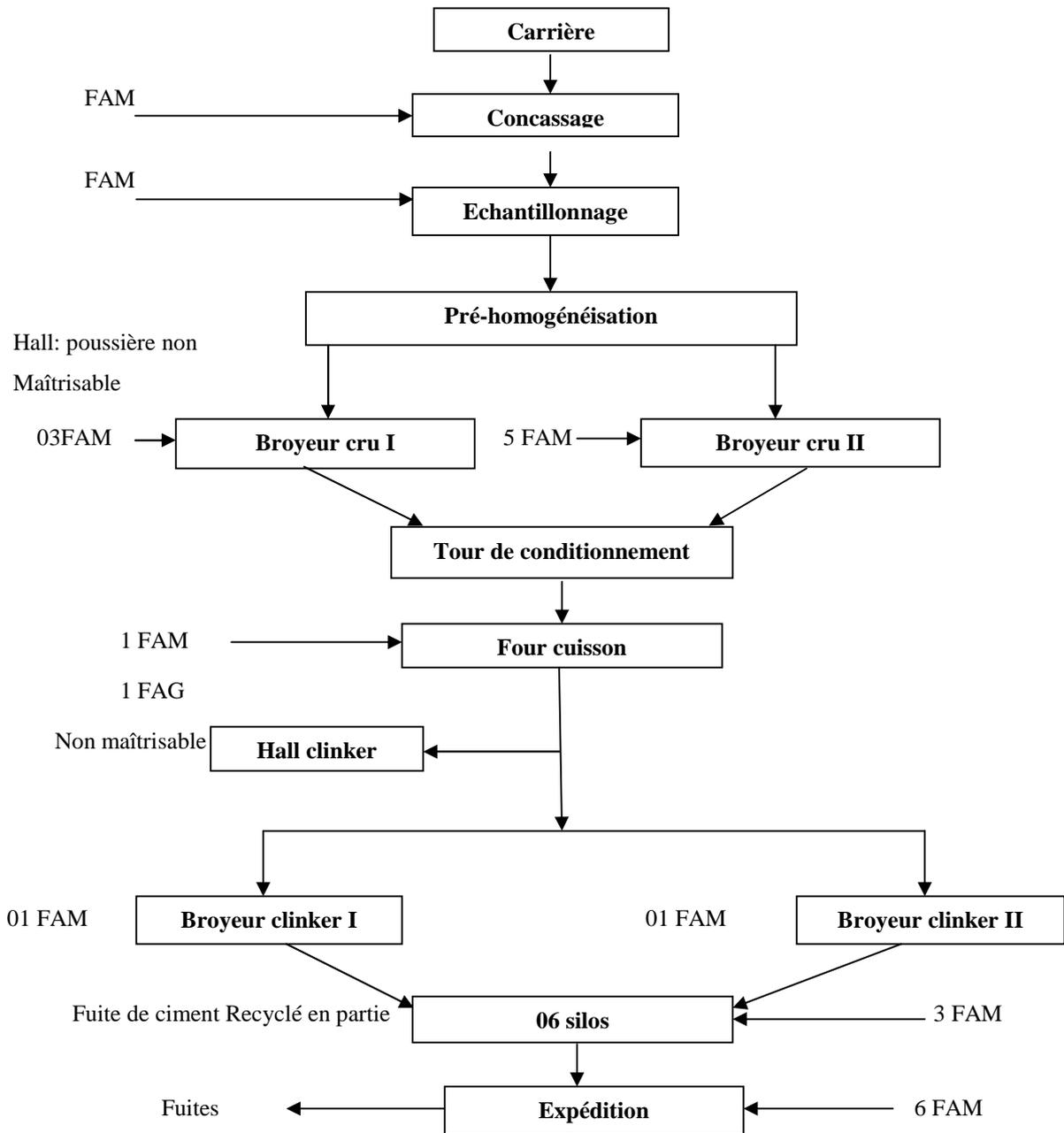


Figure IV.2 : Sources d'émission des poussières dans l'air et position des filtres

FAM : filtre à manche, FAG : filtre à gravier (source : étude environnementale, 2007, p.46)

IV.4. Emissions de la cimenterie

Le rejet des polluants dans l'atmosphère c'est le résultat de multiples facteurs qui caractérisent la civilisation contemporaine : croissance de la consommation d'énergie, développement et concentration des industries extractives, métallurgiques et chimiques, de la circulation routière et aérienne, de l'incinération des ordures ménagères, des déchets industriels. De ce fait, surtout en milieu urbanisé, ces émissions constituent sans aucun doute la plus évidente des dégradations de l'environnement.

Les polluants rejetés par cette cimenterie lors de la fabrication du ciment sont :

- les oxydes d'azote (NO_x) et autres composés azotés,
- le dioxyde de soufre (SO₂) et autres composés soufrés,
- les poussières.
- Ces trois polluants sont généralement au cœur des préoccupations des exploitants des cimenteries et des articles techniques sur la pollution de l'air et les techniques de réduction.

Les polluants cités ci-dessous posent un problème dans le cadre de la fabrication du ciment :

- le monoxyde de carbone (CO),
- les composés organiques volatils (COV).

Enfin, les polluants suivants sont également associés à cette industrie :

- les dioxines et les furanes (PCDD et PCDF),
- les métaux et leurs composés,
- le HF,
- le HCl.

(Étude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane, 2007, p.49)

IV.4.1. Effluents gazeux

L'extraction et le broyage des matières premières du ciment réalisés en grande partie dans les carrières, ne produisent aucun effluent gazeux. Elles sont souvent séchées pendant la préparation et le broyage, et l'humidité est rejetée sous forme de vapeur d'eau inoffensive.

Les principaux rejets gazeux de la fabrication du ciment sont les émissions atmosphériques des fours. Elles sont dues aux réactions physiques et chimiques des matières premières et à la combustion des matériaux utilisés pour chauffer les fours. Les principaux constituants des gaz résiduels d'un four à ciment sont l'azote (issu de l'air comburant), le CO₂ (produit par la calcination du CaCO₃ et par la combustion), la vapeur d'eau (produite par la combustion et les matières premières) et l'excès d'oxygène.

Dans tous les procédés, les matières solides progressent à contre-courant des gaz chauds de combustion. Cette circulation à contre-courant a un effet positif sur les émissions de polluants car elle agit comme un lit fluidisé circulant intégré. De nombreux produits gazeux issus de la combustion ou de la transformation des matières premières en clinker sont absorbés par le flux de matières premières circulant à contre-courant ou se condensent.

Ce pouvoir d'absorption des matières premières varie avec leur état physique et chimique qui lui-même dépend de leur position dans le four. Par exemple, la matière qui sort de l'étage de calcination contient beaucoup d'oxyde de calcium, ce qui lui donne une grande capacité d'adsorption de certains acides, comme le HCl, le HF et le SO₂.

Pendant la cuisson des matières premières (fabrication du ciment), le carbonate de calcium est transformé en oxyde de calcium, laissant s'échapper le dioxyde de carbone (CO₂) contenu dans le calcaire. Les émissions gazeuses sont constituées du CO₂ de la décarbonatation et des effluents gazeux des combustibles, ainsi que, dans une moindre mesure, de vapeur d'eau. Elles peuvent contenir aussi des composés soufrés (en général sous forme de SO₂), de l'oxyde d'azote (NO_x), du monoxyde de carbone (CO). De petites quantités de COV, d'ammoniaque (NH₃) et d'acide chlorhydrique (HCl) peuvent être émises.

IV.4.1.1. Le dioxyde de carbone (CO₂)

Les émissions de CO₂ sont dues à deux mécanismes. Comme dans le cas des procédés budgétivores, la combustion de gaz naturel libère des quantités appréciables de CO₂. Des quantités substantielles de CO₂ sont également formées durant la cuisson du calcaire. Cette dernière provoque la décomposition thermique du CaCO₃ en CaO et CO₂. Le ciment contient typiquement 63.5% de CaO. Par conséquent, 1.135 kg de calcaire sont nécessaires pour produire 1 tonne de ciment tandis que la quantité de CO₂ libérée lors de la cuisson s'élève à 500 kg/tonne de ciment produit. Les émissions de CO₂ totales liées à la cuisson s'élèvent à 0.85-1.35 tonnes par tonne de clinker. (Source étude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.55)

IV.4.1.2. Le monoxyde de carbone (CO)

L'émission de CO dépend de la teneur en matières organiques des matières premières, mais elle peut aussi être due à la mauvaise qualité de la combustion provoquée par une mauvaise régulation de l'alimentation en combustible solide. Les matières premières mises en œuvre par le procédé apportent de 1,5 à 6 g de carbone par kg de clinker, selon la nature du terrain d'où elles proviennent. Des résultats d'essais effectués sur des crus de différentes provenances ont montré que 85 à 95 % des composés organiques des matières premières étaient convertis en CO₂ dans un milieu contenant 3 % d'oxygène, mais que dans le même temps, 5 à 15% étaient transformés en

CO. Dans ces conditions, la proportion émise sous forme de composés organiques volatils (COV) a été bien inférieure à 1 %. La concentration en CO peut atteindre 1 000 mg/Nm³ et parfois même dépasser 2 000 mg/Nm³. La qualité de la conception de la trémie, du convoyeur et du distributeur est déterminante pour obtenir une alimentation en combustible solide régulière, avec des pointes minimales.

IV.4.1.3. Oxydes d'azote (NO_x) :

Dans les fours à ciment, la température des flammes peut atteindre 1 800°C, et l'oxydation de l'azote de l'air peut entraîner le rejet d'oxyde d'azote en quantités assez importantes. La formation de NO due à la combustion de l'azote de l'air (NO thermique) dépend de la température de la flamme. Cette dernière est la plus élevée lorsque le carburant utilisé est le gaz naturel plutôt que le charbon ou le gas-oil. Les fours des cimenteries européennes rejettent en moyenne près de 1 300 mg NO_x/m³ (en NO₂, mesuré sur gaz sec, 273 K, 101,3 kPa, 10 % O₂).

Le NO et le NO₂ sont les principaux oxydes d'azote présents dans les gaz résiduels des fours de cuisson du ciment (NO > 90 % des oxydes d'azote). Il existe deux grandes sources de production de NO_x :

- les NO_x thermiques : une partie de l'azote de l'air comburant réagit avec l'oxygène pour former des oxydes d'azote,
- les NO_x combustibles : les composés contenant de l'azote, liés chimiquement dans le combustible, réagissent avec l'oxygène de l'air et forment des oxydes d'azote.

- Les NO_x thermiques se forment au-dessus de 1 200 °C à partir de la réaction des molécules d'azote et d'oxygène de l'air comburant. La majeure partie se forme dans la zone de clinkérisation du four où la température est assez élevée pour que cette réaction puisse se produire. La quantité de NO_x thermique qui y est produite dépend de la température et de la teneur en oxygène (facteur d'excès d'air) de cette zone. La vitesse de la réaction à l'origine de la formation de NO_x thermique augmente avec la température ; les mélanges qui ne peuvent brûler qu'à une température très élevée dans la zone de clinkérisation tendent à former une quantité de NO_x thermique supérieure à celle des mélanges qui brûlent facilement. La vitesse de la réaction augmente aussi avec la teneur en oxygène (facteur d'excès d'air). La conduite d'un même four avec une teneur en oxygène plus élevée à l'arrière (facteur d'excès d'air) provoque la formation d'une plus grande quantité de NO_x thermique dans la zone de cuisson (bien que les émissions de SO₂ et/ou de CO puissent diminuer).

- Les NO_x combustibles résultent de la combustion de l'azote présent dans le combustible ; il se combine avec d'autres atomes d'azote pour former le gaz N₂ ou il réagit avec l'oxygène pour

former les NO_x combustibles. La plage de températures la plus fréquente dans un précalcinateur est comprise entre 850 et 950 °C, ce qui est insuffisant pour provoquer la formation d'une quantité significative de NO_x thermiques mais suffisant pour provoquer celle des NO_x combustibles.

Actuellement, des expériences sont réalisées à grande échelle pour étudier les possibilités de réduire les taux de NO_x et trois procédés sont prometteurs:

- combustion non catalytique ;
- installation avec filtration sur charbon actif ;
- conversion des systèmes en installations de calcination biétagées (oxydation, réduction).

IV.4.1.4. Les oxydes de soufre (SO₂)

Les émissions de SO₂ de cette cimenterie sont principalement déterminées par la quantité de soufre volatil présente dans les matières premières. Quand elles ne contiennent que peu ou pas de soufre volatil, les émissions de SO₂ des fours ne posent que peu ou pas de problème. L'utilisation de matières premières contenant du soufre organique ou de la pyrite (FeS), peut provoquer de fortes émissions de SO₂. Le SO₂ est le principal composé soufré des émissions (99 %) bien qu'une certaine quantité de SO₃ se forme dans l'installation et qu'en milieu réducteur, du H₂S puisse apparaître. Le soufre présent dans les matières premières sous forme de sulfures et de soufre organique lié se vaporisera et 30 % de ces gaz ou plus peuvent s'échapper du premier étage d'un préchauffeur. Ces émissions sont directement rejetées dans l'air ou envoyées dans le broyeur s'il est en marche ; dans le broyeur, 20 à 70 % du SO₂ seront réabsorbés par les matières premières finement broyées. Il est donc très important d'optimiser cette opération, car le broyeur joue un rôle dans la réduction des émissions de SO₂.

Le soufre présent dans les combustibles ne provoque pas d'émissions importantes de SO₂ du fait de l'atmosphère très alcaline de la zone de clinkérisation, de la zone de calcination et de l'étage inférieur du préchauffeur. Ce soufre sera capturé par le clinker. Dans les conditions normales, l'excès d'oxygène (l'atmosphère du four contient en permanence 1 à 3 % d'O₂ ce qui garantit la qualité finale du ciment) oxydera tous les composés soufrés réduits et les transformera en SO₂. Dans les fours longs, le contact entre le SO₂ et les matières alcalines est de moins bonne qualité et le soufre présent dans les combustibles peut être à l'origine d'émissions non négligeables de SO₂. Bien que la majeure partie du soufre reste dans le clinker sous forme de sulfate, les émissions de SO₂ des matières premières à forte teneur en soufre volatil peuvent être importantes et être considérées comme une pollution majeure.

Le rejet des composés soufrés peut être considérablement réduit grâce à des matériaux et des combustibles adaptés et à une régulation judicieuse du système de combustion. Les composants soufrés peuvent être partiellement agglomérés par le clinker de ciment pendant la cuisson. A la cimenterie de Hamma Bouziane, le combustible utilisé (gaz naturel) est exempt de soufre. La matière première n'en contient que 0,2%.

Etant donné la présence insignifiante de soufre dans les matières premières et le combustible, les SO_x existent a priori sous forme de traces. Le taux d'absorption de SO_2 varie entre 70% à plus de 90%.

IV.4.2. Les Poussières

Le procédé d'extraction et de transformation du ciment entraîne la formation de poussière. Il s'agit d'un mélange de calcaire, d'oxyde de calcium, de minéraux et, en partie, de ciment cuit.

Traditionnellement, l'émission de poussières, en particulier les rejets des cheminées des fours, a toujours été la préoccupation principale en matière d'environnement pour la fabrication de ciment. Seulement, en plus des fours d'autres sources d'émissions de poussières importantes sont à considérer, à savoir ; les stations de broyage des matières premières, les refroidisseurs à clinker et les broyeurs à ciment, car ce sont des équipements où circulent des volumes importants de gaz au travers de matériaux poussiéreux. Des émissions de poussières fugitives peuvent se produire au cours du stockage et du transport des matières premières et des combustibles solides, ainsi qu'à la surface des routes. Les émissions particulières lors du conditionnement et de l'expédition du clinker et du ciment peuvent aussi être importantes. (voir figure IV.3)

Des systèmes d'aspiration et des dépoussiéreurs puissants, tels les tissus filtrants sont indispensables pour garantir une exploitation conforme des installations et éviter une augmentation disproportionnée des frais d'usure des machines, une teneur en poussière élevée très gênante à l'emplacement des postes de travail et des pertes de production. (voir photos IV.9 et IV.10)

Dans les équipements de production et de manutention d'une usine de ciment, 6 à 12 m³ d'air extrait et d'effluents gazeux par kg de produit doivent être aspirés et dépoussiérés.

Les poussières séparées sont en grande partie réintroduites dans le processus, sauf s'il y a accumulation de métaux lourds (thallium, etc.) dans les effluents gazeux. En cas de matières premières ou de combustibles défavorables, il peut s'avérer nécessaire, en présence d'une trop grande concentration de matières indésirables (chlorures alcalins par exemple), de séparer et d'évacuer une partie des poussières.

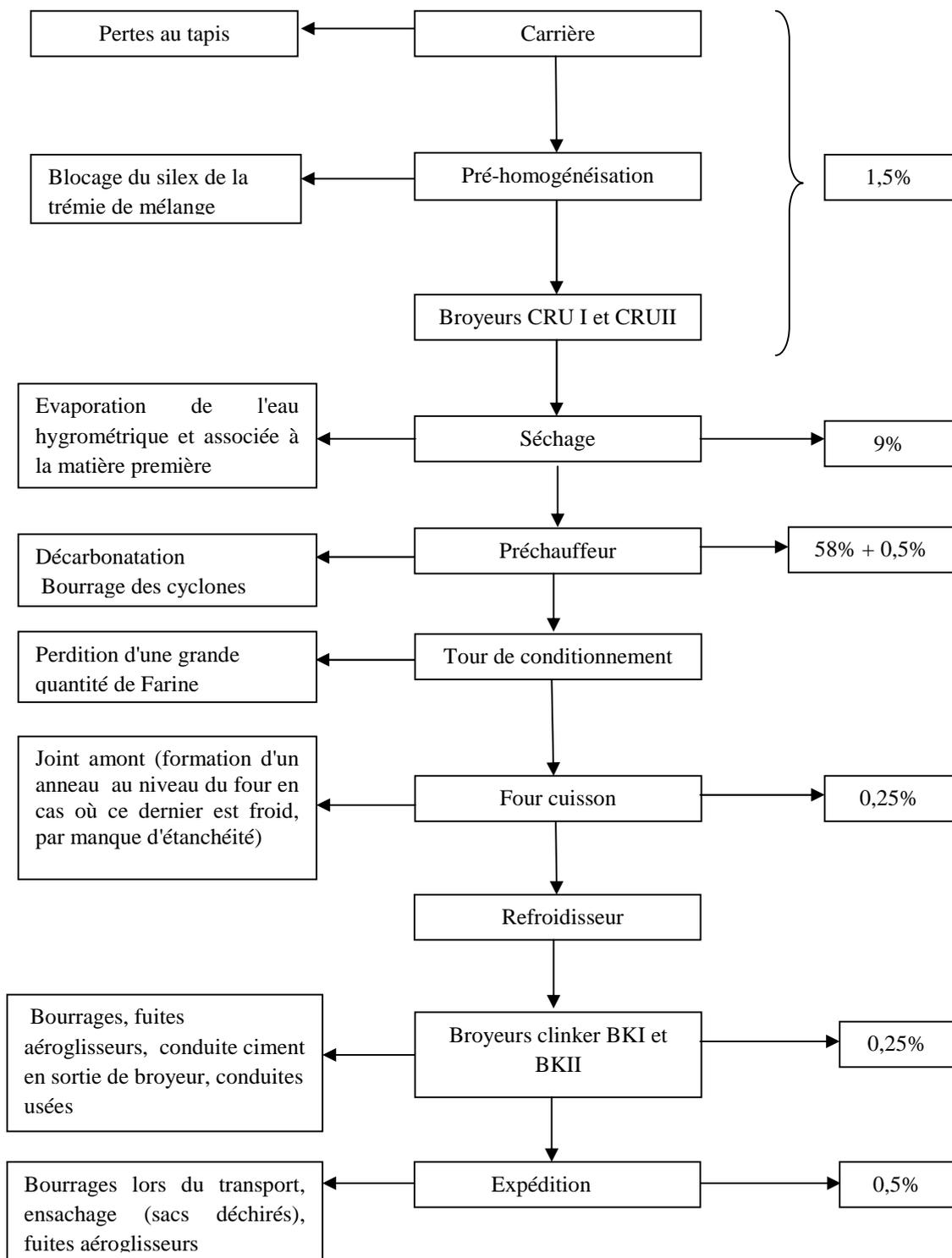


Figure IV.3 : Sources d'émission des poussières déposées sur le sol
 (Source : Etude environnementale Hamma Bouziane, 2007 p .47)



Photo IV.9 : Ancienne Cheminée avec filtre électrostatique. (source : Auteur 2011)



Photo IV.10: Nouvelle cheminée avec filtre à manche. (Source : Auteur 2011)

Dans certains cas, ces poussières peuvent être réutilisées dans d'autres industries. Si les poussières sont mises à la décharge, l'entreprise doit respecter les exigences sur la protection des eaux souterraines en raison de l'hydrosolubilité de certains constituants. (Ali-Khodja, 2007, p.51)

Les fours produisent de 1 700 à 2 500 m³ de gaz résiduaires / tonne de clinker (valeur type, gaz sec, 101,3 kPa, 273 K). Le volume de gaz résiduaires produit par les fours à préchauffeurs et par les fours à précalcinateur se situe normalement autour de 2 000 m³/tonne de clinker (gaz sec, 101,3 kPa, 273 K).

IV.4.3. Les métaux lourds

La majeure partie de ces éléments se retrouve piégée soit dans le clinker, soit dans les poussières captées par les filtre, Certains d'entre eux peuvent toutefois être, en partie plus ou moins importante, rejetés dans l'environnement soit parce qu'ils sont volatils et ne se solidifient qu'aux basses températures, soit parce qu'ils forment des composés volatils notamment en présence de chlore.

Les matières premières et les combustibles contiendront toujours des métaux mais leur concentration est très variable d'un endroit à un autre.

Les poussières résultant de la fabrication du ciment contiennent de faibles quantités de composés métalliques comme l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le thallium (Tl) et le zinc (Zn). La principale source de poussières chargées en métaux est le four, y compris les préchauffeurs, et les refroidisseurs à clinker. Leur concentration en métaux dépend de la matière à cuire et des éléments recyclés dans le four.

Comme les métaux qui entrent dans le four n'ont pas tous le même degré de volatilité et du fait des températures élevées, les gaz chauds du four contiennent aussi des composés métalliques en phase gazeuse. L'étude du bilan matière montre que le clinker contient peu d'éléments fortement volatils, ce qui veut dire que ces substances s'accumulent dans le four.

En synthèse, les taux de polluants émis par le four de la cimenterie sont résumés dans le tableau IV.3. Leurs plages d'émission dépendent très largement de la nature des matières premières, des combustibles, de l'âge et de la conception de l'installation.

Tableau IV.3 : Plages d'émission du four à ciment

	mg/Nm ³	kg/tonne de clinker	tonnes/an
NO _x (en NO ₂)	< 200–3 000	< 0.4-6	400-6 000
SO ₂	< 10–3 500	< 0.02-7	< 20-7 000
Poussières	5–200	0.01-0.4	10-400
CO	500–2 000	1-4	1 000-4 000
CO ₂	400-520 g/Nm ³	800-1 040	0.8-1.04 million
COT	5-500	0.01–1	10-1 000
HF	< 0.4-5	< 0.8-10 g/t	< 0.8-10
HCl	< 1-25	< 2-50 g/t	< 2-50
PCDD/F	< 0.1-0.5 ng/Nm ³	< 200-1 000 ng/t	< 0.2-1 g/an
<u>Métaux :</u>			
Σ (Hg, Cd, Tl)	0.01-0.3 (surtout Hg)	20-600 mg/t	20-600 kg/an
Σ (As, Co, Ni, Se, Te)	0.001-0.1	2-200 mg/t	2-200 kg/an
Σ (Sb, Pb, Cr, Cu, Mn, V, Sn, Zn)	0.005-0.3	10-600 mg/t	10-600 kg/an
Note : Ces chiffres sont donnés pour 2 000 m ³ de gaz/tonne de clinker et pour une production de 1 million de tonnes clinker/an. Les plages d'émission sont des moyennes annuelles et sont des valeurs indicatives obtenues en utilisant différentes techniques de mesure. La teneur en O ₂ est normalement de 10 %.			

(Source : Etude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane, 2007, p.58)

IV.5. Quantification des polluants :

Pour évaluer l'impact des émissions sur l'environnement, il est nécessaire d'estimer les quantités de polluants rejetés au niveau de chaque source. Cette estimation peut être réalisée à l'aide des facteurs d'émissions. Le facteur d'émission est la quantité de polluant émise par unité de production (kg de poussière/tonnes de clinker fabriqué).

Les facteurs d'émission publiés dans la littérature scientifique sont généralement soit estimés soit déduits à partir de mesures expérimentales effectuées sur d'autres sites. Les facteurs d'émission varieront selon le type de contrôle existant au niveau de la source (cyclone, filtre à manche...).

A cet effet une quantification des polluants rejetés par les installations de cette cimenterie a été effectuée en 2005 et les résultats obtenus sont enregistrés dans les tableaux suivants.

(Source : Etude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane, 2007, p.62)

IV.5.1. Polluants gazeux

Les facteurs d'émission relatifs aux gaz ainsi que les quantités de gaz émises dans l'air sont repris au tableau IV.4. En ce qui concerne leur rejet, il y a des cabines d'analyse, ou ils doivent répondre à une certaine norme, la réduction de la teneur des gaz permet à la fois de gagner de l'énergie et d'émettre moins de gaz vers l'atmosphère.

Tableau IV.4 : Quantités de gaz émises dans l'air par la cheminée principale de la cimenterie

Gaz	Facteur d'émission (kg/tonne)	Année 2005 (tonne)
SO ₂	0,27	186,93
NO _x	2,4	1 661,60
CO	0,49	339,24
CO ₂	900	623 099,70
COT	0,090	62,31

(Source : Etude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane, 2007, p.63)

IV.5.2. Les poussières

Les facteurs d'émission relatifs aux poussières ainsi que les quantités de poussières émises dans l'air sont repris au tableau IV.5 et les quantités de celles récupérées sont reprises dans le tableau IV.6. Dans les conditions actuelles de fonctionnement, on peut estimer ces taux à 99,99% pour les filtres à manches. Par contre, avec l'utilisation des anciens électrofiltres, on remarque que leur taux d'émission était nettement plus élevé que la valeur permise de fonctionnement optimal, et c'est pareil pour le filtre à gravier.

Par conséquent, les émissions de poussières dans l'air étaient exacerbées dans les cas suivants:

- court circuit dans l'électrofiltre,
- période de démarrage des électrofiltres suite à une chute de tension,
- apparition de pics de CO,
- apparition de pics de température,

Cependant, actuellement ce type de problèmes ne se pose plus pour certaines installations, tel que le four, grâce à l'utilisation des nouveaux filtres à manche qui sont venus remplacer les

électrofiltres. Néanmoins, il est à signaler que le problème existe toujours au niveau du refroidisseur qui fonctionne toujours avec le filtre à gravier.

Tableau IV.5 : Facteurs d'émission et quantités des poussières émises dans l'air des différentes installations de la cimenterie

Procédé	Facteur d'émission (kg/tonne) (Fonctionnement optimal)	Facteur d'émission (kg/tonne) (Fonctionnement actuel)	Année 2005 (tonne)
Four avec préchauffeur et électrofiltre	0,13	3,9	2700,10
Refroidisseur muni de filtres à gravier	0,21	1,826	1264,2
Broyeurs ciment munis de 02 filtres à manches	0,0042	0,0042	2,91
Aéroglossière venant du CRUI à l'airlift entre les silos	0,016	0,016	11,08
Trémie clinker	0,0047	0,0047	3,25
Tapis venant de la carrière	0,000015	0,000015	0,010
Transporteurs Aumund	0,0012	0,0012	0,83
Total (Tonne)	0.37	5,75	3982,38

(Source : Etude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane, 2007, p.62)

Tableau IV.6 : Quantités de poussières récupérées au niveau des différents filtres

Procédé	Quantités récupérées en 2005 (tonne)
Four avec préchauffeur et électrofiltre	87 303,2
Refroidisseur muni de filtres à gravier	89,47
Broyeurs ciment munis de 02 filtres à manches	29 075
Aéroglossière venant du CRUI à l'airlift entre les silos	110 789
Trémie clinker	32 497
Tapis venant de la carrière	100
Transporteurs Aumund	8 299
Total (Tonne)	268 152,67

(Source : Etude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane, 2007, p.63)

IV.5.3. Autres polluants

Les facteurs d'émission relatifs aux autres polluants inorganiques et organiques ainsi que les quantités émises dans l'air sont repris au tableau IV.7.

Tableau IV.7 : Quantités de polluants émises par la cheminée principale de la cimenterie (tonne)

Polluants	Facteur d'émission (kg/tonne)	Année 2005 (tonne)
Polluants inorganiques		
Arsenic	$6,5 \cdot 10^{-6}$	0,225
Cadmium	$4,2 \cdot 10^{-6}$	0,145
Chlore	0,34	235,39
Chrome	$3,9 \cdot 10^{-6}$	0,135
Fluor	0,00045	0,31
HCl	0,025	17,31
Mercure	0,00011	3,81
Potassium	0,0090	311,55
Manganèse	0,00043	14,88
Ammoniac (NH ₃)	0,0051	3,53
Nitrates (NO ₃)	0,0023	1,59
Sodium (Na)	0,020	692,33
Plomb	0,00036	12,46
Sulfates (SO ₄)	0,10	69,23
Sélénium	$7,5 \cdot 10^{-5}$	0,0010
Titane	0,00019	0,026
Zinc	0,00027	0,037
Polluants organiques		
Acétone	0,00019	0,13
Benzène	0,0080	5,54
Disulfure de carbone	$5,5 \cdot 10^{-5}$	0,038
Chlorobenzène	$8 \cdot 10^{-6}$	0,0055
Chlorométhane	0,00019	0,13
Méthyle éthyle cétone	$1,5 \cdot 10^{-5}$	0,010
Phénol	$5,5 \cdot 10^{-5}$	0,038
Styrène	$7,5 \cdot 10^{-7}$	519 g
Toluène	0,00010	0,069
Xylènes	$6,5 \cdot 10^{-5}$	0,045

(Source : Etude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane, 2007, p.64)

IV.6. Processus du filtrage :

Afin de contrôler la pollution de l'air et nettoyé et les gaz industriels. Différents dispositifs de nettoyage de base sont utilisés pour enlever les matières suspendues dans ces différents fluides. On peut expliquer ce processus de filtrage concernant cette cimenterie comme suit :

Avant l'année 2009 la cimenterie contenait quatre électrofiltres :

- Le plus gros au niveau du four
- Un autre au niveau du cru (farine)
- Deux autres au niveau du broyeur ciment

L'ancienne législation Algérienne permettait des niveaux de taux d'émission de 150 mg/m^3 dans le temps, aujourd'hui la nouvelle réglementation fixe les niveaux à 50 mg/m^3 , alors que la législation Européenne est de 30 mg/m^3 . Les électrofiltres installés ne pouvaient répondre à cette norme, une ancienne technologie, et les anciens filtres à manches avaient une basse pression de 0,90 barres. Les deux premiers électrofiltres ont été remplacés par des filtres à manche qui sont nettement plus performants, et les filtres de basse pression ont été remplacés par de nouveaux filtres à manche à haute pression de 7 barres. Il reste ceux du broyeur à ciment qui sont usés et ne fonctionnent qu'à 10%.

Tous ces changements font que la cimenterie rejette moins de polluant dans l'atmosphère par sa nouvelle cheminée principale est répond aux normes Algérienne et Européenne. Actuellement, fonctionnant avec des filtres à manche et un seul filtre à gravier au niveau du four côté refroidisseur, la cimenterie a un taux de rejet des poussières qui ne dépasse pas les 10 mg/m^3 et 18% de la matière produite sont automatiquement récupérés par les filtres et réinjectés dans les circuits.

Le processus du dépoussiérage effectué par les différents filtres ayant été utilisés et ceux utilisés par la cimenterie est présenté comme suit :

IV.6.1. Dépoussiérage par électro filtres (Ef) :1980-2009 (voir figure IV.4)

La précipitation électrostatique fait appel aux champs des forces électriques afin de séparer les particules solides ou liquides transportées par le gaz. Développées pour éliminer les poussières fines, il est envisagé de les employer pour abattre des composés organiques volatils (COV).

Pour l'ionisation intense du gaz porteur on utilise l'effet couronne, ensemble de phénomènes caractérisés par la naissance d'un champ électrique non homogène entre des électrodes (émissives portées à haute tension de 40 à 110 kv et des électrodes collectrices reliées à la terre) dont les surfaces sont différentes, beaucoup plus intenses au voisinage immédiat du fil constituant l'électrode d'émission.

En choisissant une valeur de la tension entre les électrodes, telle qu'au voisinage de l'électrode d'ionisation le champ électrique atteint une tension dite de claquage, il se produit le long de l'électrode l'ionisation du gaz (accompagnée d'un léger crépitement de petites étincelles).

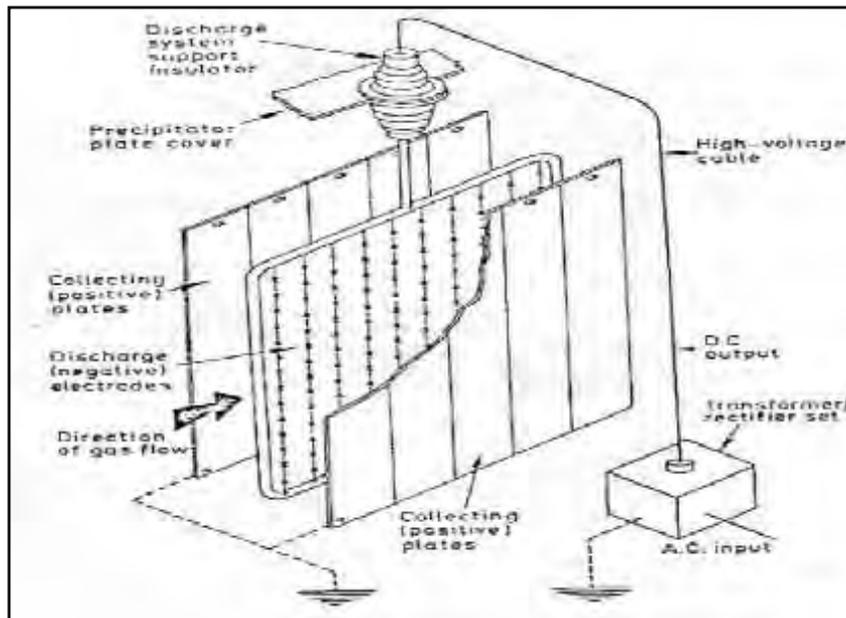


Figure IV.4 : Dépoussiérage par électro filtres (EF) (Source : Laib & Merouani, 2011, p.78)

L'effet couronne peut être positif ou négatif selon la charge négative ou positive de l'électrode ionisant. Les électro filtres industriels utilisent presque toujours un effet couronne négatif, car il permet de réaliser des tensions de claquage plus élevées, d'où des vitesses de précipitation supérieures.

La captation des particules dispersées dans le gaz ionisé se réalise en trois étapes successives :

- La charge électrique des poussières ;
- La migration des particules chargées dans le champ électrique vers l'électrode de précipitation (positif) ou elles précipitent par décharge électrique ;

L'évacuation du gaz purifié et l'élimination des poussières collectées.

Remarque :

La durée totale de ces trois étapes doit être plus courte que la durée de passage du gaz à travers le filtre ; dans le cas contraire les poussières traversent le filtre en même temps que le gaz.

(Laib & Merouani, 2011 p.78)

IV.6.2. Dépoussiérage par filtre a gravier : (voir figure IV.5)

Le filtre à gravier est généralement constitué de 8 à 20 cellules comprenant chacune un ou deux étages. Il dépoussière l'air par passage à travers une couche d'environ 10 cm de gravier de silice d'une granulométrie variant entre 4 à 6 mm.

Après un certain temps de fonctionnement, la couche de gravier se charge de poussière et l'inversion du passage d'air à lieu. De l'air est soufflé par le bas et reprend la poussière retenue sur le filtre et la véhicule dans la partie basse de forme cyclone qui par effet de cyclonage

précipite la poussière qui est évacuée vers le système de transport, via le double clapet, dont le rôle est d'assurer l'étanchéité du filtre contre les entrées d'air faux. Après rinçage, le cycle de rétention de poussière reprend.

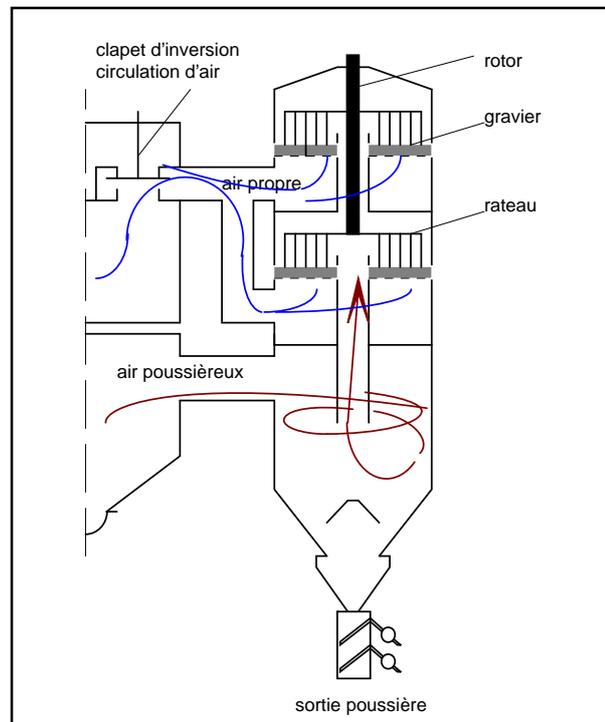


Figure IV.5 : Filtre à gravier (Source : Laib & Merouani, 2011, p.73)

Les filtres à gravier sont des appareils qui se distinguent par leur grande fiabilité de fonctionnement à haute température (plus de 250°C en marche continue) avec des teneurs en poussières d'environ 10 g/Nm³ à l'entrée et de 50 mg/Nm³ à la sortie (efficacité de captation ~ 99,9 %). Le diamètre des cellules varie de 1300 à 2800 mm pour des pertes de charge de l'ordre de 150 mm par filtre qui sont toujours disposés en parallèle. Cependant, le filtre à graviers de cette cimenterie est inefficace et rejette beaucoup de poussières, il est à remplacer. (Laib & Merouani, 2011, p.78)

IV.6.3. Dépoussiérage par tissu filtrant (filtre à manche) : 2010 (voir figure IV.6 et photo IV.11)

Dans ce procédé, les gaz chargés de poussières traversent une surface filtrante qui retient les particules solide. Leur originalité tient à ce que les premières poussières arrêtées sur un support filtrent les poussières suivantes. « Le gâteau » de poussières déposé conduit à une augmentation de la différence de pression, ce qui nécessite la régénération de la surface filtrante à des intervalles de temps dont la grandeur est fonction de la concentration de la phase solide dans le gaz, de la nature du tissu filtrant et de la charge spécifique (m³ gaz /m².s) du filtre.

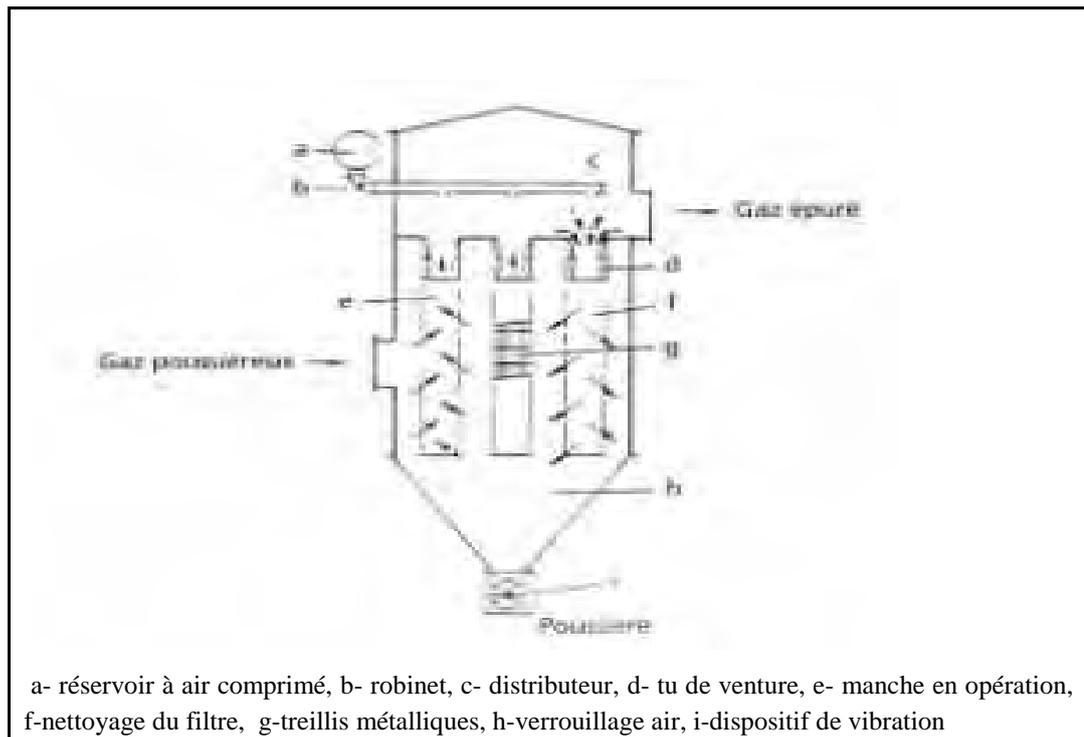


Figure IV.6 : Filtre à manche à nettoyage par air pulse (Source : Laib & Merouani, 2011, p. 86)



Photo VI.11 Montage du nouveau filtre à manche (source : Auteur, 2011)

Les couches ou médias filtrants utilisés dans ce type de séparation sont les suivants :

- Corps en vrac (Copeaux en bois ou métal, coke, anneaux de Rashig).
- Fibres en vrac (Fibres synthétiques ou fibres de verre).
- Papier filtrant.
- Fibres traitées ayant la structure d'un feutre.

(Laib & Merouani, 2011, p.83)

Avec cette installation, on a une optimisation dans le relevé de toutes les mesures (gaz, poussières et métaux). La figure IV.7 informatisée donne la composition du filtre avec les différents relevés : les deux batteries qui composent le filtre à manche sont sous forme de trémies

Tableau IV.8 : Filtres à manches (FM) existant au niveau de la cimenterie de Hamma Bouziane

N°	Code	Equipement/procédé dépoussiéré	Débit d'air
1	12Q011	Araignées sur le silo d'homogénéisation (atelier CRU)	45 000 m ³ /h
2	12Q013	Trémie de l'airlift du silo	75 000 m ³ /h
3	12QNF1	Aéroglossière venant du CRUI à l'airlift entre les silos	20 000 m ³ /h
4	16QNF1	Tour d'échantillonnage	10 000 m ³ /h
5	15Q05	Bulle incuits	10 000 m ³ /h
6	16Q010	Trémie clinker (atelier ciment)	20 000 m ³ /h
7	16QNF2	Trémie 2 du broyeur II (atelier ciment)	20 000 m ³ /h
8	16Q06	Tapis sortant du bulle incuit	10 000 m ³ /h
9 à 11	16Q0123 (3 FM)	Silos ciment	15 000 m ³ /h
12 à 16	QNF34567 (5 FM)	Vrac fer, 02 élévateurs entre silos ciment, vrac route	10 000 m ³ /h
17 à 20	17QO6789 (4 FM)	Ensacheuses	40 000 m ³ /h
21-22	2 FM	Broyeurs ciment	55 000 m ³ /h
23-24	2 FM	Transporteurs Aumund	5 000 m ³ /h
25	1 FM	Tapis venant de la carrière	5 000 m ³ /h
26	1 FM	Aéroglossière, produits finis (CRUII)	

(Source : Etude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane, 2007, p.107)

IV.7. Conclusion :

Etant donnée l'importance économique de la cimenterie « Tahar jaouad » de Hamma –Bouziane et son emploi d'une grande masse de main d'œuvre, avec un potentiel productif théorique de plus d'un million de tonne par an et une production réelle équivalente qui a pour conséquence le rejet de plusieurs catégories de polluants avec des pourcentages différents et un impact sur l'environnement intérieur « la cimenterie » et extérieur « les agglomérations se situant dans la périphérie de l'usine » (Hamma Bouziane, Bekira et Didouche Mourad), la réduction des émissions de ses polluants est une nécessité pour la collectivité et aussi une source d'avantage pour l'industriel.

Certes, les installations de cette dernière et les procédés de fabrication ont été améliorées par le remplacement de certains filtres et l'introduction d'une nouvelle technologie d'optimisation du four, mais une analyse comparative est nécessaire avec ceux utilisées en Europe et décrites au chapitre trois nous permettra d'examiner si l'optimum a été réalisé pour préserver l'environnement immédiat et ses habitants des nuisances de cette cimenterie.

Certes, selon la présentation de la cimenterie Tahar Djouad, il est remarqué que ses installations ainsi que ses procédés de fabrication ont été améliorées par le remplacement de certains filtres et l'introduction d'une nouvelle technologie d'optimisation du four en 2009. Cependant, nous jugeons que :

- une analyse comparative entre les installations de cette cimenterie et ses techniques de réduction des émissions avec ceux utilisées en Europe et décrites au chapitre trois,
- une enquête actualisée de l'environnement de son site et,
- une étude sociale et sanitaire de la région d'El Hamma

Sont nécessaires afin d'examiner si le maximum a été réalisé pour préserver l'environnement immédiat et ses habitants de ses nuisances.

Référence :

- 18- Aoudia M. T, (2001), « Les rejets atmosphériques dans le secteur de la production du ciment et leurs impacts sur l'environnement. Moyens d'évaluation et de contrôle ». Séminaire CETIM, du 28-30 Octobre, Hôtel Hilton d'Alger.
- 19- Albin M, (1998), Encyclopédie Universalis, (1998), Paris.
- 20- Belala A & Demmene Debbih W, (2003), « Pollution particulaire et métallique aéroportée dans la ville de Didouche Mourad », mémoire de fin d'étude en écologie et environnement, Université Mentouri Constantine.
- 21- Benyoucef K, (1992), « Mesure des retombées totales et humides à Blida », Mémoire d'ingénieur d'état en Chimie Industrielle, Université de Blida.
- 22- Cellule environnementale, (2007), « Etude environnemental de la cimenterie de Hamma Bouziane », Constantine.
- 23- Deletraz G & Paul E, (1998), « Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes » Rapport intermédiaire, Contrat ADEME n°9793022, 227 p. (http://www.univ-pau.fr/~deletraz/etat_art.htm.)
- 24- Djessas R & Laouir L, (2004), « Qualité de l'air et impact sanitaire lié à l'exposition aux métaux lourds au voisinage de la cimenterie de Hamma Bouziane », Mémoire de fin d'étude en écologie et environnement, Université Mentouri Constantine.
- 25- Ali-Khodja H, (2007), Air quality and deposition of trace elements in Didouche Mourad, Algeria.
- 26- Laib M & Merouani A, (2011), « Gestion et modes de traitement des différents types de déchets (gazeux, solide, liquide) générés par le processus de production dans la cimenterie de Hamma Bouziane », Mémoire de fin d'étude, Université de Constantine.
- 27- Magdelaine C, « Pollution atmosphérique », <http://www.notreplanete.info/polluauto.php>.
- 28- Seraghni N, Ali Khodja H & Derradji A F, (2009), « Concentrations et flux des retombées particulaires et métalliques au niveau de l'agglomération de Constantine », Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév. Actes, ENP ed, Alger, p. 157-162.
- 29- Seraghni N, (2006), « Mesure de la pollution particulaire et métallique dans l'air au niveau de trois sites urbains de la ville de Constantine » mémoire magister Université Constantine.
- 30- Socotec. Rapport géotechnique, (1985), Société nationale des matériaux de construction, Cimenterie de Hamma Bouziane.

31- <http://www.keskeces.com/villes/algerie/constantine/hamma-bouziane.html>

32- <http://www.wilayadeconstantine.org>

V.1. Introduction

Dans ce chapitre on effectue l'étude analytique de l'exemple présenté précédemment. Il traitera dans son premier volet l'analyse de la qualité de l'air autour de cette cimenterie effectuée par Ali Khoudja durant les années 2005-2007, afin de démontrer que les taux des émissions des polluants de cette cimenterie étaient très importants durant cette période et dépassaient de loin les normes Européennes et Algériennes. Ensuite on les comparera avec ceux relevés après les nouvelles améliorations apportées par l'emplacement des nouveaux filtres à manches et l'optimisation du four de cuisson en 2010.

En ce qui concerne le deuxième volet, il traitera de l'investigation personnelle menée sur les différents procédés de production du ciment et techniques utilisées actuellement au niveau des installations de la cimenterie pour réduire ces émissions. Ces techniques seront comparées avec celles utilisées en Europe, considérées comme meilleures (voir chapitre deux), afin de vérifier s'il y a amélioration après installation de ces nouveaux filtres. Les taux d'émission actuels et prélevés sur place récemment seront comparés avec ceux admissibles par la réglementation de l'environnement.

Enfin, à l'aide de trois enquêtes personnelle menées sur site ; la première est environnementale, effectuée au niveau du site de la cimenterie, et les deux autres, sanitaire et sociale réalisées au niveau de la polyclinique d'El Hamma et des habitations situées dans l'environnement de la cimenterie, une comparaison des résultats obtenus avec ceux de la période d'avant 2010 permettra de vérifier si l'impact de ces émissions sur la santé et l'environnement est réduit.

V.2. Analyse de la qualité de l'air

Une analyse environnementale de la qualité de l'air a été effectuée par le Professeur Ali-Khodja pendant les années 2005, 2006 et 2007 dans l'environnement immédiat de la cimenterie, afin de quantifier les taux des émissions rejetées.

Les retombées atmosphériques totales des émissions ont été recueillies à l'aide d'un collecteur en PET de 20 cm de diamètre et 25 cm de hauteur. Le principe consistait à exposer la jauge, contenant un volume de 10l d'eau distillée, à l'air libre pendant 15 jours. Les eaux de pluies et les poussières sédimentables sont recueillies dans la jauge. La solution obtenue est transvasée dans un récipient en polyéthylène propre et sec et transportée au laboratoire pour les différentes analyses.

V.2.1. Choix des points d'échantillonnage

Les points d'échantillonnage ont été choisis en tenant compte de la sécurité de l'appareil et de façon à être aussi représentatifs que possible du niveau d'exposition des travailleurs et de la population. Le poste de travail sélectionné est le toit du pont bascule près de la sortie de l'unité. Le site de mesure de l'exposition de la population se trouve sur le toit d'un atelier de l'entreprise de maintenance de l'Est située à l'Ouest de la cimenterie. Ce site se situe à près de 500 m de la limite ouest de la cimenterie. Les résultats concernant ce site ont été comparés à ceux obtenus en même temps au niveau de la garde communale de Békira qui se situe au Sud Ouest du site précédent à une distance d'environ 3000 m de la cimenterie et 1500 m de la carrière. (voir figure V.1)

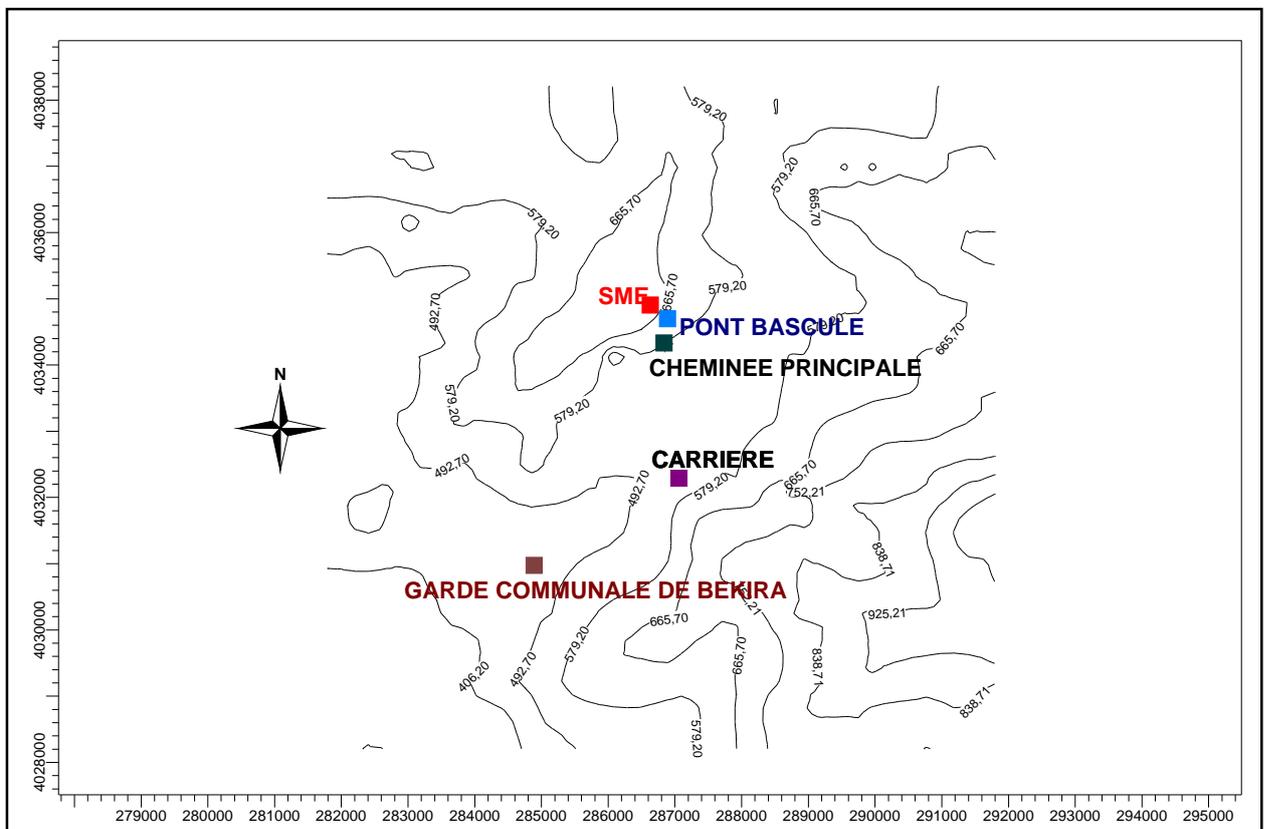


Figure V.1 : Position des sites d'échantillonnage par rapport à la cheminée principale de la cimenterie et la carrière (**source :** étude environnementale, 2007, p.82)

V.2.2. Résultats des prélèvements de poussières totales en suspension et de leurs retombées

Les concentrations des poussières totales en suspension (PTS) au niveau des sites sus cités et les retombées atmosphériques totales sont consignées dans le tableau V.1 et représentées par les roses des vents (figures V.2 & V.3)

Les concentrations quotidiennes moyennes observées au niveau de l'entreprise SME sont toutes inférieures à la norme quotidienne de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ établie par la Banque Mondiale pour les pays en voie de développement à l'exception de celles observées en date du 15-16/8/2006 (332,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et du 10-11/9/2006 (364,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) au niveau de l'entreprise de maintenance de l'Est et au niveau du pont bascule de la cimenterie respectivement. Vue sous l'angle de l'exposition professionnelle des travailleurs de l'entreprise SCHB, les concentrations mesurées au niveau du pont bascule et qui se trouve non loin de l'entrée de la cimenterie sont insignifiantes par rapport au seuil acceptable de 10 mg/m^3 .

Tableau V.1 : Concentrations des PTS et retombées atmosphériques totales au voisinage de la cimenterie et de la carrière.

Concentrations de PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
Cimenterie: pont bascule		Dates	Société de maintenance de l'Est	Garde communale de Békira
Dates				
15-16/8/2006	332,30	1-2/9/2006	226,92	71,37
19-20/8/2006	295,83	4-5/9/2006	178,35	94,35
24-25/8/2006 (week-end)	115,96	7-8/9/2005	143,52	84,06
28-29/8/2006	280,69	10-11/9/2006	364,40	100,29
		13-14/9/2006	131,99	29,45
Retombées atmosphériques totales ($\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{jour}$)				
Cimenterie: pont bascule 15/8/2006-31/8/2006		Société de maintenance de l'Est 01/9/2006-16/9/2006		Garde communale de Békira 01/9/2006-16/9/2006
1194,90		4437,89		1837,58

(Source : Etude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.78)

Le niveau des retombées (4437,89 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{jour}$) est, quant à lui, excessif au vu de la moyenne annuelle servant de valeur guide en Allemagne de 350 $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{jour}$.

Rose des vents durant les périodes de prélèvements

Selon les périodes où ont été effectués les prélèvements (du 15/8/2006 au 31/8/2006 et du 01/9/2006 au 16/9/2006), La quantité importante des polluants poussiéreux rejetés par la cimenterie se différencie par deux lieux de dépôt. Selon les roses des vents présentées ci-après, la partie nord-est représentée par

Didouche est affectée par ces polluants durant la période de septembre et la partie ouest, sud-ouest et qui est plus affectée en quantité par rapport à la première est celle de Hamma Bouziane. (voir roses des vents)

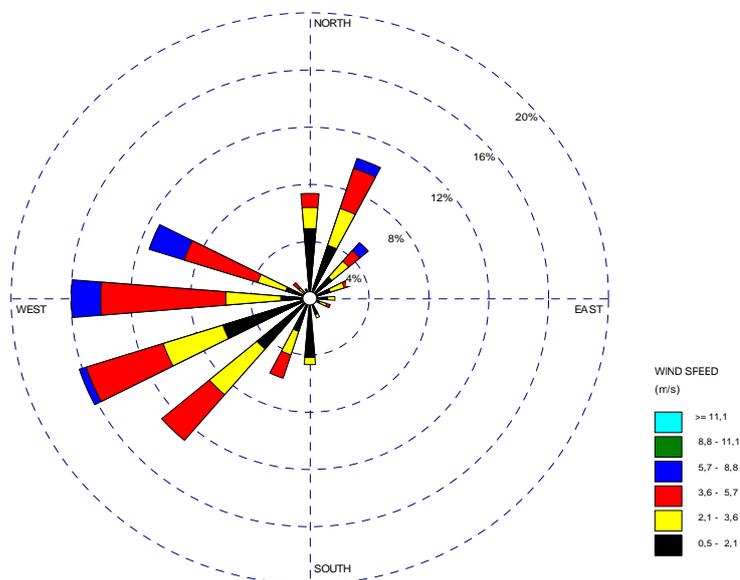


Figure V.2 : Prélèvements (15/8/2006-31/8/2006)

(Source : étude environnementale, 2007 p .79)

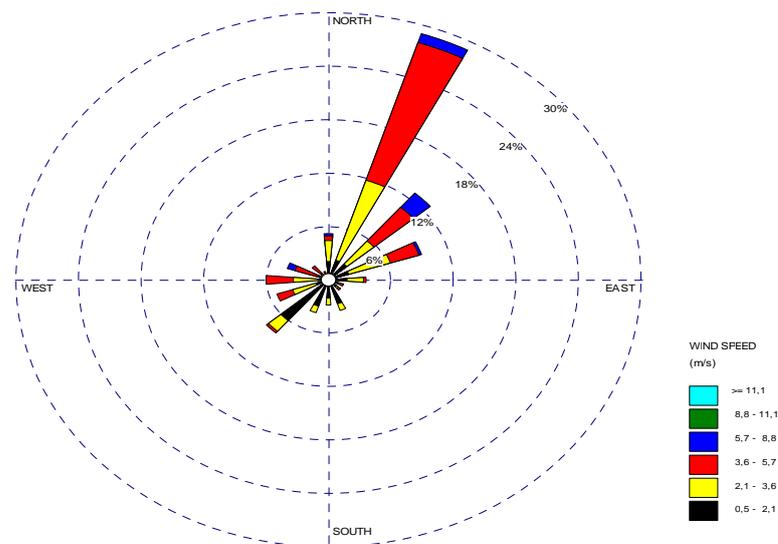


Figure V.3: Prélèvement (1/9/2006-16/9/2006)
 (Source : étude environnementale, 2007 p .80)

V.2.3. Simulation de la dispersion et des retombées des poussières pendant l'année 2005

Les figures V.4, V.5 et V.6 reflètent les contours de pollution suivants autour de la cimenterie: les concentrations quotidiennes maximales de PTS, concentrations annuelles moyennes et retombées des PTS attribuables aux seuls rejets de la cheminée principale et de celle du refroidisseur. Les résultats des niveaux simulés des concentrations et des retombées des PTS issues de la cheminée principale et de celle du refroidisseur pour l'année 2005 sont consignés dans le tableau V.2.

(Les cartes présentées dans les figures V.4, V.5 et V.6 sont effectuées grâce au logiciel ISCST3 voir annexe 1)

Les concentrations maximales quotidiennes et annuelles moyennes sont en dessous des normes à l'exception de la cheminée où les niveaux au sol doivent être confrontés aux valeurs limites d'expositions professionnelles qui sont de 10 mg/m^3 .

L'ancienne cheminée avec électrofiltres (filtre électrostatiques) était une très grande émettrice de polluants (voir tableau V.2) avec des retombées annuelles moyennes de poussières de 132 mg/m^3 nettement au dessus de la norme Européenne (20 mg/m^3) et Algérienne (50 mg/m^3). Un nuage de poussières recouvrait toute la zone d'El Hamma. (voir photo V.1)

Tableau V.2 : Niveaux simulés des concentrations et des retombées des PTS issues de la cheminée principale et de celle du refroidisseur (année 2005)

Site de simulation	Concentrations quotidiennes maximales ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentrations annuelles moyennes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Retombées annuelles moyennes ($\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{jour}$)
Ecole primaire	63.16	2.95	6.27
APC Didouche Mourad	75.34	3.87	8.08
CEM	160.05	9.37	21.56
Château d'eau	91.20	6.62	6.17
APC Hamma Bouziane	49.16	3.00	2.80
Garde communale Békira	44.07	4.99	3.43
Cité des enseignants	131.42	7.87	19.07
Cheminée principale	4686.16	158.34	132.93
Bab El Kantara	26.40	2.79	3.19
Békira centre-ville	35.17	2.53	2.19
Coin SW	27.64	2.77	1.69
Coin NE	32.43	2.14	4.79

(Source : Etude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.86)

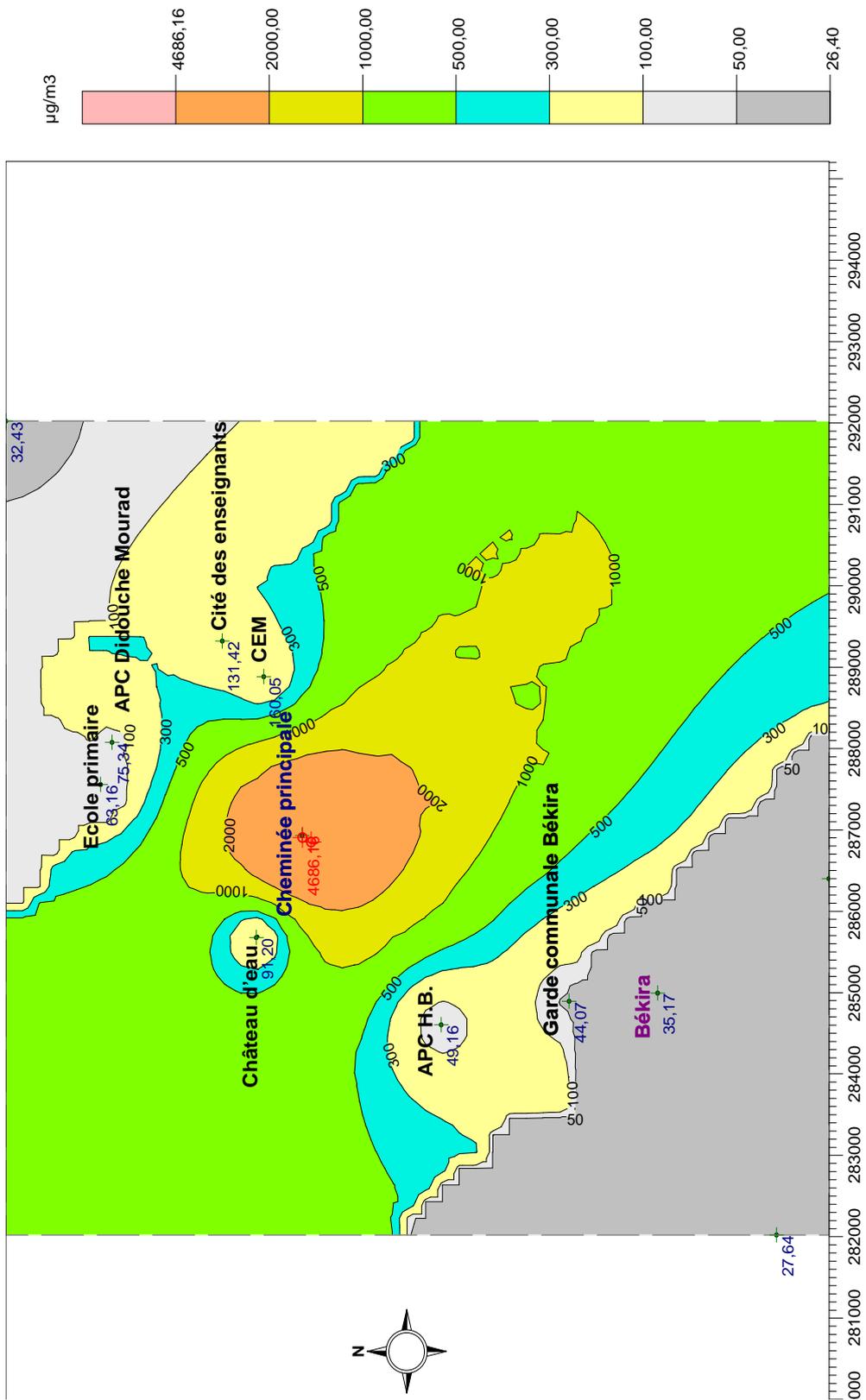


Figure V.4 : Concentrations maximales horaires simulées de PTS liées aux rejets de la cimenterie (données météorologiques horaires de l'année 20005).

(Source : Etude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.83)

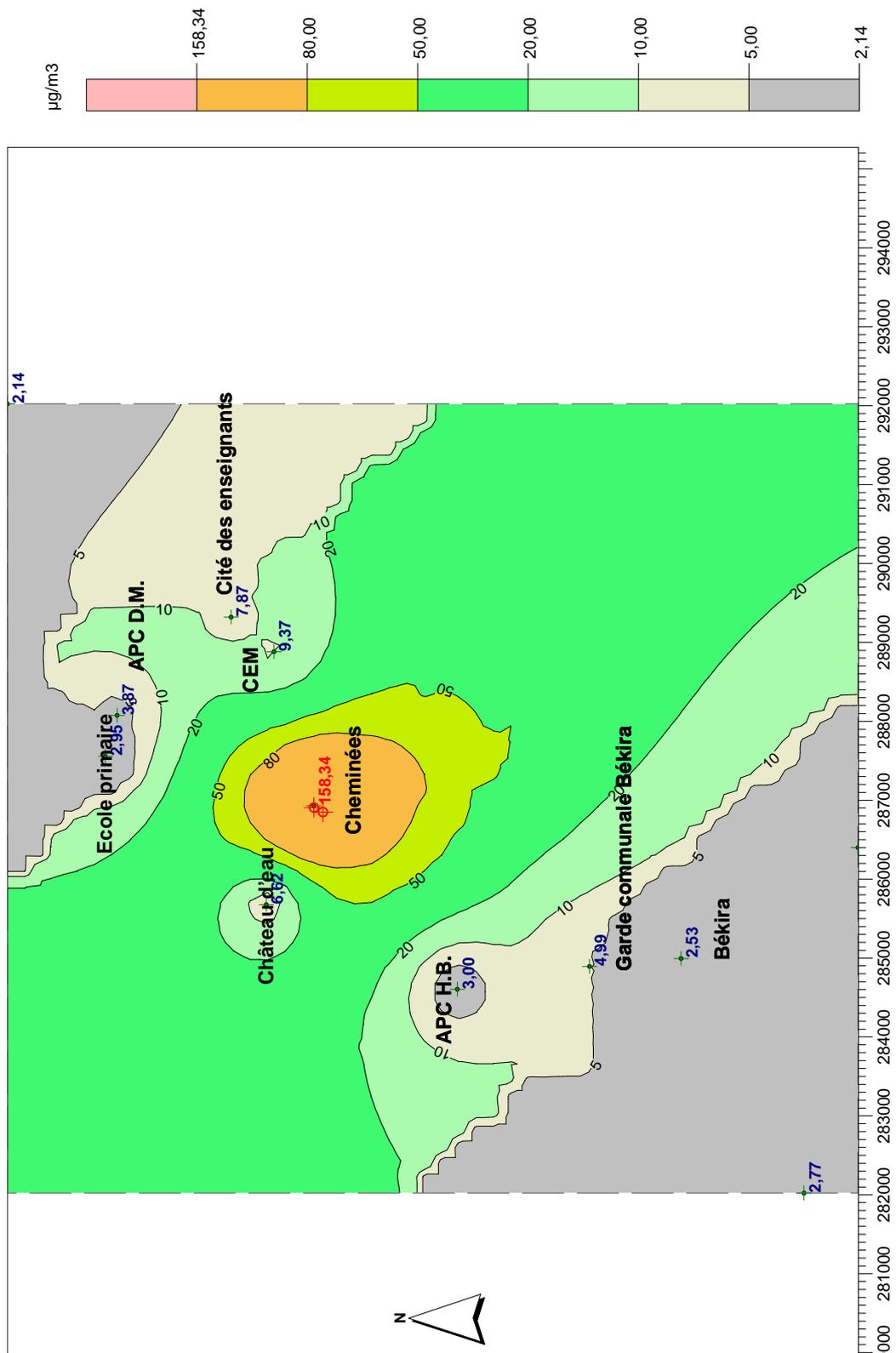


Figure V.5 : Concentrations annuelles moyennes simulées de PTS liées aux rejets de la cimenterie (données météorologiques horaires de l'année 2005).

(Source : Etude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.84)

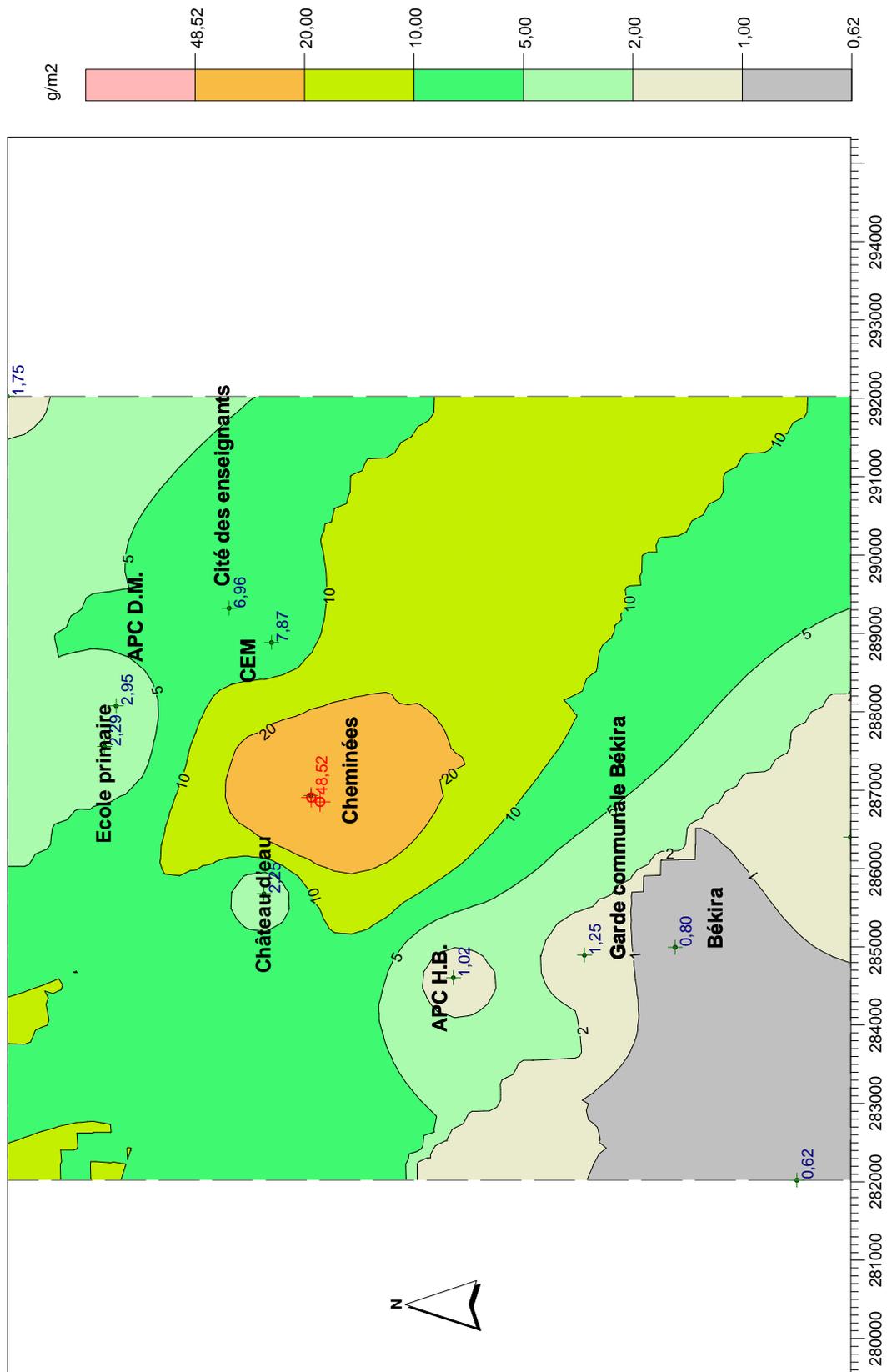


Figure V.6 : Retombées totales de poussières (g/m²) simulées à partir des rejets des cheminées principale et du refroidisseur (données météorologiques horaires de l'année 2005). (Source : Etude environnementale Hamma Bouziane, 2007, p.85)

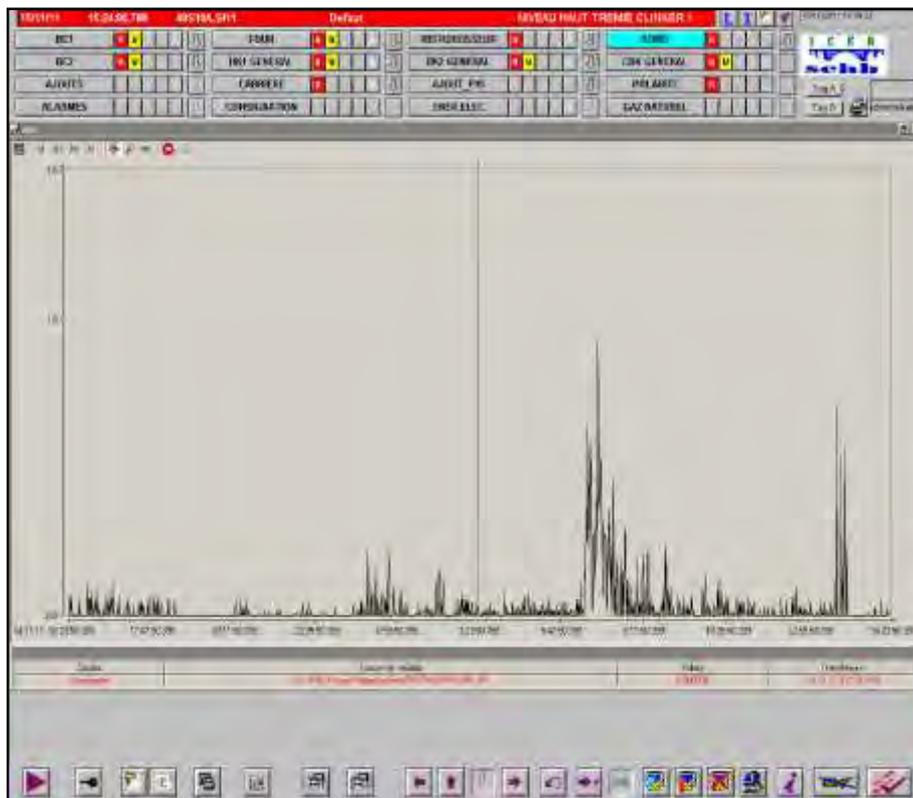


Photo V.1 : Ancienne cheminée avec électrofiltre
(Source : Auteur 2011)



Photo V.2 : Nouvelle cheminée avec filtre à manche
(Source : Auteur 2011)

A partir de 2009 une nouvelle cheminée dotée d'un filtre à manche a été construite pour remplacer l'ancienne cheminée, (voir photo V.2) et le niveau du taux de rejet de poussière ne dépasse pas $10\text{mg}/\text{m}^3$. Des mesures récentes effectuées en novembre 2011 grâce à l'opacimètre montrent que la différence est considérable et donne de meilleurs résultats. (voir graphe V.1).



Graphe V.1 : Taux de poussières rejeté par heure et relevé par l'opacimètre (source : Auteur 2011)

V.3. Les techniques de réduction des émissions de polluants utilisées dans cette cimenterie:

Toute nouvelle installation industrielle exige une étude d'impact et une étude de danger avant sa réalisation, seulement ceci n'a pas été pris en considération par la cimenterie Tahar Djouad, car à l'époque la législation Algérienne ne l'exigeait pas.

Par conséquent, la cimenterie souffrait de beaucoup de méfait et les installations s'usaient et devenaient non fonctionnelles, parallèlement les taux de pollution augmentaient pour atteindre des niveaux inadmissibles et même dangereux pour la population vivant à proximité de l'usine.

Actuellement, quelques installations de la cimenterie ont subi des transformations pour de meilleures améliorations et l'usine dispose de nouveaux filtres à manches et d'une technologie d'optimisation du four qui présentent un avantage précieux dans la réduction des émissions de polluants. Toutefois, une étude, jugée nécessaire, sur le site des différentes installations de la cimenterie a permis de démontrer que si ces émissions ont été réduites à un certain niveau; comme pour le four de cuisson, il reste beaucoup à faire au niveau d'autres équipements, à savoir; broyeurs ciment, refroidisseurs, stockage, transport et autres. (voir annexe 2)

V.3.1. Implantation des installations

Dans le chapitre trois, on a vu que l'implantation idéale d'une cimenterie doit être simple et linéaire de la carrière jusqu'aux silos d'expédition (III.2.3.1), car elle permet de minimiser les sources d'émissions de poussières diffuses, seulement dans le cas de cette cimenterie elle n'est pas linéaire, du fait qu'elle est implantée sur trois voies parallèles (en forme de S).

La linéarité commence de la carrière jusqu'au niveau de pré-homogénéisation 1^{ère} qui est parallèle avec la 2^{ème} voie où se trouvent les broyeurs à ciment et le hall de stockage du clinker, et où sont regroupés les équipements de production de ciment, ensuite arrive la 3^{ème} voie essentiellement réservée à l'ensachage, l'expédition et le stockage des ajouts. Le plan de masse de la figure V.7 résume cette procédure.

V.3.2. Stockage et manutention

V.3.2.1. Matières premières

Avant concassage les matières premières sont stockées à l'air libre au niveau de la carrière. Après le concassage, les matières premières sont transportées par des véhicules vers les transporteurs mécaniques et pneumatiques, qui à leur tour les transportent vers l'usine. Le stockage à l'air libre et le transport par les camions ainsi que celui par les transporteurs qui sont semi- ouverts, favorisent l'émission de poussières diffuses dans l'air de la carrière à l'usine. (voir photos V.3 et V.4)

Ensuite ces matières sont stockées dans des halls clos au niveau du site de la cimenterie appelés

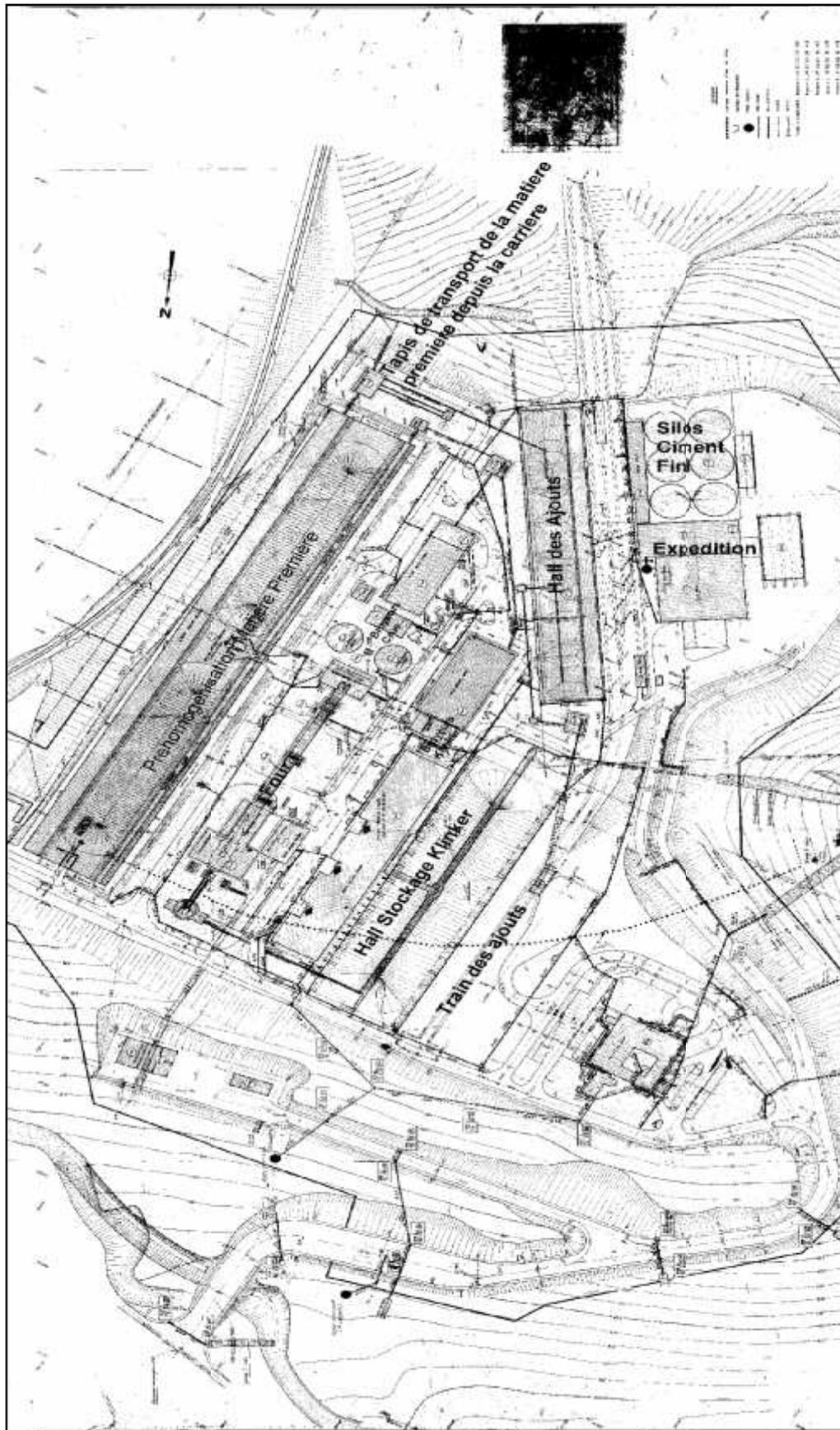


Figure V.7 : Plan de masse cimenterie « Tahar Djouad » (Source : Auteur 2011)

Halls de pré-homogénéisation. Leur stockage entièrement fermé est considéré comme une solution efficace pour éviter les émissions fugitives de poussières, seulement il y a beaucoup de déperditions au niveau des ouvertures. (III.2.3.1)



Photo V.3 : Camion de transport de la carrière (Source : Auteur, 2011)



Photo V.4 : Transporteurs mécaniques et pneumatiques (Source : Auteur, 2011)

V.3.2.2. Le Clinker

Le stockage du clinker se fait dans un hall couvert au niveau de la cimenterie. Malgré qu'il soit capoté, il y'a des déperditions, qui s'échappent par la porte qui reste ouverte à longueur de journée. De plus le filtre à manche installé dans cette partie est toujours en panne, ce qui favorise l'émission de poussières diffuses. (voir photos V.5, V.6 et V.7)

(III.3.2.1)



Photo V.5: Hall de stockage du clinker



Photo V.6 : Porte ouverte du hall de clinker

(Source : Auteur, 2011)



Photo V.7 : Intérieur du hall clinker

(Source : Auteur, 2011)

V.3.2.3. Les ajouts

Le stockage des ajouts au clinker se fait à l'air libre et dans des halls au niveau de la cimenterie, ils sont transportés par des bavettes dans un hall clos pour être ensuite mélangés et broyés avec le clinker pour obtenir le ciment fini. (voir photo V.8)

Au niveau du stockage des ajouts, il existe des émissions de poussières diffuses qui sont augmentées sous l'effet du vent, il n'y a pas de recouvrement naturel ou artificiel, et ainsi qu'au niveau du transport qui se fait par des bavettes très anciennes et usées vers le hall du mélange. (voir photo V.9) (III.3.2.1)



Photo V.8 : Stockage des ajouts à l'air libre

(Source : Auteur, 2011)



Photo V.9: Hall de stockage clos des ajouts

(Source : Auteur, 2011)

V.3.3. Broyeurs à ciment

Sur le site on peut constater des émissions énormes de poussières diffuses au niveau des broyeurs ciment, un cahier de charge a été établi pour l'élimination de toutes les poussières (pollution) issues des deux broyeurs à ciment. Actuellement les deux filtres à manche installés à ce niveau n'arrivent pas à répondre aux besoins de dépoussiérage des volumes de ciment broyé, ce qui nécessite de nouvelles installations efficaces de dépoussiérage. (III.2.3.3)

V.3.4. Type du four

Le type du four utilisé dans cette cimenterie est un four rotatif long dont le fonctionnement est stable et régulier, une homogénéisation des matières premières, et la régularité du dosage du combustible permettent l'optimisation du four, ce qui est le cas dans cette cimenterie. (voir photo V.10)



Photo V.10 : Four de la cimenterie (source : Auteur, 2011)

Le préchauffeur est d'une température de 380°, juste après, à l'entrée du four la température est de 1000°, dans la zone de cuisson, elle atteint les 1450° ; enfin dans le refroidisseur elle est de 110°. La réduction de la longueur de la flamme et des températures de cuisson entraîne des réductions d'émissions de NO_x. (III.2.1)

La cimenterie d'El Hamma dispose d'un analyseur à l'entrée du four qui analyse les gaz imbrulés à savoir ; CO, O₂, NO_x, CH₄, entrant dans le four et les gaz sortant émis vers l'atmosphère afin d'effectuer une optimisation et ainsi réduire la présence de ces gaz dans l'air rejeté. (voir tableau V.3)

Cette optimisation de la conduite du four permet l'obtention d'un équilibre pour réduire les émissions de gaz vers l'atmosphère ainsi que l'énergie et d'obtenir une qualité adéquate de cuisson du clinker.

Toute l'unité est gérée par un système de conduite informatisé, dont les automates sont installés dans la salle de contrôle (poste de pilotage de toute l'unité) cette dernière a été refaite en 2009.

Le CO réagi très vite avec le O₂, il est exothermique c'est à dire il dégage beaucoup de chaleur, lors de sa réaction avec le O₂ et en cas d'étincelle, un risque d'explosion est à envisager. Celui-ci était possible lorsque les électrofiltres étaient utilisés, car les champs électrostatiques représentaient un danger pour le CO et si ce dernier n'est pas régularisé, il réagi facilement avec le O₂ et provoque facilement une explosion. Avec les nouveaux filtres à manches le risque d'explosion est écarté. (III.2.1)

De plus, grâce à la cabine de contrôle ou il y'a plusieurs indicateurs instantanés (de températures, de débit de vibration ...etc.), s'installe une sécurité, car les indicateurs surveillent les niveaux et leur seuils d'alerte pour donner l'alarme, afin que la machine agisse directement ou bien l'opérateur accomplisse des actions pour remédier aux problèmes.

Le tableau montre V.3 présente des mesures prises dans la cabine de contrôle le 15/11/2011 des niveaux des gaz avec leurs seuils d'alerte.

Tableau V.3 : Mesures de gaz avec leurs seuil d'alertes prises le 16/10/2011

Gaz	Valeur actuelle	Seuil d'alerte
CO	0,042%	0,6%
NO _x	653,94 ppm	1200 ppm
O ₂	8,08%	15%
CH ₄	0,00%	0,5%

(Source : Auteur, 2011)

V.3.5. Refroidisseur

Le refroidisseur possède toujours un filtre à gravier ancien dont le fonctionnement est de 10%. Sa cheminée dégage toujours beaucoup de poussière canalisée. Son filtre nécessite un remplacement par une installation de dépoussiérage à haute efficacité.

Photo V.11 : cheminée du filtre à gravier refroidisseur

(Source : Auteur, 2011)



V.3.6. Type de combustible utilisé

Le seul combustible utilisé dans cette cimenterie est le gaz naturel, ce dernier est disponible, pas chère et moins polluant, toutes les cimenteries Algérienne utilisent le gaz naturel,

Ce type de combustible permet de réduire la teneur en soufre des matières premières ainsi que la teneur en chlore, en fluorure, en azote en métaux, en composés organiques volatiles et en mercure des matières premières ; ce qui est très bénéfique. (III.2.2)

V.3.7. Entretien et nettoyage

Coté entretien, seule une humidification des chaussées est assurée avec un balayage manuel et les stocks (points de chargement et déchargements) ne sont pas humidifiés. Le nettoyage des voiries de l'usine nécessite un système d'aspiration par vide d'air, et des susseuses d'entretien dont le rôle est d'aspirer et de nettoyer le maximum des poussières, choses qui n'existe pas, tout est manuel et se fait rarement. (III.2.3.2)

V.3.8. Recouvrement végétale

Des parois ou un recouvrement végétal vertical (pare-vents artificiels ou naturels) permet la protection contre le vent des matériaux stockés à ciel ouvert. Dans cette cimenterie, un recouvrement végétal récent mais pas dense, vient d'être aménager au niveau de la carrière avec une plantation de 3000 arbres en 2010, et au niveau de l'usine avec une plantation d'une centaine d'arbres. (voir photos V.12 et V.13)

V.3.9. le bruit

Au cours de la préparation des matériaux, les nuisances acoustiques sont dues à la mise en œuvre de concasseurs à percussion et de broyeurs pour la fragmentation de matériaux durs. Ces concasseurs et les installations de préparation ne sont pas capotés afin de protéger le voisinage contre les bruits de ces machines. La plupart des broyeurs (matières premières et ciment) sont si bruyants qu'ils nécessitent d'être installés dans des locaux insonorisés séparés, où aucun poste de travail fixe n'est installé.



Photo V.12 : Plantation d'arbre au niveau de l'usine (source : Auteur, 2011)



Photo V.13 : Recouvrement végétal (Source : Auteur, 2011)

Les fours de cuisson sont aussi équipés de nombreux gros ventilateurs, très bruyants, et l'entreprise n'a pas prévu de mesures de protection contre le bruit (enveloppes insonorisantes, etc.). (III.2.7)

V.4. Analyses

Trois analyses environnementales, sanitaires et sociales ont été effectuées au niveau de la commune Hamma Bouziane par le biais d'enquêtes réalisées à l'aide de questionnaires :

- la première au niveau du site de la cimenterie, cellule de l'environnement,
- la deuxième au niveau de la polyclinique de Hamma Bouziane (urgences et consultations externes),
- la dernière au niveau de 20 habitations dont certaines sont situées très proches de la cimenterie.

V.4.1. Analyse environnementale

Un questionnaire a été établi pour une analyse environnementale du site de la cimenterie dont les réponses ont été données par la cellule environnementale de celle-ci. (voir annexe : 3)

L'enquête révèle que (voir tableau V.4) le taux de poussière rejeté par la cimenterie avant l'installation des filtres au niveau de la cheminée était de $200\text{mg}/\text{m}^3$, les filtres étaient installés :

- en 1998 au niveau des carrières d'expédition,
- en 2004 au niveau du broyeur ciment,
- en 2010 au niveau du four.

Le taux de poussières rejeté après l'installation des filtres est retombé à moins de $10\text{mg}/\text{m}^3$ (un taux nettement inférieur à la norme Algérienne qui est de $50\text{mg}/\text{m}^3$)

Le tableau V.4 : Le taux des gaz et métaux dans les poussières rejetés par la cimenterie

Taux		Avant emplacement des filtres			Après emplacement des filtres		
Types des polluants rejetés	Nature du polluant	Oui		Non	oui		Non
		Peu	Beaucoup		peu	beaucoup	
Gazeux	CO ₂		500g/Nm ³		300mg/Nm ³		
	CO (oxyde de carbone)		+700g/Nm ³		400mg/Nm ³		
	hydrocarbures						
	Composés organiques		100mg/Nm ³		-10mg/Nm ³		
	SO ₂ et d'autres dérivés gazeux du soufre	-10mg/Nm ³			-10mg/Nm ³		
	NO _x et d'autres dérivés gazeux de l'azote		500mg/Nm ³		-300mg/Nm ³		
	radionucléides						
Particulaires	Métaux composés minéraux	5mg/m ³			2mg/Nm ³		
	Carbonées (particules)		100mg/Nm ³		30mg/Nm ³		
	Composés organiques naturels et de synthèse						
	radionucléides						
poussières			500mg/Nm ³		10mg/Nm ³		

En conclusion, l'enquête au niveau de la cimenterie révèle que les rejets des polluants (gazeux et poussières) ont considérablement baissé depuis l'installation des nouveaux filtres à manches. Actuellement, ces taux répondent à la norme nationale et Européenne, comparés aux valeurs limites d'émission de rejets atmosphériques. Cependant, selon la cellule plusieurs autres techniques de réduction sont à considérer par cette cimenterie, afin de réduire plus les polluants, dans le but de protéger au mieux l'environnement ainsi que les employés de la cimenterie, et la population résidente dans l'environnement immédiat. En effet, seul le four à bénéficié d'une

nouvelle technologie et restent les autres installations annexes à améliorer tels que : le stockage, broyeur, le refroidisseur et le transport.

V.4.2. Analyse sanitaire

L'enquête sanitaire au niveau de la polyclinique de Hamma Bouziane (urgences et consultations externes), dévoile qu'avec les nouvelles installations de nouveaux filtres au niveau de la cheminée et système d'optimisation, le nombre des malades affectés par la pollution de la cimenterie, par tranche d'âges, a baissé par rapport à celui d'avant 2009. (voir tableaux V.5 et V.6) ; (voir annexe 4)

Tableau V.5 : Statistique des malades au niveau des urgences

Maladies causées par les polluants de la cimenterie	Tranche d'âge la plus touchée	Avant l'emplacement du filtre	Après l'emplacement du filtre
		Avril 2009	Mars 2011
Nombre d'infections allergiques	Adultes (18- 50ans)	80 (20 adultes et 60 enfants)	60 (15 adultes et 45 enfants)
	Enfants (0-14ans)		
Nombre des asthmatiques	Adultes (45-60ans)	112 (21 adultes et 91 enfants)	71 (20 adultes et 51 enfants)
	Enfants (5-13ans)		
Nombre des maladies cardio-vasculaire	Adultes (45- 70 ans)	200 malades	152 malades
	Pas d'enfants	0	0
Autre infections	Tous les âges	220 malades	169 malades

Tableau V.6 : Statistique des malades au niveau de la consultation externe

Maladies causées par les polluants de la cimenterie	Tranche d'âge la plus touchée	Avant l'emplacement du filtre	Après l'emplacement du filtre
		Avril 2009	Mars 2011
Nombre d'infection allergiques	Adultes (18- 50ans)	90 malades au totale	75 malades au totale
	Enfants (0-14ans)		
Nombre des asthmatiques	Adultes (45-60ans)	120 Adultes	100 Adultes
	Enfants (5-13ans)	180 Enfants	150 Enfants
Nombre des maladies cardio-vasculaire (HTA)	Adultes (45- 70 ans)	180 malades	150 malades
	Pas d'enfants	0	0
Autre infections (dermatoses)	Adultes	92 Adultes	80 Adultes
	Enfants	210 Enfants	200 Enfants

En conclusion, on constate une nette amélioration dans le sanitaire, depuis l'emplacement des filtres et autres installations, selon les médecins, la fréquence des visites journalières des malades

au service d'urgence ainsi que celui de la consultation externe a diminué par rapport à la période d'avant l'emplacement des filtres.

V.4.3. Analyse sociale

L'enquête sociale réalisée à l'aide d'un questionnaire a été menée au niveau de 20 familles dont 8 familles habitent au niveau d'El Hamma et 12 à proximité de la cimenterie.

Les résultats de l'enquête montrent qu'avant l'installation des nouveaux filtres, 90% de la population habitant proche de la cimenterie (7 km et moins) se plaignaient des salissures fréquentes et rapides de leurs maisons intérieurement et extérieurement. Ils devaient faire le ménage deux fois par jour et repeindre leurs façades une à deux fois par an. Le nombre des membres de leurs familles affectés par les maladies (allergies, asthmes, dermatoses, etc.) causées par les polluants de la cimenterie était élevé (voir annexe : 5)

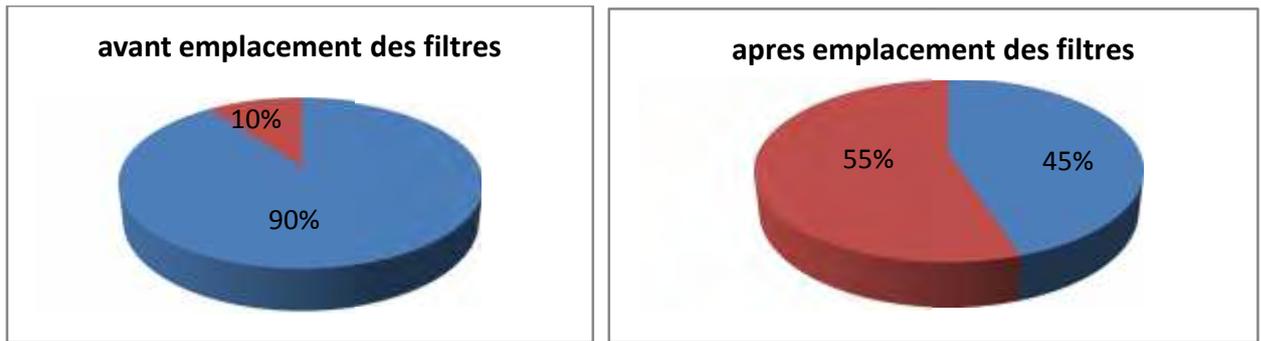
L'enquête montre aussi que leurs jardins et vergers altérés par la poussière ont disparu ; toute les plantations sont endommagées et la production des fruits et des légumes de toute la commune d'El Hamma à été réduite à cause de la poussière.

Selon l'enquête de voisinage qui a été effectuée en vue d'identifier les gênes occasionnées par la cimenterie. On constate que :

- une bonne partie de la population locale exprime une inquiétude relative aux rejets de poussières considérés comme étant parfois très perceptibles lorsque les vents sont dirigés vers les habitations (Didouche Mourad et Hamma Bouziane).
- les nuages de poussière se rabaissent sur tout le cadre bâti et une poussière noire pénètre même dans les armoires et dans la vaisselle.
- l'observation d'une façade de bâtiment en zone urbaine polluée montre la juxtaposition de parties sombres et de parties claires.

Enfin, pour les 10% d'habitations restantes sont situées dans des zones assez éloignées de la cimenterie (10 km et plus), le taux de polluants les atteignant est minime mais pas insignifiant.

Cependant, avec les nouveaux filtres une amélioration est perçue par un nombre important des habitants à savoir 55%, mais malgré cela, certains d'entre eux se plaignent toujours des effets néfastes de poussières à savoir 45% de ces mêmes familles.



V.5. Discussion

Les différentes études effectuées dans cette recherche montrent que malgré tous les efforts réalisés pour la réduction mais pas l'élimination des émissions des polluants de la cimenterie, il existe toujours un impact important sur la santé publique, le cadre bâti et l'environnement dû à la persistance des polluants gazeux et poussiéreux. Ce qui représente toujours un risque néfaste pour la commune de Hamma Bouziane et ses habitants.

Cependant, pour les techniques utilisées dans la cimenterie en vue de réduire les taux des polluants, il a été démontré que seul le filtre du four et du broyeur cru de la farine ont été remplacés. Par conséquent, la pollution par la poussière canalisée au niveau du four, du cru de la farine, etc, et celle par certains gaz (CO_2 , NO_x , CO) au niveau du four ont été réduites. Cependant, il reste d'autres installations qui sont toujours productrices de polluants à savoir les poussières canalisées au niveau du broyeur à ciment et refroidisseur et les poussières diffuses au niveau du transport des matières premières, du stockage, du chargement et du déchargement.

V.6. Conclusion

Avant l'implantation de la cimenterie dans la commune de Hamma Bouziane, cette région s'appelait Hamma plaisance grâce à son court d'eau et sa grande production agricole. Cependant, les enquêtes effectuées au niveau de cette commune ont montré que depuis l'implantation de la cimenterie, celle-ci a perdu sa verdure, et sa meilleure production agricole. Les polluants engendrés par cette cimenterie ont endommagé la végétation et les terres agricoles et poussé les agriculteurs à vendre leurs terres pour développer de nouvelles activités industrielles. Les explosions au niveau des carrières pour extraire les matières premières pour la fabrication du ciment ont engendré des dégâts matériels considérables ; tels que les fissurations des habitations et les déviations des nappes d'eau souterraines. Sans oublier de dénoter les personnes qui ont subi des dommages au niveau de leur santé, tels que : les infections allergiques et l'asthme pour les petits enfants et les maladies cardio-vasculaires pour les vieux.

Toutefois, la cimenterie de Hamma Bouziane semble avoir fixé l'environnement comme une de ses priorités d'intervention pour ses futures différentes unités de production avec les améliorations qu'elle a commencé à instaurer. Seulement, celles-ci restent minimales car selon les enquêtes menées, il reste plusieurs installations à changer tels que ; les filtres à gravier et les filtres à manches à basse pression, et d'autres nouvelles à introduire pour l'entretien et le nettoyage.

Il est aussi reconnu que parmi les options technologiques retenues comme efficaces pour réduire la pollution, le stockage organisé et clos des matières premières et du cru qui constitue un élément important dans l'émission de la poussière diffuse. Si celui-ci n'a pas un aménagement adéquat comme espaces clos ou protégés naturellement ou artificiellement, la poussière restera toujours un polluant crucial de l'environnement. Cependant, dans nos analyses le stockage constitue un des éléments défailant dans la réduction de poussière et qu'aucune amélioration n'a été entretenue.

1- CONCLUSIONS

De cette étude émane deux conclusions importantes liées entre elles,

La première conclusion est d'ordre général. La pollution atmosphérique est l'une des atteintes à l'environnement les mieux perçues par les citoyens. Ses conséquences sanitaires et environnementales sont néanmoins encore considérables et beaucoup d'efforts sont encore à faire en matière de réduction et de prévention, notamment dans les pays en développement.

La pollution atmosphérique sous toutes ses formes et particulièrement celle industrielle qui est liée aux rejets des cimenteries est devenue l'une des causes des fléaux humains actuels, tels que les maladies liées au système respiratoire (asthme, bronchite, emphysème, cancer, etc.) au sang (anémie) à la peau (dermites allergiques), etc., que la médecine contemporaine ne parvient pas à les enrayer. Malgré le progrès des recherches médicales, elle risque de ne pas pouvoir les éradiquer. Théoriquement, si l'ensemble des dispositions sont prises et des travaux sont effectués en amont de toute installation industrielle concernant les cimenteries en prévention de la pollution de l'environnement, des milliers de personnes seront à l'abri de tous les maux engendrés par les activités de celles-ci. En fait, c'est ce qu'on a essayé d'expliquer à travers les chapitres deux et trois, où on a présenté les meilleures techniques de réduction de polluants de cimenteries utilisées à travers les pays de l'Europe.

La deuxième conclusion est spécifique à l'exemple d'étude, la cimenterie Tahar Djouad de la commune de Hamma Bouziane. Une investigation sur les installations de cette cimenterie ainsi que les enquêtes environnementales, sanitaires et sociales effectuées au niveau de ce site ont démontré que; malgré la restauration de l'usine en la dotant de nouveaux filtres à poussières et de capteurs des gaz avec un système moderne d'optimisation, la pollution de l'air persiste même à un degré inférieur. Une amélioration a été perçue au niveau des émissions du four de cuisson, mais le risque potentiel de pollution et d'impact par le reste des autres installations telles que; le broyeur à ciment et refroidisseur, n'a pas été éradiqué ou réduit à un degré acceptable. Parce que les travaux effectués restent insuffisants et d'autres installations de la cimenterie nécessitent des réaménagements spécifiques. (Chapitres IV et V)

L'évidence pour chacune de ces conclusions a été tirée de la littérature et de l'étude du cas d'exemple de la cimenterie d'El Hamma.

En premier lieu et basée sur la littérature :

- Il a été identifié un grand nombre de types de nuisances, telles que; polluants, bruit et odeur, pouvant être causés lors de la fabrication du ciment et à différentes étapes. Ces nuisances sont la cause de plusieurs effets qui s'apparentent à la santé humaine, au cadre bâti et à l'environnement. (Chapitre II)

- Il a été présenté les meilleures mesures possibles utilisées dans la production du ciment dans la communauté européenne pour éviter et, lorsque cela s'avère impossible, réduire de manière générale les émissions et l'impact sur l'homme et l'environnement dans son ensemble. Parmi ces mesures, il y a celles qui touchent les installations lourdes tels que; les types de fours, refroidisseurs, broyeurs, filtres, etc, et d'autres qui concernent les petites démarches à faire telles que la maintenance, le nettoyage, le contrôle, le capotage des stocks et moyens de transports, etc. (Chapitre III)

En second lieu et basée sur l'étude d'exemple de la cimenterie d'El Hamma :

- Une étude détaillée des installations de cette cimenterie a été effectuée où les techniques de prévention et de contrôle utilisées dans cette cimenterie sont exposées afin de déterminer les niveaux de pollution atteints avec l'actuelle situation. Une étude comparative a été effectuée avec les meilleures techniques utilisées en Europe afin de déceler les ressemblances et recenser les différences. (Chapitre VI)

- L'analyse présentée dans le chapitre V et qui est basée sur des enquêtes personnelles menées sur l'environnement immédiat de l'usine et sur le sanitaire et sociale d'El Hamma à montrer qu'il reste beaucoup à faire au niveau des installations de l'usine pour une meilleure amélioration de la situation. (Chapitre V)

Ainsi, la commune de Hamma Bouziane reste encore exposée à la pollution diffuse qui a des effets sur la santé de ses habitants, son cadre bâti, ainsi que son environnement. Les analyses montrent que les taux des malades restent importants malgré l'amélioration ressentie au niveau des chiffres avancés par le sanitaire.

2- RECOMMANDATIONS

Pour une meilleure amélioration de la situation au niveau de la cimenterie Tahar Djouad de Hamma Bouziane et avec l'aide de la cellule de l'environnement de la cimenterie, les recommandations suivantes sont alors proposées :

➤ Reboisement :

- Prévoir et généraliser le reboisement à l'intérieur et à la périphérie du site.

- Transformer la décharge de matières irrécupérables située derrière l'atelier ensachage en aire de verdure.

- Reboiser l'aire qui a été aménagée au dessus de l'oued à la limite de la cimenterie.

- **Nettoyage des sols :**

- Eviter l'amoncellement et le durcissement de farine qui en résulte au niveau de l'atelier ensachage et entre les silos.

- Mise en place d'équipements (suceuses mobiles) mécaniques de nettoyage industriel.

- **Visites régulières :**

- Visites d'inspection quotidiennes avec des programmes définis à l'avance permet de réduire les sources de panne, et donc de surconsommation énergétique.

- **Sécurité des postes de travail :**

- Améliorer les conditions d'hygiène du travail.

- Elaborer des guides de procédures d'intervention au niveau des différentes activités de maintenance.

- Améliorer la signalétique sécurité qui est insuffisante dans les ateliers.

- Nettoyage des ateliers.

- Déclarer dans les meilleurs délais à la direction de l'environnement les accidents ou les incidents.

- **Bitumage ou bétonnage :**

- Bitumage ou bétonnage de la voie donnant accès au gisement argile.

- **Gestion des flux de transport :**

- Meilleur contrôle du trafic sur le site de l'unité.

- Considérer les nuisances engendrées autour du site par le transport important lié aux fournisseurs/clients.

- Exiger aux clients l'utilisation des bâches pour éviter les pertes.

- Imposer aux clients de fermer les portes de remplissage des cocottes au niveau de l'expédition avant de quitter l'unité.

- **Diminution des rejets de poussières :**

- Assurer les filtres à manche au niveau des broyeurs ciment, du hall stockage clinker et du refroidisseur.

- Les installations de traitement doivent être exploitées et entretenues de manière à réduire les durées d'indisponibilité.

- Arrêter immédiatement les installations en cas de dépassement des valeurs des rejets atmosphériques fixé dans l'annexe du décret exécutif n°06-138 du 15/04/2006

➤ **Auto-contrôle et auto-surveillance :**

- Assurer le suivi en continu de la pollution:

- effectuer des mesures analytiques des eaux usées rejetées pour vérifier la mise en conformité avec les normes.
- installer des outils de mesures pour la quantification des nuisances et des consommations de ressources (eau, gaz, électricité) au niveau des différentes unités.

- Assurer une meilleure maîtrise des différentes sources de pollution.

- Etudier l'impact environnemental au niveau local et régional.

➤ **Réduction des pertes de matières premières :**

- Revoir l'ensemble des circuits transporteurs.

- Augmenter les dimensions des tapis de transporteurs de matière pour éviter les débordements.

- Remplacer les aéro-glissières et vis sous dimensionnées pour un transport de produit sans débordements.

- Eliminer les fuites au niveau du broyage cru et broyage ciment.

- Aménager un hall de stockage des matières premières entassées actuellement à l'air libre (pouzzolane, laitier...)

- Remplacer systématiquement la toile des aéroglissières tous les six mois pour prévenir les bourrages.

- Installer un système fixe d'aspiration par vide d'air.

- Un gain de matières premières très important est prévisible après l'installation des filtres à manches (un gain de 32 tonnes/h soit 192 000 tonnes/an a été réalisé au niveau de la cimenterie d'Aïn El Kebira suite à l'installation de deux filtres à manche pour les broyeurs de cru).

➤ **Recyclage et récupération des déchets :**

- Agrandir la plateforme du centre de transit pour un tri des déchets solides (prévu 2007).

- Meilleure utilisation rationnelle des matières premières et auxiliaires

➤ **Lutte contre le bruit :**

- Mener des campagnes de mesure du bruit au niveau des sources (broyeurs, ventilateurs, etc.).

- Généraliser le port du casque anti-bruit.

- Prévoir réduction du bruit des moteurs broyeurs cru: pose d'un sandwich de feuilles d'acier de 3.3 mm d'épaisseur au total, monté sur le cylindre par l'intermédiaire de plots en caoutchouc, avec un remplissage en laine minérale. Un gain de 10 dB(A) peut être obtenu.

Aussi la meilleure recommandation c'est de construire les cimenteries loin des sites urbains afin de protéger les agglomérations des nuisances qu'engendrent ces dernières.

Document et Ouvrages

- 1- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), (2008), « pollution olfactives, origine, législation, analyse du nord », ADEME Paris.
- 2- AFSSE (Agence française de sécurité sanitaire environnementale), (2004), « L'impact de la pollution atmosphérique urbaine », Rapport 2, France (disponible à l'adresse internet suivante : (www.afsse.fr)).
- 3- AFSSET (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail), Pollution atmosphérique urbaine, (2006), « environnements et milieu », France. Disponible sur (http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/developpement-durable-2/d/afsset_5434/)
- 4- Albin M, (1998), Encyclopédie Universalis, (1998). Paris.
- 5- Aoudia M. T, (2001), « Les rejets atmosphériques dans le secteur de la production du ciment et leurs impacts sur l'environnement. Moyens d'évaluation et de contrôle ». Séminaire CETIM, du 28-30 Octobre, Hôtel Hilton d'Alger.
- 6- Ali-Khodja H & all, (2007), « Air quality and deposition of trace elements in Didouche Mourad », Algeria.
- 7- Bastarache E, (2003), « Le chrome et ses composés : Substitutions de matériaux céramiques complexes. Smart Conseil », Québec, Canada. (<http://www.sorel-tracy.qc.ca/~edouardb/>)
- 8- Bastarache E, (2003), « Manganèse et composés : Toxicologie. » Tracy, Québec, Canada. (<http://www.sorel-tracy.qc.ca/~edouardb/>)
- 9- Bailly A, (1996), Risques naturels, Risques de sociétés, « présentation faite au Festival international de géographie sur le thème risques naturels, risques de sociétés » France.
- 10- Berglund B & Maschke C, (2000), « Bruit et santé » : Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 30p.
- 11- Bisson J, (1990), « Pollution atmosphérique et Environnement » Canada. Ottawa.
- 12- Bibliorom Larousse, (1996), « dictionnaire cédérom version office 1.0 Microsoft corporation et Liris Interactive ».
- 13- Bonnard N & al, (2000), « Cobalt et composés minéraux », INRS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), fiche toxicologique N° 128. (<http://www.inrs.fr/dossiers/fichtox/ft128.pdf>)
- 14- Code de l'environnement livre 2 « milieux physiques », titre 2 « Air et atmosphère » (ex-loi 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie).

- 15- Commission Européenne, (2010), « Document de référence sur les meilleures techniques disponibles Industries du ciment, de la chaux et de la magnésie », Ministère de l'énergie et du développement durable et de la mer en France, Paris.
- 16- Cellule environnementale, (2007), « Etude environnemental de la cimenterie de Hama Bouziane », Constantine.
- 17- Deletraz G et Paul E, (1998), « état de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes » Rapport intermédiaire, Contrat ADEME n° 9793022, 227p. Université de Pau et des pays de l'Adour (Grenoble) (http://www.univ-pau.fr/~deletraz/etat_art.htm).
- 18- Étude de l'impact de la cimenterie Lafarge sur les concentrations de particule dans l'air ambiant, (2004) « mesure des particules fines MP10 sur la station la Couronne » ATMO Poitou-Charentes.
- 19- Glomsrod S, & al, (1996), « Air pollution, impacts and values; corrosion costs of buildings, materials and cars in Norway », SFT, Oslo, 54p.
- 20- Health Effects Institute, (2000), « Special report: Reanalysis of the Harvard six cities study and the American Cancer Society study of particulate air pollution and mortality». Cambridge, MA.
- 21- Journal officiel de l'Union européenne, (2008), Directive 2008/50/ce du parlement européen et du conseil « concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe »
- 22- Kalaora Bernard, (1998), au dela de la nature l'environnement: l'observation sociale de l'environnement. Paris.
- 23- Khelifa M. R. & al, (2009), « les cimenteries et l'environnement cas de la cimenterie de ain-touta », 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, SBEIDCO October 12-14 Oran (Algérie).
- 24- Lacour S, (2001), Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique CERE A « court de pollution atmosphérique inventaire d'émissions » (<http://cerea.enpc.fr/fr/>).
- 25- Ministère de l'environnement, (1983), « Code de l'environnement : La loi n° 83-03 du 5 février 1983, relative à la protection de l'environnement », Paris.
- 26- Nassira Seraghni, Hocine Ali- Khodja & A.F. Derradji, (2009), « Concentrations et flux des retombées particulaires et métalliques au niveau de l'agglomération de Constantine »,

- Colloque international Environnement et transports dans des contextes différents, Ghardaïa, Algérie, 16-18 fév. Actes, ENP ed, Alger, p. 157-162.
- 27- Organisation mondiale de la santé, (2000), « Quantification of health effects of exposure to air pollution », Report of a who working group, Rapport no:EUR/01/5026342E74256), Pays-Bas.
- 28- OMS, (1986), Directive de qualité pour l'eau de boisson. Volume 2, « Critères d'hygiène et documentation à l'appui ». Genève.
- 29- Pacyna J.M, (1984), « Estimation of the Atmospheric Emissions of Trace Elements from Anthropogenic Sources in Europe ». Atmospheric Environment. pp. 18, 41-50.
- 30- Pacyna J.M. & Graedel T.E, (1995), « Atmospheric emissions inventories: status and prospects. Annual Review of Energy and the Environment », pp.20, 265-300.
- 31- Programme des Nations Unies pour l'environnement GEO, (2000), « l'avenir de l'environnement mondial » Nairobi (Kenya).
- 32- Programme d'information sur l'Atmosphère, « Encyclopédie de l'Environnement Atmosphérique le Climat et l'Environnement ». Royaume Uni disponible sur (http://espritderio.com/spip/site.php3?id_rubrique=30&id_syndic=76)
- 33- Ramade F, (2000), «les polluants de l'environnement et de l'homme» dictionnaire encyclopédique des pollutions, Ediscience international, Paris, pages (13, 33,424).
- 34- Stenger R, (1998), « Partie I : Polluants contenus dans les fumées » Colorado springs, USA.
- 35- Socotec. Rapport géotechnique, (1985), « Société nationale des matériaux de Construction », Cimenterie de Hamma Bouziane.
- 36- Subra Philippe, (2001), « Le transport routier en France: aspects géopolitiques d'une question environnemental » Ecologie et géopolitique, France.
- 37- Thibaut G, (1998), « La pollution atmosphérique en milieu urbain (l'exemple de la région parisienne) ». Mairie de paris : Direction de la Protection de l'Environnement, Service des Pollutions Atmosphériques - Air et Silence.
- 38- Vladislav N, (2009), « Caractérisation de l'impact de l'activité de Saint – Gobain sur les concentrations de particules fines et de métaux lourds », campagne de mesure Atmo Poitou-Charentes.
- 39- Zohoun th & al, (1993), « Poussière de ciment et pollution d'eau de puits, », à propos d'une étude réalisée dans des localités proches d'une cimenterie à Cotonou - république de Benin.

Thèses et mémoires

- 40- Amri B, (2008), « Pollution et nuisances environnementales des problèmes de décharges et carences en assainissement à Constantine », Mémoire de doctorat Université Mentouri Constantine.
- 41- Ait-ali L & Labii A, (2010), « Simulation de l'évaluation et du captage du CO₂ émis par une cimenterie d'Alger » Mémoire d'ingénieur, Université de d'Alger.
- 42- Azimi Sam, (2004), « Sources, flux et bilan des retombées atmosphériques de métaux » Mémoire de doctorat option : Sciences et Techniques de l'Environnement, Île-de-France.
- 43- Belala Assia & Demmene Debbih Wahiba, (2003), « Pollution particulaire et métallique aéroportée dans la ville de Didouche Mourad », Mémoire de fin d'étude en écologie et environnement, Université Mentouri Constantine.
- 44- Benyoucef K, (1992), « Mesure des retombées totales et humides à Blida ». Mémoire de fin d'étude de cycle d'ingénieur, Université Blida.
- 45- Djessas R & Laouir L, (2004), « Qualité de l'air et impact sanitaire lié à l'exposition aux métaux lourds au voisinage de la cimenterie de Hamma Bouziane », mémoire de fin d'étude en écologie et environnement, Université Mentouri Constantine
- 46- Ferfar A, (2003), « Etude des retombées atmosphériques autour de la cimenterie de Hamma Bouziane », Mémoire de fin d'étude en Ecologie et Environnement, Option : Pathologie des écosystèmes (Pollution), Université Mentouri de Constantine.
- 47- Kadem. D.E.D, (2000), « Pollution des sols par les métaux lourds ». mémoire magistère, option Ecologie. Université Mentouri Constantine (Algérie).
- 48- Laib M & Merouani A, (2011), « Gestion et modes de traitement des différents types de déchets (gazeux, solide, liquide) générés par le processus de production dans la cimenterie de Hamma Bouziane. » Mémoire de fin d'étude, Université Mentouri de Constantine.
- 49- Lachheb, (2009), « Pollution de l'air, les milieux et l'homme » Mémoire magistère, Université Mentouri Constantine.
- 50- Sekiou S, (1998), « Incidents de la Pollution des Carriers d'Agrégats sur les Sols. Cas de la carrière géante de Ain-Touta », mémoire d'ingénieur, Université de Batna, 69p.
- 51- Seraghni N, (2006), « Mesure de la pollution particulaire et métallique dans l'air au niveau de trois sites urbains de la ville de Constantine », Mémoire magister Université Constantine.

Site internet :

- 52- Free Encyclopédie Wikipedia (http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution_de_l'air)
- 53- Encyclopédie de l'Environnement Atmosphérique
(http://www.ace.mmu.ac.uk/eae/french/air_quality/older/natural_air_pollution.html)
- 54- http://www.ace.mmu.ac.uk/eae/french/air_quality/Older/VOCs.html
- 55- <http://www.environnement.ccip.fr/Thematique/Air/Entreprises-comment-reduire-vos-emissions-atmospheriques/Les-particules-et-poussieres/Definition-Particules-et-Poussieres>
- 56- http://www.actu.environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/compose_organique_volatil_cov.php4
- 57- CEREAs- Laboratoire d'environnement atmosphérique <http://www.enpc.fr/cerea>
- 58- Directives européennes sur la qualité de l'air : <http://europa.eu.int/comm/environment/air>
- 59- <http://www.medecine-anti-age.com/site/definition-54.html?idGlossaire=53>
- 60- La pollution atmosphérique: www.capitalismedurable.com
- 61- <http://www.keskeces.com/villes/algerie/constantine/hamma-bouziiane.html>
- 62- <http://www.wilayadeconstantine.org>
- 63- Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique
www.citepa.org/pollution
- 64- <http://www.eea.dk> : Agence européenne de l'environnement
- 65- <http://www.rnsp-sante.fr> : Réseau National de santé publique
- 66- <http://www.environnement.gouv.fr>: Ministère de l'écologie et du développement durable
- 67- <http://www.people-pt.net/eundex.html> : Programme people de l'UE sur les relations air et santé
- 68- <http://www.drire.gouv.fr> : Direction Régionale de l'Industrie, de la recherche et de l'Environnement (DRIRE)
- 69- <http://www.aschieri.net/collectif/accueil.htm>: Groupe santé-environnement de l'Assemblée nationale.
- 70- Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphériques CITEPA « la pollution atmosphérique en bref, Différentes échelles de la pollution », mise à jour 14/12/2010 (<http://www.citepa.org/>).
- 71- Magdelaine C. « Pollution atmosphérique » (<http://www.notreplanete.info/polluauto.php>)

Annexe 1 : Présentation du système ISCST3

1.1. Le modèle ISCST3

Le modèle de dispersion ISCST3 (industrial Source Complex – Short Term) est un modèle Gaussien à l'état stationnaire qui peut être utilisé pour évaluer les concentrations et/ou les flux de retombées de polluants issus de sources diverses associées à un complexe industriel. Ce modèle a été conçu par l'USEPA. Les capacités et applications de ce modèle sont entre autres :

- La modélisation de polluants primaires et de rejets continus de polluants toxiques et dangereux.
- Il peut traiter plusieurs sources à la fois, qu'elles soient ponctuelles, volumiques, surfaciques.
- Les taux de rejets peuvent être constants ou variables en fonction des mois, des saisons, des heures ou autres. Ces taux de rejets variables peuvent être spécifiés pour une source unique ou un ensemble de sources.
- Le modèle peut tenir compte de l'effet aérodynamique des bâtiments sur les sources ponctuelles.
- Il contient des algorithmes pour modéliser les effets de la sédimentation par dépôt sec des particules grossières et pour modéliser l'effet de lavage par les précipitations des gaz et des particules.
- Les positions des récepteurs peuvent être spécifiées sous forme de mailles ou de récepteurs discrets dans un système de coordonnées cartésiennes ou polaires.
- ISCST3 englobe les algorithmes de dispersion du modèle de screening COMPLEX1 pour traiter les récepteurs dans un terrain complexe.
- L'ISCST3 utilise les données météorologiques en temps réel pour tenir compte des conditions atmosphériques affectant la dispersion des polluants.
- Les résultats peuvent être exprimés sous forme de concentrations, de flux de déposition totale, sèche et humide.

1.2. Données d'entrée requises

1.2.1. Données météorologiques

Les sections qui suivent discutent des données météorologiques dans le cas d'une modélisation de niveau 2. La modélisation de niveau 1 évalue l'impact d'une ou de plusieurs sources en employant un modèle Gaussien simple tel que le modèle SCREEN ou modèle complexe tel que

le modèle ISC. La modélisation de niveau 2 évalue l'impact d'une ou de plusieurs sources et tient compte de divers phénomènes de manière plus détaillée.

La différence principale entre les deux niveaux réside, entre autre, dans la couverture spatiale et l'utilisation des données météorologiques complètes.

Choix de la station météo

Les données météorologiques, horaires ou statistiques, nécessaires à l'opération du modèle seront celles de la station la plus représentative du site modélisé. On doit démontrer que les conditions climatiques au site de la station météorologique et au site modélisé sont similaires. Cette démonstration implique la description des facteurs pouvant affecter le microclimat à proximité des deux sites. Ces facteurs incluent la topographie, l'altitude, la présence de montagnes ou d'obstacle à l'écoulement du vent, la présence d'une vallée, la présence d'une masse d'eau importante à proximité du site, la rugosité du terrain, etc.; (20) et ce sont les raisons pour lesquelles on a jugé important d'installer notre station météo à l'APC de Didouche Mourad. Les données météorologiques devraient idéalement être prélevées au même site, (le cas de notre station).

Traitement des données météorologiques

Dans le cas d'une simulation horaire, on doit utiliser des données météorologiques brutes afin de les traiter par les préprocesseurs RAMMET, et on doit les vérifier soigneusement afin de détecter des anomalies.

Les paramètres météorologiques qu'on a utilisés sont :

- vitesse et direction des vents (m/s)
- température (°C)
- précipitation (mm)
- pression atmosphérique (mbar)
- humidité relative (%)
- nébulosité (Octas)
- plafond des nuages (m)

1.2.2. Caractéristiques de la source d'émission

La source qui va faire l'objet de notre simulation est la cheminée de la cimenterie de Hama Bouziane T. Djouad qui présente les caractéristiques suivantes :

- ponctuelle
- immobile

- rejetant les poussières provenant des électrofiltres dont l'efficacité de captage est de 75 %
- Taux d'émission en (g/s) égal au facteur d'émission préconisé par l'USEPA pour un procédé de cuisson utilisant un four avec préchauffage, à savoir, 0,13 kg/kg de clinker produit
- Une hauteur physique de 80 m
- Un diamètre à la sortie de 4 m
- Une vitesse de sortie de 7,95 m/s
- Une température à la sortie de 413 K

Les valeurs caractéristiques seront de préférence basées sur des mesures effectuées à la source, dans des installations similaires ou sur des valeurs fournies par les manufacturiers.

1.2.3. Topographie

Domaine de la modélisation

Le domaine de modélisation choisi doit permettre de détecter clairement la concentration maximale calculée par le modèle. Il doit respecter les limites de validité du modèle utilisé. Par exemple, il n'est généralement pas recommandé d'utiliser un modèle Gaussien à des distances de plus de 30 km de la source.

Le domaine de la modélisation dans notre étude va porter sur une surface de 10 km x 10 km ayant pour centre la cheminée.

Annexe 2 : Enquête environnementale au niveau du site de la cimenterie de Hamma Bouziane.

Questionnaire cimenterie Hamma Bouziane avec réponse

1. Stockage et manutention

1.1. Le stockage des matières premières, des combustibles et du clinker se fait :

- en plein air

- dans des espaces clos

- les deux

1.2. Y-t-il une protection artificielle ou végétale au niveau du stockage matière premières ?

- oui - non

1.3. Les convoyeurs et les tapis élévateurs sont des systèmes

- clos

- ouverts

- les deux types

1.4. La manipulation des matériaux se fait dans des espaces

- fermés

- ouverts

- les deux

1.5. Les véhicules transportant les matières premières sont-ils capotés ?

- oui - non

1.6. Les activités dégageant la poussière sont elles capotées ? pour

- broyage, oui non

- tamisage, oui non

- mélange, oui non

2. Entretien et nettoyage

2.1. Les stocks sont-ils humidifiés

- oui non

2.2. Les chaussées sont-ils humidifiées

- oui non

2.3. Le nettoyage des lieux et des locaux se fait

- manuellement

- à l'aide d'appareils spéciaux (suceuse et/ou aspiration)

3. Quel est le type du combustible utilisé ?

- gaz charbon déchets

4. Le four

4.1. Y-a-t-il optimisation (avec réduction de la longueur de la flamme, baisse des températures de cuisson et la création d'une atmosphère oxydante dans le four, le tout associé à un régime de fonctionnement stable) ?

- oui non

4.2. Les mesures sont-elles surveillées et contrôlées ?

- oui non

4.3. Comment sont prises les mesures d'émissions en poussières au niveau du four ? Chaque:

- heure - jour - mois

Annexe 3 : Enquête environnementale : cimenterie El Hamma

Questionnaire cellule environnementale de la cimenterie avec réponse:

1- En quelle année les filtres ont été installés ?

-1ere étape : 1998 carrières expédition

-2eme étape : 2004 broyeur ciment

-3eme étape : 2010 four et broyeur farine

2 - Quel a été le taux de poussière rejeté par la cimenterie avant l'installation des filtres (2009) ?

-Au niveau de la cheminée 200mg/m³

3- Quel est le taux de poussières rejeté après l'installation des filtres (2009) ?

- Au niveau de la cheminée moins de 10mg/m³

4- Avez-vous utilisé une méthode ou un moyen autre que les filtres pour réduire le taux de poussière ?

- oui non

5- Le taux des gaz et métaux dans les poussières rejetés par les installations de la cimenterie avant et après l'installation des nouveaux filtres.

		Avant emplacement des filtres		Après emplacement des filtres	
Types des polluants rejetés	Nature du polluant	Oui		Non	
		Peu	Beaucoup	peu	beaucoup
Gazeux	CO2		500g/Nm3	300mg/Nm3	
	CO (oxyde de carbone)		+700g/Nm3	400mg/Nm3	
	hydrocarbures				
	Composés organiques		100mg/Nm3	-10mg/Nm3	
	SO2 et d'autres dérivés gazeux du soufre	-10mg/Nm3		-10mg/Nm3	
	NOX et d'autres dérivés gazeux de l'azote		500mg/Nm3	-300mg/Nm3	
	radionucléides				
	Métaux composés minéraux	5mg/m3		2mg/Nm3	
	Carbonées		100mg/Nm3	30mg/Nm3	

Particulaires	(particules)						
	Composes organiques naturels et de synthèse						
	radionucléides						
poussières			500mg/Nm3		10mg/Nm3		

Annexe 4 : Enquête sanitaire ;

Questionnaires au niveau de la polyclinique de Hamma Bouziane (service des urgences et consultations externes) avec réponse

1- Est-ce que la plupart des malades sont des habitants qui vivent proche de la cimenterie ?

Oui non

- on reçoit beaucoup de malades de Hamma Bouziane et Didouche Mourad

2- Y-il- eu des malades graves qui sont mort à cause de maladies causées par la pollution rejetée par la cimenterie ?

Oui non

- on ne peut pas poser ce diagnostique car la cause est difficile à définir

3- Combien de malades de la commune El Hamma venaient-ils en moyenne se soigner pour une infection allergique ou asthmatique avant l'installation des filtres au niveau de la cimenterie ? voir tableaux 3.1 et 3.2

Tableau 3.1 : Statistique des malades avant et après installation du filtre cas des urgences

Maladies causées par les polluants de la cimenterie	Tranche d'âge la plus touchée	Avant l'emplacement du filtre (Avril 2009)	Après l'emplacement du filtre (Mars 2011)
Nombre d'infection allergiques	Adultes (18- 50ans)	80 (20 adultes et 60 enfants)	60 (15 adultes et 45 enfants)
	Enfants (0-14ans)		
Nombre des asthmatiques	Adultes (45-60ans)	112 (21 adultes et 91 enfants)	71 (20 adultes et 51 enfants)
	Enfants (5-13ans)		
Nombre des maladies cardio-vasculaire	Adultes (45- 70 ans)	200 malades	152 malades
	Pas d'enfants	0	0
Autre infections	Tous âges	220 malades	169 malades

Tableau 3.2 : Statistique des malades avant et après installation du filtre cas des consultations externes

Maladies causées par les polluants de la cimenterie	Tranche d'âge la plus touchée	Avant l'emplacement du filtre (Avril 2009)	Après l'emplacement du filtre (Mars 2011)
Nombre d'infection allergiques	Adultes (18- 50ans)	90 malades au totale	75 malades au totale
	Enfants (0-14ans)		
Nombre des asthmatiques	Adultes (45-60ans)	120 Adultes	100 Adultes
	Enfants (5-13ans)	180 Enfants	150 Enfants
Nombre des maladies cardio-vasculaire (HTA)	Adultes (45- 70 ans)	180 malades	150 malades
	Pas d'enfants	0	0
Autre infections (dermatoses)	Adultes	92 Adultes	80 Adultes
	Enfants	210 Enfants	200 Enfants

Annexe 5 : Analyse sociale

Type de Questionnaire au niveau des habitations de Hamma Bouziane et environnement immédiat:

Nom de Famille :

Nombre de personnes :

Type de logement : individuel collectif

Adresse :

1- Est ce que l'intérieur de votre logement se salisse vite ? oui non

2- Avec l'installation des filtres, le taux de poussière a-t-il diminué ? oui non

3- combien de fois le nettoyage de poussière doit se faire ?

.....

4- Est-ce que les façades nécessitent d'être repeintes régulièrement ? oui non

5- A quel intervalle ?

6- Est ce qu'un membre de votre famille souffre d'une certaine maladie due à cette poussière ? oui non

7- Laquelle ?

8- Etat de l'habitation avant et après l'emplacement des filtres

	Avant emplacement des filtres			Après emplacement des filtres		
	Oui		Non	Oui		Non
	Peu	Beaucoup		Peu	Beaucoup	
Qualité de la poussière intérieure						
Ravalement des façades						

Questionnaire avec réponse

Nom de Famille : Bencheikh el Hocine Mohamed

Nombre de personnes : 2

Type de logement : individuel collectif

Adresse : Route de la carrière Hamma Bouziane, situé à 3km de la cimenterie

- 1- Est ce que l'intérieur de votre logement se salisse vite ? oui non
- 2- Avec l'installation des filtres, le taux de poussière a-t-il diminué ? oui non
- 3- Combien de fois le nettoyage de poussière doit se faire ?
- 2 fois par jour, matin et le soir, la poussière est toujours présente,
- 4- Est-ce que les façades nécessitent d'être repeintes régulièrement ? Oui non
- 4- A quel intervalle ?
- tous les 2 ou 3 ans (selon nos moyens) mais on vérité cela est nécessaire chaque année.
- 5- Est ce qu'un membre de votre famille souffre d'une certaine maladie due à cette poussière ? oui non
- 6- Laquelle ? Oui une irritation de la gorge et une toux chronique en plus des problèmes d'allergies.
- 7- Etat de l'habitation avant et après l'emplacement des filtres

	Avant emplacement des filtres			Après emplacement des filtres		
	Oui		Non	Oui		Non
	Peu	Beaucoup		Peu	Beaucoup	
Qualité de la poussière intérieure		✓			✓	
Ravalement des façades		✓			✓	

RESUME

La pollution de l'air résulte de multiples facteurs anthropiques et surtout ceux industriels. La pollution atmosphérique et spécialement celle résultante des émissions des cimenteries est un phénomène très complexe compte tenu de la diversité des polluants. Les niveaux de cette pollution dépendent de la nature et des conditions de rejets ainsi que des conditions atmosphériques qui déterminent le transport, la diffusion et les retombées de ces polluants.

La fabrication du ciment est un processus polluant malgré la nécessité absolue de ce matériau pour la vie sociale et économique, et la grande importance que lui accorde le monde entier. Les nuisances engendrées des activités de sa fabrication, à savoir ; les polluants qui sont de diverses natures (gaz, poussières et métaux lourds), le bruit et les odeurs, ont un impact nocif sur la santé humaine, animale et végétale et l'environnement bâti.

A cet effet notre recherche s'énonce à :

- Définir les différents types de polluants émis par les cimenteries et leur impact sur la santé et l'environnement ;
- Investiguer les meilleures techniques de prévention et de contrôle de la pollution, utilisées dans les cimenteries des pays de la communauté Européenne afin de l'éliminer ou à défaut de la réduire à des taux acceptables.

De cette recherche théorique, une projection est effectuée sur la cimenterie « TAHAR DJOUAD » d'El Hamma où des enquêtes ont été menées à différentes échelles ; environnementale, sanitaire et sociale, afin de :

- Définir les polluants émis par cette cimenterie ainsi que les niveaux de leurs taux ;
- Exposer les techniques de prévention et de contrôle utilisées dans cette cimenterie ;
- Comparer ces techniques avec celles investiguées des cimenteries européennes.

De ce qui précède nous sommes amenés à conclure qu'en théorie il y a possibilité de réduire les émissions des polluants engendrés par les activités de fabrication de ciment avec l'instauration de techniques et mesures appropriées et un meilleur contrôle.

Des recommandations sont alors proposées :

- à court terme : introduire les mesures de nature simple et rapide à réaliser, telles que le remplacement des filtres défectueux, le nettoyage des sols, la régularité de la maintenance des installations, la gestion des stockages et transports, le reboisement du site, etc.
- à long terme, accéder à des installations de fabrication plus écologiques et rechercher des sites pour la fabrication du ciment loin des zones urbaines.

Mots clés : pollution de l'air, cimenterie, techniques, émissions, impacts environnementale et sanitaire, Hamma Bouziane.

Abstract

The air pollution results from multiple anthropogenic factors and especially industrial ones. Air pollution and especially that resulting from cement plants emissions is a very complex phenomenon given the variety of pollutants. Levels of this type of pollution depend on the nature and conditions of releases and weather conditions that control transport, distribution and impacts of these pollutants.

The cement manufacturing is a pollutant process, despite the absolute necessity of this material for the social and economic life, and the great importance given by the worldwide. Nuisance caused by its manufacturing activities, namely, the pollutants that are of various kinds (gas, dust and heavy metals), noise and smells, have a harmful impact on human animal and vegetation health, the built environment.

To this effect our research proposes to:

- Define different types of pollutants emitted by cement plants and their impact on health and environment;
- Investigate best techniques to prevent and control pollution, used in cement plants of European community countries, in order to eliminate or even reduce them to acceptable levels.

From this theoretical research, a projection is made on the cement plant "Tahar Djouad" of El Hamma where surveys were conducted at different scales: environmental, health and social, in order to:

- Define pollutants emitted by this cement plant and the levels of their rates;
- Describe techniques of prevention and control used in the cement plant;
- Compare these techniques with those investigated in European cement plants.

From above, we come up to conclude that, in theory there is a possibility to reduce emissions of pollutants generated by cement manufacturing with the introduction of appropriate techniques and measures and better control.

Recommendations are then proposed:

- in short-term: introduction of simple and quick to perform measures; such as filters replacement, floor cleaning, regular maintenance of facilities, management of storage and transport, reforestation of the site, etc..
- In long-term: access to manufacturing facilities more environmentally and search for sites for the manufacture of cement far away from urban areas.

Key words: air pollution, cement plant, techniques, emissions, environmental and health impacts, Hamma Bouziane.

تلوث الهواء الناجم عن عوامل بشرية متعددة وخصوصا في مجال صناعي. تلوث الهواء وخصوصا أن الانبعاثات الناتجة من مصانع الأسمنت هي عملية معقدة للغاية نظرا لتنوع الملوثات. مستويات تلوث الهواء تعتمد على طبيعة وظروف الطقس وظروف الافراج التي تتحكم في النقل والتوزيع وتأثيرات هذه الملوثات.

عملية تصنيع الاسمنت هو ملوث، على الرغم من الضرورة القصوى لهذه المواد عن الحياة الاجتماعية والاقتصادية ، والأهمية المعطاة لها في جميع أنحاء العالم. تسبب إزعاجا لأنشطة الصناعة التحويلية، وهي الملوثات التي هي من أنواع مختلفة (الغاز والغبار والمعادن الثقيلة)، والضوضاء والروائح، ولها تأثير ضار على صحة الإنسان والحيوان والنبات، وبنيت والبيئة. تحقيقا لهذه الغاية يقرأ في بحثنا:

-- تحديد أنواع مختلفة من الملوثات المنبعثة من مصانع الأسمنت وتأثيرها على الصحة والبيئة ؛

-- التحقيق في أفضل التقنيات لمنع ومكافحة التلوث في صناعة الاسمنت المستخدمة في دول الاتحاد الأوروبي إلى إلغاء أو تخفيض خلاف عليها إلى مستويات مقبولة.

هذا البحث النظري، يتم إسقاط على مصنع الاسمنت "طاهر جواد" أين أجريت التحقيقات على مختلف المستويات، البيئية، والنظام الصحي والاجتماعي:

-- لتحديد الملوثات التي تنبعث من الاسمنت ومستويات أسعارها؛

-- وصف أساليب الوقاية والسيطرة المستخدمة في صناعة الاسمنت؛

-- مقارنة هذه التقنيات في التحقيق مع مصانع الاسمنت الأوروبي.

من أعلاه يقودنا إلى استنتاج مفاده أن من الناحية النظرية من الممكن للحد من انبعاثات الملوثات الناتجة عن صناعة الاسمنت مع إدخال التقنيات والتدابير وتحكم أفضل.

ويقترح توصيات ثم اتخاذ تدابير على المدى القصير لتنفيذ مثل بسيطة وسريعة، مثل تنظيف الأرضيات، وصيانة دورية للمرافق، وإدارة التخزين والنقل، وإعادة التحريج للموقع ، الخ. وعلى المدى الطويل لمنشآت تصنيع أكثر ملاءمة للبيئة والبحث عن مواقع لصناعة الاسمنت بعيدا عن المناطق الحضرية.

: تلوث الهواء ، الاسمنت، التقنيات، الانبعاثات، والتأثيرات البيئية والصحية ,حامة بوزيان