

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Benbouali de Chlef



FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR

Département de Génie Civil

Mémoire de Magister

Présenté par

Zouai Khadidja

Sous le Thème

Etude du mode de fabrication du ciment et effet
des matières premières- Impact de l'utilisation
du ciment sur l'environnement

Soutenue Publiquement le : 1 Juin 2011.....

Devant le jury composé de:

KADRI Abdelkader	Professeur, Université de Chlef	Président
BELAS BELARBI Nadia	Professeur, Université de Mostaganem	Examinatrice
EZZIANE Karim	MCA, Université de Chlef	Examineur
MAKHELOUF Ali	MCA, Université de Chlef	Examineur
BOUGARA Abdelkader	MCA, Université de Chlef	Rapporteur

Remerciements
Liste des figures
Liste des tableaux
Résumé

1-Introduction générale.....1

Chapitre 1
Fabrication du ciment

I.1- Introduction.....4
I.2- Historique.....4
I.3- Fabrication du ciment portland.....5
 I.3.1. Fabrication par voie humide.....6
 I.3.2. Fabrication par voie semi humide.....7
 I.3.3. Fabrication par voie sèche.....7
 I.3.4. Fabrication par voie semi sèche.....8
 I.3.5 Comparaison des différentes voies de fabrication.....8
1.4- Etapes de fabrication du ciment (voie sèche).....9
 I.4.1. Extraction.....10
 I.4.2 Concassage.....10
 I.4.3. Pré homogénéisation.....11
 I.4.4. Séchage et broyage.....11
 I.4.4.1 Caractéristiques chimiques du cru.....12
 I.4.4.2 Les produits correcteurs du cru.....13
 I.4.4.3 Composants nuisibles dans le cru.....13
 I.4.5.Homogénéisation.....13
 I.4.6.Cuisson du clinker.....14
 I.4.6.1 Intérieur du four rotatif.....14
 I.4.6.2 Autres types de fours.....15
 I.4.7. Refroidissement du clinker.....17
 I.4.8.Stockage du clinker.....19
 I.4.9.Broyage et conditionnement.....19
 I.4.10.Stockage et expédition du ciment.....21
I.5- Les combustibles non renouvelables et renouvelables.....21
 I.5.1 Combustibles non renouvelables.....22
 I.5.2 Combustibles renouvelables.....22
I.6- Laboratoire de contrôle.....23
I.7- Salle de contrôle.....24
I.8- Conclusion.....25

Chapitre 2
Sous produit de la fabrication du ciment

2.1- Introduction.....28
2.2- Rejets polluants.....28
 2.2.1. Définition d'un rejet polluant.....28
2.3- Emission de gaz.....29
 2.3.1. Emissions de CO₂.....29
 2.3.1.1. Effet de serre.....29

2.3.1.2. Conséquences du réchauffement de la planète.....	30
2.3.1.3. Incidences du réchauffement climatique.....	31
2.3.1.4. Sources de CO ₂ dans l'industrie du ciment.....	31
2.3.2. Emissions de l'oxyde d'azote (NO _x).....	32
2.3.3. Emissions de dioxyde de soufre SO ₂	33
2.3.4. Emissions de monoxyde de carbone CO.....	33
2.4- Emissions de poussières.....	33
2.4.1. Effets des particules fines sur la santé.....	34
2.5- Emission de bruits.....	35
2.6- Conclusion.....	36

Chapitre 3

Procédés de réduction des sous produits néfastes

3.1- Introduction.....	38
3.2- Réduction des émissions de CO ₂	38
3.3- Valorisation énergétique.....	39
3.4- Valorisation de la matière.....	42
3.4.1. Ajouts cimentaires.....	42
3.4.1.1. Laitier des hauts-fourneaux.....	43
3.4.1.2. Cendres volantes.....	43
3.4.2. Fumées de silice.....	44
3.4.1.4. Pouzzolanes naturelles.....	44
3.4.1.5. Autres ajouts.....	44
3.4.3. Avantage de l'utilisation des ajouts.....	45
3.5- Réduction de la consommation d'énergie.....	45
3.6- Réduction des émissions de poussières.....	46
3.6.1. Description des technologies.....	46
3.6.1.1. Filtre à gravier.....	46
3.6.1.2. Electro filtres.....	47
3.6.1.3. Filtres à manches.....	48
3.7- Conclusion.....	50

Chapitre 4

Normes et réglementations environnementales

4.1- Introduction	52
4.2- Définition de la norme.....	52
4.3- Normalisation du ciment.....	52
4.3.1. Normes européennes.....	53
4.3.2. Classifications des ciments selon la norme européenne.....	53
4.3.3. Norme Algérienne relative aux ciments.....	54
4.4- Organisation internationale de normalisation I.S.O.....	55
4.4.1. Normes relatives au management qualité.....	55
4.4.2. Normes relatives au management environnemental.....	56
4.5- Développement durable.....	57
4.6- Normes de rejet des polluants atmosphériques.....	58
4.6.1. Normes Européennes relatives aux émissions.....	59
4.6.2. Normes tunisiennes relatives aux émissions de NOX et SO ₂	59
4.6.4. Normes algériennes relatives aux émissions.....	60
4.6.4. Normes Européennes relatives aux émissions de poussières.....	61

4.6.5. Normes Tunisiennes relatives aux émissions de poussière.....	62
4.6.6. Normes algériennes relatives aux émissions de poussière.....	62
4.6.7. Normes concernant les particules sédimentables.....	63
4.7- Management du risque carbone.....	65
4.8-Données de sécurité des ciments courants.....	65
4.9- Conclusion.....	66

Chapitre 5 Industrie cimentière de Chlef

5.1- Introduction.....	69
5.2- Identification de l'E.C.D.E.....	70
5.2.1. Installation.....	70
5.2.2. Ateliers de production.....	70
5.2.3. Production.....	71
5.2.4. Gisements de matières premières.....	71
5.2.5. Certification qualité.....	71
5.2.6. Situation Géographique de la Cimenterie.....	72
5.3- Procédé de fabrication.....	72
5.3.1. Extraction de la matière première.....	74
5.3.2. Préparation du cru.....	77
5.3.3. Zone de cuisson.....	81
5.3.4. Zone ciment.....	86
5.4- Laboratoire de l'usine.....	87
5.4.1. Analyse chimique.....	88
5.4.2. Analyse physique et mécanique.....	89
5.5- Salle de contrôle de l'usine.....	90
5.6- Capacité productive.....	90
5.7- Consommation d'énergie.....	91
5.8- Certification environnement I.S.O 14001.....	92
5.9- Conclusion.....	93

Chapitre 6 Etude expérimentale

6.1- Introduction.....	97
6.2- Etudes antérieures.....	97
6.3- Expérimentation.....	98
6.3.1. Objectif.....	99
6.3.2. Présentation de la méthode des plaquettes métallique.....	99
6.3.3. Appareillage.....	99
6.3.4. Programme expérimental.....	101
6.3.4.1. Réseau de surveillance.....	101
6.3.4.2. Identification des stations de surveillance.....	102
6.3.4.3. Programmation des prélèvements.....	104
6.3.4.4. Effet des vents dominants.....	104
6.3.5. Résultats et discussions.....	105
6.3.5.1. Quantification des poussières.....	106
6.3.6. Etude comparative avec l'opacimétrie.....	116
6.3.6.1. Mesures des opacimètres pendant la durée des prélèvements.....	116

6.4- Caractérisation des retombées de poussières.....	117
6.4.1-Analyse chimique.....	118
6.4.2- Granulométrie des particules depoussières.....	119
6.6- Conclusion.....	120
Conclusion et recommandations.....	124
Références bibliographiques.....	128

Liste des tableaux

Tableau 1-1	Principales caractéristiques des types de voies.....	9
Tableau 2-1	Les conséquences du bruit sur l'homme.....	36
Tableau 4-1	Valeurs seuils à respecter (règlementation européenne).....	59
Tableau 4-2	Tolérance à valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques.....	60
Tableau 4-3	Valeurs limites ainsi que les objectifs de la qualité de l'air.....	60
Tableau 4-4	Valeurs limites en poussière.....	61
Tableau 4-5	Exigences sur les émissions gazeuses – installation nouvelles.....	64
Tableau 4-6	Exigences sur les émissions gazeuses – installation existantes.....	64
Tableau 4-7	Tolérance à valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques.....	60
Tableau 5-1	Composition chimique du Calcaire.....	75
Tableau 5-2	Teneur en carbonate de calcium carrière E.C.D.E.....	75
Tableau 5-3	Composition chimique de l'argile.....	76
Tableau 5-4	Composition chimique du cru.....	79
Tableau 5-5	Analyse comparative du procédé avant et après l'installation du calcinateur...83	
Tableau 5-6	Périodicité des analyses.....	88
Tableau 6-1	Empoussièrément de la série N° 1 pour un temps d'exposition de 21 jours...106	
Tableau 6-2	Empoussièrément de la série N°2 pour un temps d'exposition de 14 jours....108	
Tableau 6-3	Empoussièrément de la série N°3 pour un temps d'exposition de 7 jours.....110	
Tableau 6-4	Empoussièrément pour un temps d'exposition de 28 jours.....112	
Tableau 6-5	Récap – Opacimètre pendant la période des prélèvements.....115	
Tableau 6-6	Composition chimique des prélèvements.....117	
Tableau 6-7	Composants du cru et du ciment de l'E.C.D.E.....117	

Liste des figures

Figure 1.1	Matières premières pour la fabrication du ciment.....	5
Figure 1.2	Différents procédés de fabrication du ciment.....	6
Figure 1.3	Voie humide et sèche.....	7
Figure 1.4	Voie humide, bassin.....	7
Figure 1.5	Voie semi-sèche.....	8
Figures 1.6	Cheminement des matières premières.....	10
Figures 1.7	Cheminement des matières premières.....	10
Figure 1.8	Concassage primaire de la matière première.....	11
Figure 1.9	Pré-homogénéisation du mélange calcaire-argile.....	11
Figure 1.10	Silo d'homogénéisation du cru.....	13
Figure 1.11	Four rotatif.....	14
Figure 1.12	Intérieur du four.....	14
Figure 1.13	Transformation minéralogique du cru.....	15
Figure 1.14	Tour à cyclone Echangeuse de chaleur.....	16
Figure 1.15	Refroidisseur à grilles.....	18
Figure 1.16	Hall de stockage du clinker (source Holcim).....	19
Figure 1.17	Broyeur rempli de boulets en acier et tapissé de plaques de blindage.....	20
Figure 1.18	Type de circuit dans le broyeur.....	20
Figure 1.19	Ensacheuse rotative.....	21
Figure 1.20	Echantillons préparés par un robot.....	24
Figure 2.1	Mécanisme de l'effet de serre.....	30
Figure 2.2	Répartition des émissions de CO ₂ dans l'industrie cimentière.....	32
Figure 3.1	Réduction des émissions de CO ₂ par valorisation énergétique.....	40
Figure 3.2	Schéma d'acceptation des combustibles de substitution.....	41
Figure 3.3	Bruleurs multi canaux [28].....	41
Figure 3.4	Filtre à gravier vu de dessus.....	47
Figure 3.5	Filtre à gravier vu de profil.....	47
Figure 3.6	Electro filtre.....	48
Figure 3.7	Filtre constitué de grandes chaussettes.....	49
Figure 4.1	Marquage ciments normalisés en France.....	54
Figure 4.2	Organigramme système de management environnemental.....	57
Figure 4.3	Plaquette métallique.....	63

Figure 4.4	Jauge Owen.....	64
Figure 4.5	C P M 5003 (Opacimètre).....	64
Figure 5.1	Plan de la zone industrielle.....	72
Figure 5.2	Schéma de procédé.....	73
Figure 5.3	Carrière.....	74
Figure 5.4	Extraction du calcaire par pelle électrique excavatrice P.H.....	76
Figure 5.5	Trémie de réception.....	78
Figure 5.6	Arrivée du mélange calcaire argile.....	78
Figure 5.7	Etapas de la préparation du cru.....	79
Figure 5.8	Zone cuisson.....	81
Figure 5.9	Tour de préchauffage (ligne 2).....	82
Figure 5.10	Four rotatif (longueur 100m).....	84
Figure 5.11	Les éléments constituant le four.....	84
Figure 5.12	Brûleur à gaz.....	85
Figure 5.13	Refroidisseur.....	86
Figure 5.14	Zone ciment.....	86
Figure 6.1	Dimensions plaquette en acier.....	99
Figure 6.2	Plaquette avec enduit.....	99
Figure 6.3	Etalement de la vaseline.....	100
Figure 6.4	Disposition des points de prélèvements.....	101
Figure 6.5	Station 1.....	102
Figure 6.6	Station 2.....	102
Figure 6.7	Station 3.....	102
Figure 6.8	Station 4.....	102
Figure 6.9	Station 5.....	102
Figure 6.10	Station 6.....	102
Figure 6.11	Station 7.....	102
Figure 6.12	La rose des vents.....	104
Figure 6.13	Prélèvement d'échantillons.....	104
Figure 6.14	Pesée de l'échantillon.....	105
Figure 6.15	Prélèvements.....	105
Figure 6.16	Rose des vents de la série 1.....	106
Figure 6 17	Evolution du niveau d'empoussièrement du 18 Juillet au 8 Août.....	107

Figure 6.18	Direction des vents dominants.....	108
Figure 6.19	Evolution du niveau d'empoussièrement du 8 Août au 19 Septembre.....	109
Figure 6.20	Direction des vents dominants.....	110
Figure 6.21	Evolution du niveau d'empoussièrement du 19 Septembre au 3 Octobre.....	111
Figure 6.22	Direction des vents dominants.....	112
Figure 6.23	Evolution du niveau d'empoussièrement du 3 Octobre au 7 Novembre.....	113
Figure 6.24	Récapitulation de l'évolution de l'empoussièrement des 4 séries.....	114
Figure 6.25	Evolution des émissions des poussières CPM 500.....	115
Figure 6.26	Four à moufles.....	116
Figure 6.27	Granulomètre –laser.....	118
Figure 6.28	Tailles des grains de poussières.....	118

Le ciment dont le besoin augmente sans cesse, et fait de sa fabrication une industrie qui occupe une place prépondérante dans les économies de toutes les nations, sa production est un indicateur économique lié d'une part au nombre d'habitants mais également au potentiel de croissance de chaque pays sur une période donnée [1]. L'évolution de sa production dans le monde progresse chaque année, celle-ci a atteint 2,77 milliard de tonnes en 2007, dans les 30 années à venir la consommation de ciment de certain pays en voie de développement devrait doubler [2].

En Algérie la production de ciment est une industrie de base, l'Etat a consenti de très importants investissements pour le développement de la filière mais en raison de la forte demande, accentuée par le programme de relance économique (autoroutes, un million de logements, autres équipements publics), l'offre reste insuffisante, et pour remédier a cela, l'industrie cimentière a décidé d'investir pour augmenter la capacité de production qui est de 11,6 millions de tonnes pour la porter à 17,6 millions de tonnes à l'horizon 2012 [3].

L'industrie du ciment a évolué en fonction des innovations enregistrées dans différents domaines lui permettant d'intégrer des technologies modernes dans les différentes étapes de la fabrication, mais cela n'empêche pas la production d'engendrer des nuisances sur l'environnement telle que les émissions de poussières, responsables des maladies respiratoires et de dioxyde de carbone (CO₂), gaz à effet de serre responsable du réchauffement climatique.

L'objectif du travail présenté est d'étudier la complexité du processus de fabrication du ciment, son évolution en fonction des innovations enregistrées, l'intégration des nouvelles technologies dans le processus de fabrication, ainsi que la démarche volontariste en matière d'environnement que poursuit l'industrie cimentière pour réduire les émissions atmosphériques et diminuer la consommation d'énergie fossiles et de matières premières.

Ce mémoire se compose d'une introduction générale, de six chapitres et une conclusion générale, présenté comme suit :

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les différentes voies et étapes de fabrication du ciment ; de l'extraction des matières premières jusqu'au produit fini, ainsi que le développement de nouvelles technologies adoptées par l'industrie cimentière dans le but d'augmenter la production et diminuer la consommation d'énergie.

Dans le deuxième chapitre, les sous produits engendrés par le processus de production du clinker ont été identifiés et leur impact sur l'environnement. Les principaux rejets vers l'atmosphère sont constitués essentiellement par les gaz de combustion au niveau des fours de cuisson, mais surtout par les émissions de poussières à tous les niveaux de la production du ciment.

Le troisième chapitre est consacré aux différents procédés adoptés par les cimentiers pour réduire l'impact de leurs activités sur l'environnement, à savoir la valorisation énergétique pour réduire les émissions énergétiques en utilisant des combustibles de substitutions (déchets) et la valorisation de la matière pour réduire les émissions de procédés en utilisant des déchets.

Les normes et les réglementations environnementales auxquelles doivent se conformer l'industrie cimentière sont traités dans le quatrième chapitre. La fabrication du ciment s'accompagne toujours d'une normalisation qui a pour but de respecter les exigences de la qualité du produit et la protection de l'environnement.

Le cinquième chapitre est consacré à l'étude in situ de la fabrication du ciment à l'entreprise des ciments et dérivés d'Echeliff (E.C.D.E) dans le but de faire une analyse comparative du processus de fabrication de la cimenterie de l'E.C.D.E et les autres processus utilisés dans le monde.

Le dernier chapitre est consacré à l'étude des conséquences engendrées par le processus de fabrication et d'utilisation du ciment sur l'environnement. Une étude expérimentale a été menée à la cimenterie de l'E C D E pour la quantification des retombées de poussières sédimentables, suivi d'une discussion des résultats qui ont permis de tirer des conclusions et faire des recommandations pour respecter les normes en vigueur et l'intégration du développement durable.

I.1 Introduction

Le ciment, matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction et du génie civil, est, pour les inventeurs du béton armé, le constituant principal. Sa robustesse, sa plasticité et sa résistance aux intempéries font de lui un produit indispensable jusqu'ici irremplaçable. En effet le succès du béton, avec lequel les architectes et les ingénieurs ont construit des ponts hardis, des stades monumentaux, des villas somptueuses..., n'a été possible que grâce à l'invention de ce liant hydraulique composé principalement de silicates et d'alumines de calcium, résultant de la combinaison de la chaux (CaO) apportée par les roches calcaires, avec la silice (SiO₂), l'alumine (Al₂O₃) et l'oxyde de fer (Fe₂O₃) et par les argiles. Et c'est par la cuisson à haute température 1450°C dans un four rotatif, du mélange calcaire à 80% et argile à 20% qu'on obtient le clinker produit de base du ciment.

I.2 Historique

Les ciments auraient d'abord été inventés par les égyptiens, puis améliorés par les civilisations suivantes par l'utilisation de la chaux [4]. Les Romains furent sans doute les premiers à fabriquer des liants hydrauliques susceptibles de durcir sous l'eau pour cela, ils mélangèrent de la chaux et des cendres volcaniques de la région de Pouzzoles (région de Naples – Italie) [5]. C'est de là qu'est venu le terme bien connu « pouzzolanique » qui se dit d'un matériau capable, en présence d'eau, de fixer la chaux.

L'association des caractéristiques de ces matériaux avec une technologie très avancée, a permis à l'empire romain de construire des structures monumentales d'une durabilité exceptionnelle, inhabituelles pour cette période de l'histoire. Le Panthéon avec sa coupole de 41m de diamètre et le Colysée à Rome, ainsi que le pont du Gard en sont des exemples marquants. Mais avec la chute de l'empire romain, les secrets de fabrication de ce matériau ont disparus. En 1756, l'anglais SMEAT, lors de la construction du phare d'Eddystone, mélangea des chaux hydrauliques et des pouzzolanes, il obtint ainsi le premier liant artificiel avec lequel il prépara un mortier aussi dur que la pierre de Portland.

Le ciment ne prend son acception contemporaine qu'au XIX^{ème} siècle avec l'invention du français Louis Joseph VICAT, qui donna pour la première fois des indications précises sur les proportions de calcaire et d'argile pour constituer un mélange permettant de fabriquer, par cuisson, un ciment hydraulique. Ses travaux ont été publiés sans déposer de brevet [4]. En 1824 le britannique Joseph ASPDIN déposa un brevet pour un produit semblable à celui décrit par Louis Joseph VICAT. Une chaux hydraulique à prise rapide qu'il nomma ciment Portland, parce qu'une fois pris, il avait la couleur de la pierre extraite de la

presqu'île de Portland sur la Manche. Mais les principes de fabrication des ciments liants (ciment Portland) comme par exemple la cuisson à la température de fusion pâteuse 1450°C qui permet d'obtenir le clinker, ne fut découverte qu'en 1840 par Louis Joseph VICAT (Société). L'industrialisation du ciment moderne, dit ciment Portland, et sa fabrication donne la possibilité d'avoir un matériau économique avec une résistance à la compression donnant naissance à une architecture de béton coffré puis de béton armé. La première usine a été créée par Dupont et a démarré en 1846 à Boulogne sur mer (France). Depuis, les procédés de fabrication se perfectionnent sans cesse ; en 1870, pour produire une tonne de clinker (constituant de base du ciment) il fallait 40 heures de temps, actuellement il en faut 3 minutes. Le processus de fabrication du ciment est passé par plusieurs étapes pour parvenir à l'état de développement actuel. Ce dernier n'a pu se faire que grâce à l'apparition de matériels nouveaux, four rotatif (la technologie des fours rotatifs a vu le jour en 1897) et broyeur à boulets en particulier.

I.3 Fabrication du ciment portland

De la roche naturelle (calcaire + argile) à la pierre de l'homme (ciment), la transformation est très complexe et nécessite un savoir faire, une maîtrise des outils et des techniques très performantes pour exécuter correctement la série d'opérations exigée par le processus de fabrication.

Le composé de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison selon des dosages préétablis de la chaux (65% CaO) avec la silice (20% SiO_2), l'alumine (10% Al_2O_3) et l'oxyde de fer (5% Fe_2O_3).

La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par les argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaire, argile ou marne (voir photo 1) et contiennent en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes et en particulier le Fe_2O_3 l'oxyde ferrique [6].



Figure 1.1. : Matières premières pour la fabrication du ciment.

Il existe quatre grands procédés de fabrication du ciment comme c'est illustré dans la figure 1.2

1. Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
2. Fabrication du ciment par voie semi humide (en partant de la voie humide).
3. Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée en Europe).
4. Fabrication du ciment par voie semi sèche (en partant de la voie sèche).

Le choix du procédé à utiliser dépend largement de l'état des matières premières : sèches ou humides.

Comparaison des différentes voies de fabrication

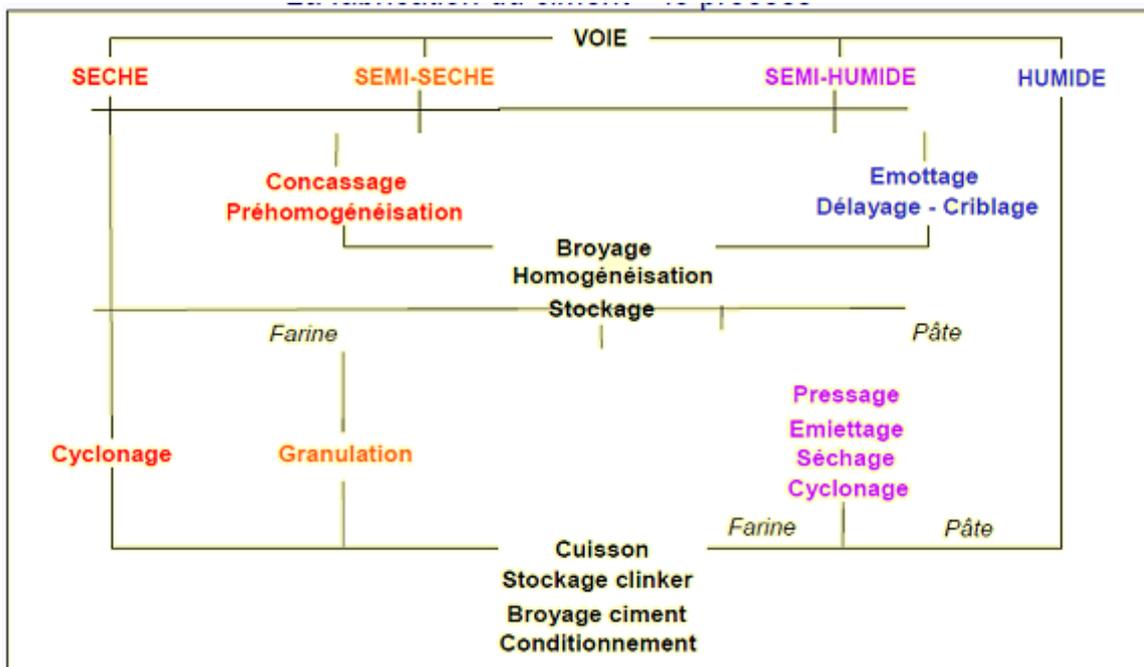


Figure 1.2 Différents procédés de fabrication du ciment

I.3.1. Fabrication par voie humide

La voie humide est schématisée dans la figure 1.2, où sont illustrées les différentes étapes de fabrication. Ce procédé est le plus ancien et le plus simple, mais aussi le plus gourmand en énergie nécessaire pour l'évaporation de l'excédent d'eau. Les matières premières (dont la teneur en humidité est souvent élevée) sont délayées juste après le concassage et broyées finement avec l'eau de façon à constituer une pâte assez liquide (30 à 40% d'eau) pouvant être pompée. La pâte est ensuite stockée dans de grands bassins ou cuves (voir figure 1.4), ou elle est continuellement malaxée et homogénéisée, ce mélange est appelé Cru. Des analyses chimiques permettent de contrôler et corriger la composition de cette pâte

avant la cuisson. La pâte est introduite directement dans le four tournant ou peut passer auparavant dans un sécheur.

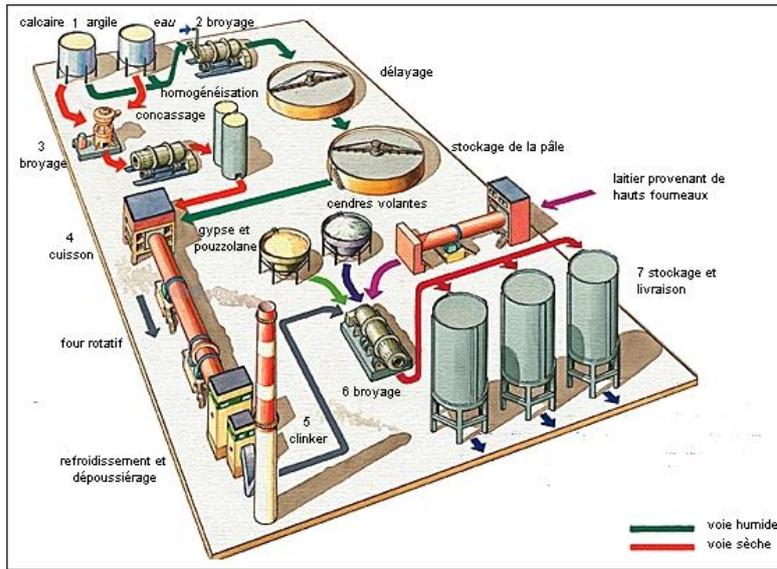


Figure 1.3: Voie humide et sèche



Figure 1 4 : Voie humide, bassin

I.3.2. Fabrication par voie semi-humide

Dans ce procédé, la pâte fluide obtenue par la voie humide est débarrassée de son eau par des filtres presses (teneur en eau 18 à 20%) et ensuite extrudée sous forme de bâtonnets de 2cm de diamètre introduits dans un pré chauffeur à grilles avant de l'introduire au four comme pour la voie semi sèche. La technologie du préchauffage à grille peut être plus connue sous le nom de four LEPOL inventée en 1928. Ou dans d'autres cas, les bâtonnets sont séchés et réduits en poudre (farine) et introduits dans la tour à cyclones (voir figure 1.2).

I.3.3. Fabrication par voie sèche

La voie sèche traite des farines issues du broyage de calcaire durs contenant initialement peu d'humidité. Le cru reste sec tout le long de son parcours, ayant l'aspect d'une poudre fluide, il sera introduit dans des cyclones, obligeant la matière à circuler dans le sens opposé aux gaz chaud issus du four, permettant une bonne homogénéisation des constituants et une décarbonatation du calcaire.

La voie sèche (Figure 1.2), procédé le plus économique qui consiste en un broyage et une homogénéisation à sec des matières premières est désormais privilégiée en cas de construction d'usines neuves ou d'investissement majeurs. Il est probable que les exploitants des fours en voie humide encore en activités ou des fours en voie semi humide ou semi sèche en service en Europe les convertiront à la voie sèche à la faveur d'une rénovation.

I.3.4. Fabrication par voie semi-sèche

Dans ce procédé, la poudre (obtenue par voie sèche) est humidifiée et agglomérée sous forme de granulés qui sont introduits dans une installation de cuisson comprenant, une grille de décarbonatation et un four rotatif. La farine est granulée sur une assiette de granulation un disque incliné à 30% tourne à une vitesse contrôlée (voir figure 1.5). Le poids des granules permet à ceux-ci de ne pas être emportés par le flux d'air, ce qui se passerait si l'on se servait de farine.



Figure 1.5 : Voie semi-sèche

1.3.5 Comparaison des différentes voies de fabrication

Une grande partie de la production mondiale est toujours fabriquée par voie humide. Cependant, en Europe 75% de la production est fabriquée par voie sèche en raison de la disponibilité des matières sèches. Donc, le choix entre la voie sèche et la voie humide dépend essentiellement des propriétés mécaniques des calcaires et des argiles utilisés. Si ceux-ci sont peu compacts la voie humide demande moins d'énergie mécanique. A l'opposé, si la matière première est très compacte la voie sèche est préférée. Toutefois, il faut souligner que la voie humide nécessite une grande quantité de chaleur pour l'évaporation de l'excédent d'eau qui est près du double de celle de la voie sèche.

Le développement des techniques a donc conduit à l'abandon progressif des voies humides et semi humides au profit des voies sèches et semi sèches, ceci principalement en raison de cette demande en énergie thermique trop importante [7].

En comparant les différentes voies décrivant les procédés utilisés par les quatre voies de fabrication du ciment, nous avons pu dresser le tableau ci-dessous dans lequel nous avons décrit les principales caractéristiques de chacune des voies, ce qui nous a permis d'analyser par la suite les technologies ainsi que les avantages et les inconvénients de celles-ci.

Tableau N° 1.1 : Principales caractéristiques des types de voies

Type de voies	Humide	Semi		Sèche
		humide	Sèche	
Etat initial des matières premières	humide et tendre	humide et tendre	sèche très compacte (dure)	sèche compacte (dure)
Cru	pâte fluide 40% d'eau	bâtonnet de 2cm ϕ 18% d'eau	Granulés	poudre très fine (ferme)
Stockage homogénéisation	bassins ou cuve de 8 à 10 m ϕ	idem que précédent	Silos	Silos
Préchauffage	Néant	sur grille (lepol)	sur grille (lepol)	four de cyclones 4 à 5 étages
Précalcination	Néant	/	/	Précalcinateur
Longueur du four (m)	40 – 232	40 - 90	24 – 75	54 – 110
Diamètre du four (m)	2.6 – 6.6	3.6 – 6.6	2.2 – 6.0	3.5 – 5.9
Débit sortie T jour	100 - 3350	400 – 3000	100 – 2400	1500 – 8500
Consommation d'énergie mj/t	5000 - 6000	3300 - 4000	3300 – 4000	3000
Technique	très simple	simple	Complexe	Complexe

D'après le tableau 1.1 caractérisant les différents types de voies de fabrication du ciment, on constate :

- Que la voie humide, bien que son procédé soit très simple, consomme une grande quantité de chaleur et produit donc beaucoup de gaz de combustion et de vapeur d'eau.
- La voie semi humide ou la voie semi sèche, avec la technologie du préchauffage à grille (Four LEPOL), a permis de raccourcir les fours rotatifs et donc de réduire les déperditions de chaleur tout en augmentant le rendement énergétique du four.
- Que c'est la voie sèche qui consomme le moins d'énergie et cela grâce à la nouvelle technologie du préchauffage et de la précalcination, car on remarque que la précalcination augmente la capacité de production du four. Cependant la méthode de fabrication par voie sèche pose le problème des poussières. En effet c'est la voie qui rejette le plus de poussières et ceci oblige les fabricants à installer des dépoussiéreurs ce qui augmente considérablement les investissements de la cimenterie.

I.4 Etapes de fabrication du ciment (voie sèche)

Dans les grandes lignes à voie sèche, l'activité d'une cimenterie peut s'analyser en quatre grandes phases principales :

- La préparation de la farine crue.

- La cuisson de la farine.
- La mouture du clinker.
- L'expédition du ciment.

La préparation de la farine crue comprend les opérations suivantes :

I.4.1. Extraction

Les matières premières (80% de calcaire et 20% d'argile) sont extraites à partir des carrières naturelles à ciel ouvert par tirs de mines ou raclage du terrain par des engins (scrapers). Elles sont acheminées par des dumpers ou des bandes transporteuses vers l'atelier de concassage (voir figures 1.6 et 1.7)



Figure 1.6 : Dumper



Figure 1.7 : Bandes transporteuses

I.4.2. Concassage

Cette opération permet l'obtention de cailloux de plus petites tailles (50 mm maximum). Les blocs obtenus sont réduits dans des concasseurs situés généralement sur les lieux même de l'extraction. Après ce concassage primaire (voir Figure 1.8), les matières premières sont transportées vers l'usine ou elles sont stockées et préparées.

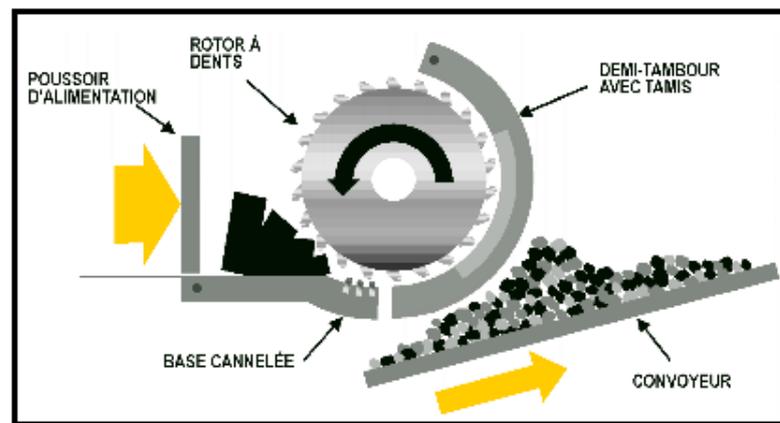


Figure 1.8 : Concassage primaire de la matière première

Les matières premières doivent être échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition régulière dans le temps. La prise d'échantillons en continu permet de déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine et silice).

I.4.3. Pré homogénéisation

La phase de pré homogénéisation consiste à mélanger les matières premières pour obtenir une composition homogène et cela en disposant la matière en couches horizontales superposées puis en la reprenant verticalement à l'aide d'une roue pelle (voir figure 1.9) ce qui permet de prélever en permanence une matière de composition identique. Cette opération qui se déroule dans un hall permet donc d'atteindre un dosage parfait des deux constituants essentiels du ciment.



Figure 1.9 :Pré-homogénéisation du mélange calcaire-argile

I.4.4. Séchage et broyage

Le pesage et le dosage précis des matériaux introduits dans le broyeur sont importants car ils déterminent la consistance chimique du cru, essentielle pour l'obtention du ciment de qualité. C'est donc l'étape qui vise à favoriser les réactions chimiques ultérieures.

A la sortie du hall de pré- homogénéisation, la matière première est broyée à une finesse bien définie (de l'ordre du micron) dans des broyeurs à boulets ou plus récemment dans des broyeurs verticaux à meules, plus économes en énergie. Ce sont des broyeurs sécheurs qui éliminent l'humidité résiduelle et bien sur permettent d'obtenir une poudre qui présente une finesse requise.

I.4.4.1 Caractéristiques chimiques du cru

Même si elle peut varier d'une cimenterie à l'autre en fonction de la qualité du gisement exploité, la composition du cru doit répondre à des caractéristiques chimiques déterminées dans sa composition et dont les proportions sont :

- | | |
|--|--------------|
| - Chaux (CaO) | de 65 à 70%. |
| - Silice (SiO ₂) | de 18 à 24%. |
| - Alumine (Al ₂ O ₃) | de 4 à 8%. |
| - Oxyde ferrique (Fe ₂ O ₃) | de 1 à 6%. |

Pour obtenir cette bonne composition chimique dépendant de la composition chimique de chaque matière première, le mélange cru destiné à la cuisson pour obtenir le Clinker est régi par une série de paramètres lui permettant l'évaluation et l'ajustement de la composition à l'aide de modules :

1) Module de saturation de KÜHL (indice de KÜHL) :

$$LSI = \frac{CaO}{(2.8.SiO_2) + (1.1Al_2O_3) + (0.7 \times Fe_2O_3)}$$

Ce rapport détermine la quantité de chaux nécessaire pour saturer les trois autres oxydes (SiO₂, Al₂O₃, et Fe₂O₃).

2) Module silicique :

$$MS = \frac{SiO_2}{(Al_2O_3) + (Fe_2O_3)} = (silicique)$$

Ce rapport détermine la relation entre la quantité SiO₂ d'une part et la quantité d'Al₂O₃ et de Fe₂O₃, d'autre part.

3) Module alumino-ferrique :

$$MAF = \frac{Al_2O_3}{(Fe_2O_3)} = (alumino - ferrique)$$

Ce rapport détermine la relation entre la quantité d'Al₂O₃ et de Fe₂O₃.

Il n'y a pas de formule idéale ou de formule universelle pour le clinker, la composition du ciment portland varie d'une cimenterie à l'autre, principalement à cause des spécifications locales du ciment et de la composition chimique et minéralogique des matières premières. Chaque fabrication est un cas particulier et produit un clinker unique.

I.4.4.2 Les produits correcteurs du cru

En faibles quantités, les substances naturelles suivantes peuvent être utilisées pour la correction du Cru exigé par le procédé de fabrication.

- Minerai de fer (FeO₃).
- Bauxite (Al₂O₃).
- Calcaire pur (CaO).

- Sables, grès ...(SiO_2).

I.4.4.3 Composants nuisibles dans le cru

Le Magnésique (MgO), lorsqu'il dépasse 3% dans les matières crues, génèrera des gonflements entraînant une diminution des caractéristiques mécaniques du béton. D'autres éléments nuisibles sont les alcalins, le chlore.

I.4.5. Homogénéisation du cru

A la sortie du broyeur-sécheur la poudre (cru) est une nouvelle fois homogénéisée par fluidisation dans d'immenses silos (voir Figure 1.10). Le problème de l'homogénéisation du cru est délicat, il est résolu au moyen d'une pré-homogénéisation puis d'une homogénéisation pour que le mélange acquière sa rhéologie optimale avant son introduction dans le four. En effet c'est l'étape ultime avant la cuisson, la poudre (cru) est transportée depuis le silo homogénéisateur jusqu'au four soit par pompe, soit par un aérogليسeur puis par aérolift ou élévateur.

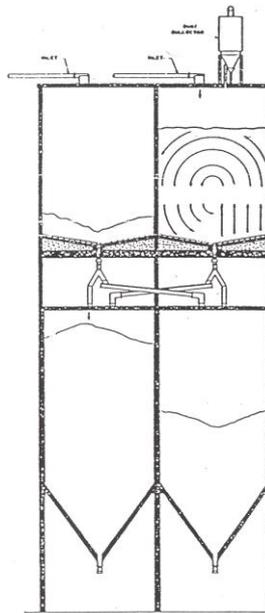


Figure 1.10: Silo d'homogénéisation du cru

I.4.6. Cuisson du cru

Il s'agit de l'opération la plus importante du protocole de fabrication en termes de potentiel d'émissions, de qualité et de coût. La cuisson est réalisée dans des fours longs rotatifs (1,5 à 3 tours/mn) habillés d'une tôle d'acier avec un revêtement en briques réfractaires à l'intérieur (voir figure 1.12), dont les dimensions les plus courantes sont de

l'ordre de 5 mètres de diamètre et de 80 à 100 mètres de longueur (*) et légèrement incliné (2 à 3% d'inclinaison). *(la longueur peut atteindre 200 mètres pour la voie humide).



Figure 1.11 : Four rotatif

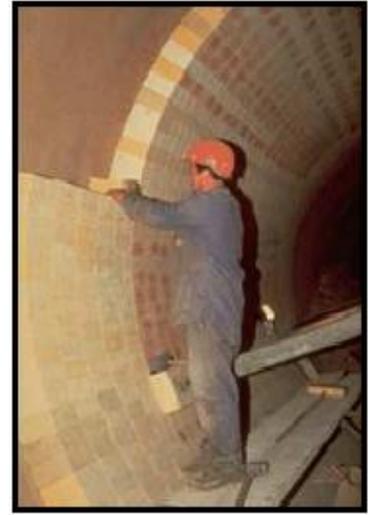


Figure 1.12 : Intérieur du four

Depuis son apparition vers 1895 le four rotatif est devenu l'élément central de toutes les installations modernes de production du clinker [8]. A une température comprise entre 1400°C et 1500°C, la cuisson permet la transformation du cru en Clinker. Le cycle du traitement comporte les phases suivantes :

- Le préchauffage du cru à l'amont du four.
- La décomposition des argiles à partir de 500°C.
- La décarbonatation des calcaires (CO₂) qui s'effectue à 900°C dans la partie médiane du four.
- La formation du Clinker ou clinkérisation à 1450°C qui s'effectue en partie aval du four près du brûleur [8].

1.4.6.1 A l'intérieur du four rotatif

A l'entrée du four, la température de l'ordre de 800°C provoque la déshydration des argiles et la décarbonatation du calcaire $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaO}$.

Puis, la chaux se combine d'une part à l'alumine et à l'oxyde de fer pour former les aluminates et alumino ferrites de calcium et d'autre part à la silice pour former du silicate bi calciq (belite).

La température augmente quand la matière progresse vers la flamme, les aluminates et alumino ferrites fondent à (1380°C). Dans ce processus l'alumine et l'oxyde de fer agissent

comme fondants et améliorent la qualité de la combinaison chimique. La formation de cette phase liquide favorise la formation de silicate tricalcique à partir du silicate bi calcique et de la chaux restante.

C'est l'hydratation de cette phase qui donne l'essentiel des résistances dans le béton de ciment portland.

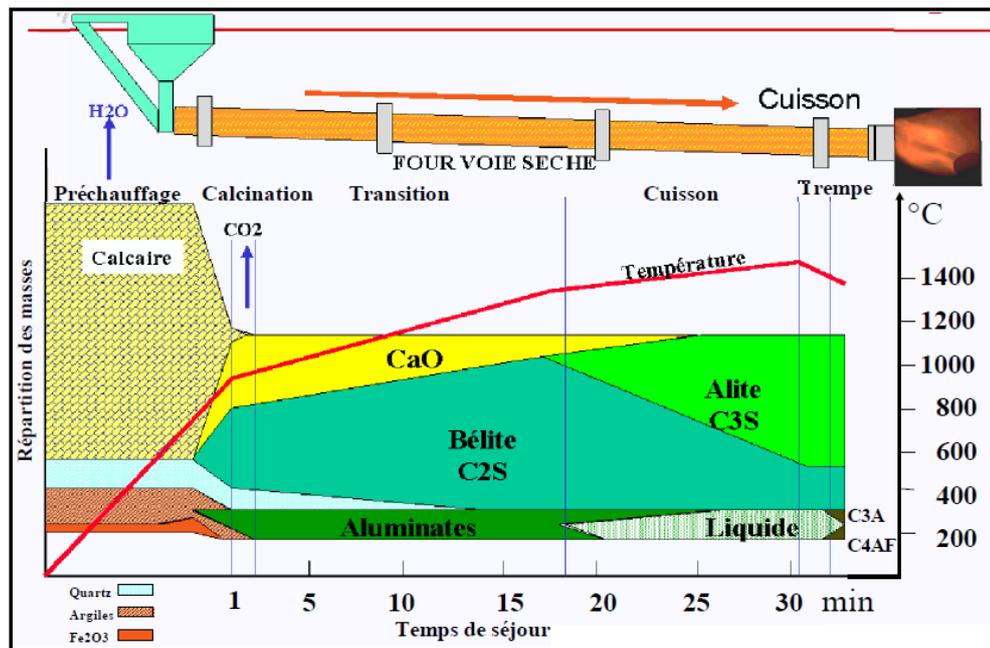


Figure 1.13 : Transformation minéralogique du cru

1.4.6.2 Autres types de fours

Il existe d'autres types de fours :

a- Fours rotatifs avec pré chauffeur à grilles LEPOL (voie semi humide et semi sèche)

La technologie du préchauffage à grille peut être plus connue sous le nom de four LEPOL, a été inventée en 1928, elle représentait la première tentative pour exécuter une partie du procédé de clinkérisation dans une installation extérieure au four. Elle a permis de raccourcir les fours rotatifs et donc de réduire les déperditions de chaleur tout en augmentant le rendement énergétique du four.

b- Fours rotatifs avec préchauffeur à cyclones (voie sèche)

Ces types de fours sont constitués de deux parties : four vertical fixe préchauffeur cyclone échangeur de chaleur et four rotatif. Il existe différents types de préchauffeurs, ils

comportent en général de quatre à six cyclones empilés les uns au dessus des autres et forment une tour de 50 à 120 mètres de hauteur.

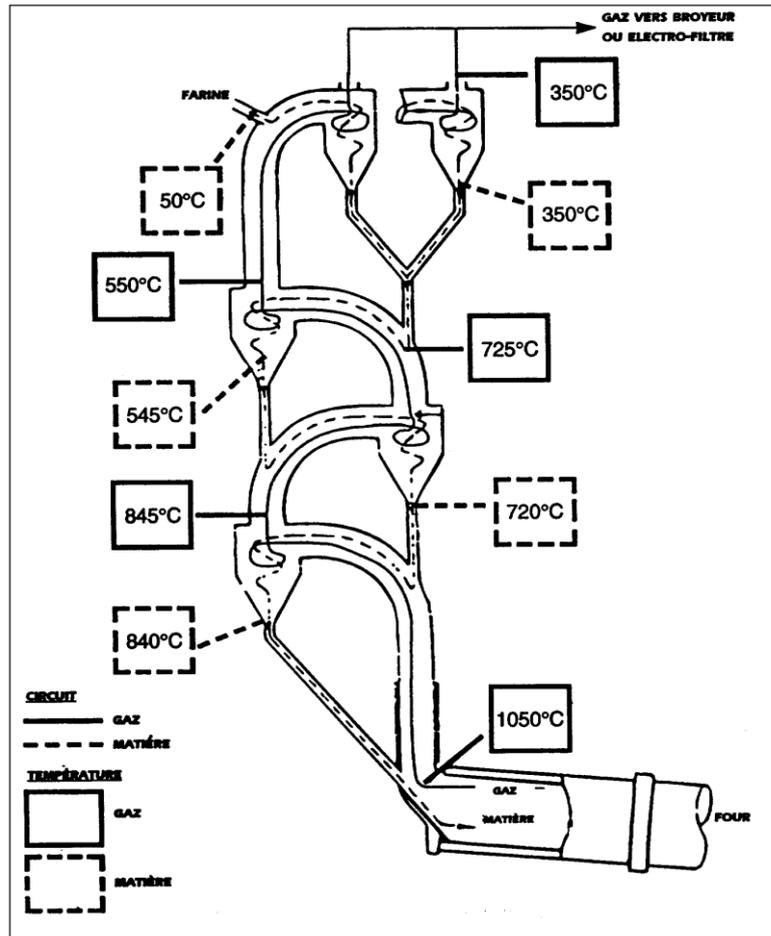


Figure 1.14 : Tour à cyclone Echangeuse de chaleur

Le premier préchauffeur à suspension pour le cru fut installé par Humboldt en Allemagne en 1953. En effet dans les années soixante-dix, ou de nombreuses usines d'une capacité de production de 1000 à 3000 tonnes/jour ont été construites, la norme était le four avec préchauffeur à quatre étages de cyclones [9].

Le rôle d'un cyclone est de faciliter l'échange thermique, la farine est introduite dans les cyclones supérieurs et elle descend par gravité jusqu'à l'entrée du four à travers tous les cyclones (Voir figure ci-dessus). Au fur et à mesure que la matière descend sa température augmente d'environ 800°C, c'est le début de la décarbonatation. Par contre c'est l'inverse pour les gaz qui sont à une température d'environ 330°C à la sortie de la tour de préchauffe, et sont en général utilisés pour sécher le cru.

c-Fours rotatifs avec pré chauffeur et pré calcination (voie sèche)

Dans ce procédé, la chauffe se fait en deux points (croquis). La combustion primaire du combustible a lieu dans le foyer du four, une chauffe secondaire se déroule dans une

chambre de combustion spéciale située entre le four rotatif et le préchauffeur. 60% de la totalité du combustible peut être brûlée dans cette zone. Cette énergie sert principalement à calciner le cru qui est déjà presque cuit quand il entre au four. De l'air chaud du refroidisseur est utilisé pour la combustion dans le calcinateur.

Ces types de fours sont considérés comme la technologie standard pour les usines neuves en voie sèche dont la capacité de production est de 3000 à 5000 tonnes/jour.

Le précalcinateur a donc pour rôle de calciner la farine à 90%. Une fois calcinée, la farine sera prête pour la cuisson (clinkérisation) dans le four, ce qui augmente la production du clinker. C'est en 1966 que les constructeurs japonais ont développé cette nouvelle conception du four rotatif avec calcination dans la tour de préchauffage. Depuis elle se présente comme une technologie moderne assez performante dans le développement du processus de fabrication du ciment sur les plans financier et consommation d'énergie.

La technologie du four rotatif avec préchauffeur et calcinateur avec laquelle la matière avant son introduction dans le four est décarbonatée en partie dans la tour de préchauffe, ensuite calcinée à 90% à l'intérieur du calcinateur, fait de ce procédé de fabrication le plus économe en énergie avec une capacité de production très importante d'une part et de la voie sèche la plus privilégiée en cas de construction d'usines neuves ou d'investissements majeurs.

I.4.7. Refroidissement du clinker

A la sortie du four après la fin du cycle de cuisson, le Clinker se présente sous forme de granulés gris. C'est le résultat d'un ensemble physico chimique progressif (clinkérisation). Pour figer sa composition minéralogique et optimiser la réactivité du ciment, le Clinker est brusquement refroidi par projection d'air le ramenant à une température d'environ 100°C.

La fonction du refroidisseur est double : récupérer le maximum de chaleur dans le clinker chaud (1450°C) pour la recycler dans le procédé et abaisser la température du clinker à un niveau compatible avec le bon fonctionnement des équipements en aval. Il existe deux grands types de refroidisseurs rotatifs basés sur le même principe que le four rotatif, mais l'échange de chaleur se fait en sens inverse.

1. Refroidisseur à grille mobile

Dans ce type de refroidisseur, le clinker est transporté par une grille mobile sous laquelle des ventilateurs soufflent l'air de refroidissement. Cette configuration permet de ne pas modifier la couche du clinker (pas d'escalier) et de changer les plaques sans arrêter le four. Cependant elle a cessé d'être mise en œuvre dans les nouvelles installations (vers 1980) car outre sa complexité mécanique, la récupération de chaleur était médiocre du fait de l'épaisseur limitée de la couche du clinker.

2. Refroidisseur à grille de retournement

Dans ce type de refroidisseur, le transport du clinker est effectué pas à pas sous l'action du front d'une série de plaques qui le poussent par un mouvement alternatif. Le clinker se déplace de l'entrée vers la sortie mais la grille ne bouge pas (voir figure 1.15). L'air de refroidissement est fourni par des ventilateurs situés sous la grille.

Les plus grandes unités ont une surface active de près de 280 m² et peuvent refroidir 10.000 tonnes de clinker par jour.

Les principaux composants anhydres obtenus lors du refroidissement rapide du Clinker sont :

- Le silicate tricalcique $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) de 50 à 70%.
- Le silicate bicalcique $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S) de 10 à 30 %.
- L'Aluminate tricalcique $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) de 2 à 15%.
- L'Alumino-Ferrite tetracalcique $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ de 5 à 15%.

La notation cimentière utilise des lettres symbolisant les éléments principaux exprimés sous forme d'oxyde : **C** pour **CaO**, **S** pour **SiO₂**, **A** pour **Al₂O₃** et **F** pour **Fe₂O₃**

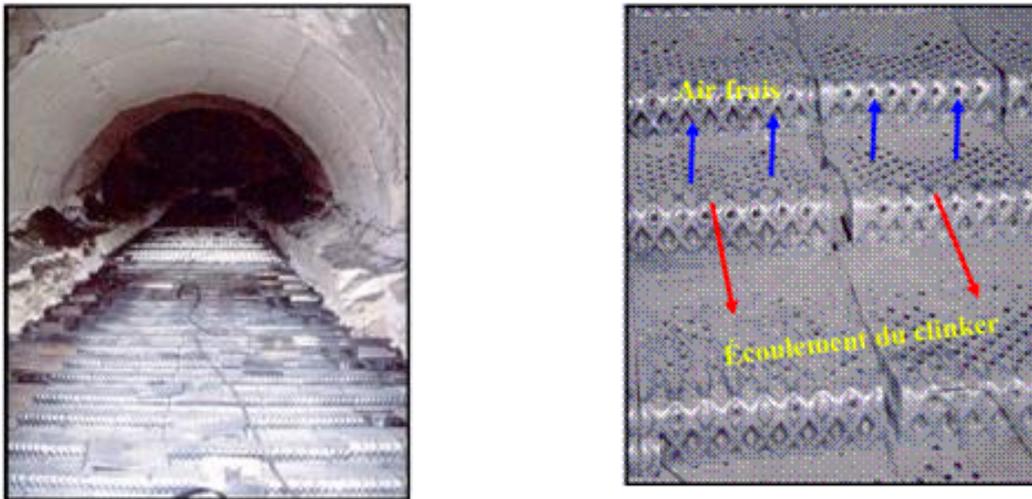


Figure 1.15 : Refroidisseur à grilles

I.4.8. Stockage du clinker

Le Clinker et les autres constituants du ciment sont stockés dans des silos ou dans des hangars fermés. Si les stocks sont trop importants, ils peuvent être entreposés à l'extérieur à condition de prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter l'envol des poussières [6].

Les types de stockage du clinker les plus courants sont les suivants :

- Stockage longitudinal avec extraction par gravité (stock utile limité).
- Stockage circulaire avec extraction par gravité (stock utile limité).

- Stockage du clinker en silo (stock utile volumineux ; l'extraction du clinker peut faire vibrer le sol selon son niveau dans le silo).
- Stockage du clinker en silo dôme (stock utile limité)



Figure 1.16 : Hall de stockage du clinker (source Holcim)

I.4.9. Broyage et conditionnement

Le broyage est la dernière phase de la fabrication du ciment. Cette opération est déterminante pour la qualité du ciment car son degré de finesse influence, de manière prépondérante, les caractéristiques de ce liant. En effet, le ciment Portland est obtenu en broyant finement le Clinker pour donner un ciment aux propriétés hydrauliques actives.

Lors de cette étape, le gypse (3 à 5%), indispensable à la régulation de prise de ciment, est ajouté au Clinker. On obtient alors le ciment portland. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets, dispositifs cylindriques chargés de boulets en acier spéciaux et mis en rotation à une vitesse calculée. Les grains sont traités collectivement à l'intérieur du broyeur par des boulets qui opèrent par chocs (voir figur1.17).

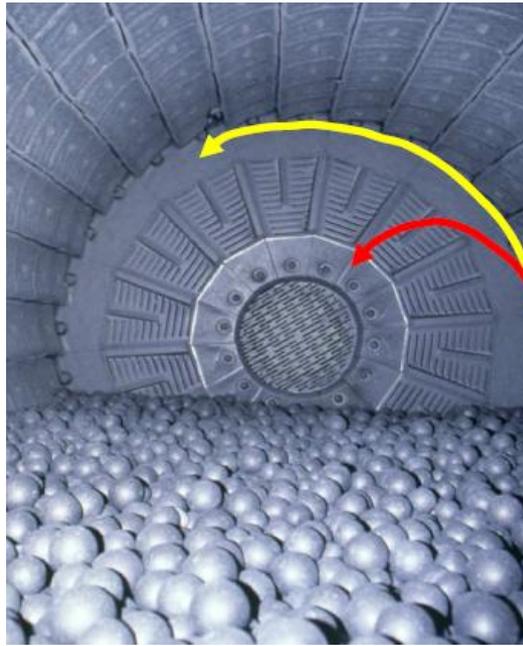


Figure 1.17 : Broyeur rempli de boulets en acier et tapissé de plaques de blindage

- Les stations de broyage fonctionnent généralement en circuit fermé, c'est-à-dire qu'elles peuvent séparer le ciment présentant le niveau de finesse requis et renvoyer le ciment insuffisamment broyé dans le broyeur. Cette méthode la plus répandue dans les cimenteries permet d'obtenir moins de ciment sur broyé. En circuit ouvert la matière va d'une extrémité à l'autre du broyeur, et le temps de séjour est de 20 à 30mn la finesse est fonction du débit d'alimentation, la tendance au sur broyage est très élevée.

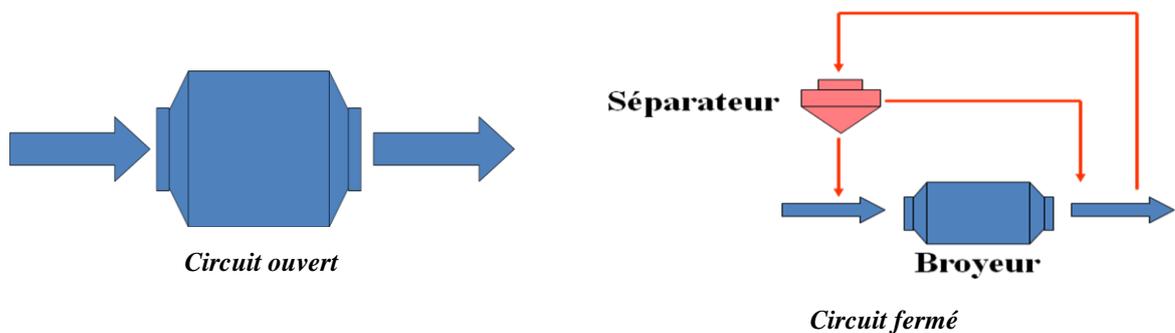


Figure 1.18 : type de circuit dans le broyeur

- Les ciments composés (à ajouts), sont obtenus par additions, lors du broyage du Clinker, d'éléments minéraux supplémentaires contenus dans des matériaux comme :
 - Des laitiers granulés de hauts fourneaux.
 - Des pouzzolanes naturelles ou artificielles.
 - Des cendres volantes de centrales électriques.
 - Des fillers inertes ou calcaires.

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). La précision et la fiabilité du pesage et du dosage des matériaux introduits dans le broyeur, sont déterminantes pour le maintien d'un bon rendement énergétique de l'atelier de broyage. De ce point de vue, le tapis d'alimentation peseur est l'équipement le plus important pour l'alimentation de la station de broyage.

I.4.10. Stockage et expédition du ciment

Le ciment est acheminé du broyeur jusqu'aux silos de stockage par le système de transport le plus courant qui combine le transport pneumatique et des transporteurs à vis sans fin ou à chaînes avec un éleveur à godet.

Les différents types de ciment 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.

La plus grande partie du ciment produit est livrée en vrac dans des camions-citernes, et l'autre partie est soit chargée en vrac dans des péniches ou des wagons, ou envoyée dans un atelier d'ensachage. Dans ce dernier le ciment produit est conditionné automatiquement dans des sacs en papier de 50 kilos par une ensacheuse rotative. (Voir figure 1.19).



Figure 1.19 : Ensacheuse rotative

I.5 Combustibles non renouvelables et renouvelables

Les températures élevées dans le four sont produites par une flamme alimentée par des combustibles fossiles ainsi que par des combustibles de substitution. L'énergie consommée se

situe entre 3200 et 4200 K Joules par tonne de clinker. L'industrie du ciment est une industrie à forte consommation d'énergie, son coût représente 30 à 40% des coûts de production (non compris les coûts d'investissement). L'énergie consommée se situe entre 3200 et 4200 KJoules par tonne de clinker

I.5.1. Combustibles non renouvelables

Les combustibles les plus utilisés dans les fours pour la cuisson du clinker, sont :

- Le charbon.
- Le coke de pétrole (issu de l'industrie de raffinage).
- Le fuel lourd (produit dérivé de la distillation du pétrole).
- Le gaz naturel.

Le choix du combustible dépend de la situation locale de la cimenterie. En Europe, le combustible le plus utilisé est le coke et le charbon pulvérisé. Le gaz et le fuel sont généralement exclus du fait de leur coût très élevé.

Le charbon et le coke sont stockés de la même manière que les matières premières, à l'abri dans un espace couvert. Les combustibles solides sont préparés sur le site (concassage, broyage, séchage) dans des stations de broyage similaires à celles des stations des matières premières. A la sortie du broyeur, ils peuvent être brûlés directement dans le four ou stockés dans des silos.

Le fuel est stocké dans des cuves verticales en acier, parfois isolé pour qu'il reste à une température permettant de le pomper (50° à 60°C). Mais pour faciliter son dosage à la combustion, il est porté à une température de 120° à 140°C, ce qui facilite sa viscosité.

Le gaz naturel n'est pas stocké sur le site de fabrication du ciment. Le réseau de distribution de gaz à haute pression constitue le système de stockage.

La production d'une tonne de ciment nécessite une quantité importante de ressources naturelles non renouvelables. En effet, pour 1,6 Tonne de matière première, il faut 0,1 tonne de ressources fossiles (charbon, coke, fuel...) pour alimenter le four [10]

Les cendres produites par la combustion de ces produits sont majoritairement composées de silice et d'alumine qui se combinent parfaitement avec les matières premières et deviennent parties intégrantes du clinker ; ceci doit être pris en compte dans le calcul de la proportion de matières premières [5].

I.5.2 Combustibles renouvelables

L'utilisation de combustibles alternatifs permet de diversifier les ressources en énergie, et de réduire la dépendance aux combustibles traditionnels et donc de réduire les

coûts en énergie. Les possibilités exceptionnelles offertes par cette industrie en matière d'incinération de déchets, représente un impact positif intéressant [11].

La valorisation du déchet en tant que combustible alternatif dans les fours, est une « valorisation énergétique », l'intérêt du recours à des combustibles de substitution (boues d'épuration séchées, fientes animales, graisse animale, solvant, huiles usagées, plastique...) réside dans le fait que leurs composés minéraux se transforment alors également en clinker, tandis que leurs composés organiques brûlent intégralement. Ces derniers sont complètement détruits y compris les substances polluantes. Les déchets utilisés comme combustibles sont généralement préparés à l'extérieur de l'usine par le fournisseur ou par les organismes spécialisés dans le traitement des déchets.

I.6 Laboratoire de contrôle

Le laboratoire de contrôle dans l'industrie du ciment possède un rôle important et indispensable. C'est des contrôles effectués à chaque étape du processus de fabrication que dépend la qualité recherchée du ciment. En effet, le prélèvement continu des échantillons permet aux chimistes de contrôler régulièrement le respect des valeurs limites dans les matières premières et les combustibles. Les essais sont donc réalisés tant sur les produits semi-finis ou finis (analyse chimique et minéralogique), que sur les mortiers pour en vérifier les caractéristiques (prise, résistance mécanique). [2]

Jusqu'à présent, les analyses étaient réalisées uniquement en différé en laboratoire. La prise d'échantillon est effectuée périodiquement en plusieurs points du processus et qui sont :

- Le gisement des matières premières afin de définir la composition exacte du cru avec les besoins d'ajouts, de corrections exigées par la fabrication.
- Le cru (farine) pour confirmer l'homogénéisation avant la cuisson.
- L'analyse des combustibles renouvelables et non renouvelables pour en tenir compte dans le calcul des proportions de matières premières (eau, silice et alumine).
- L'analyse du clinker : permettant de déterminer les composants minéraux ainsi que le taux de gypse à ajouter lors du broyage.
- Les essais pour contrôler la qualité du ciment : effectué sur des éprouvettes en mortier fabriqué avec le ciment. La résistance à la compression et à la traction est mesurée à 28 jours.

Les lots ainsi recueillis sont analysés et les résultats sont utilisés pour corriger éventuellement les paramètres du processus. Avec les techniques traditionnelles, les informations sont obtenues au bout d'un temps relativement long, quelques heures au mieux

et jusqu'à 28 jours dans certains cas. Du coup, si le matériau analysé est hors de tolérance, la quantité de ciment, produite entre le moment du prélèvement et le résultat de l'analyse, est perdue (ou déclassée).



Figure 1.20 : Echantillons préparés par un robot

Avec le système robotique, l'industrie cimentière peut à présent produire un flux régulier d'échantillons en éliminant les risques d'erreurs humaines qui peuvent nuire à la qualité ou à la cohérence, avec la possibilité de fournir un échantillon toutes les six minutes permettant ainsi un contrôle plus régulier et fiable de la production.

Les échantillons sont prélevés automatiquement au cours de la fabrication, et sont envoyés par transport pneumatique au laboratoire de l'usine. La préparation de l'échantillon se fait par le robot (voir figure 1.20), l'analyse chimique se fait par diffraction du rayon X.

L'analyse par diffraction du Rayon X sort du laboratoire et se met en ligne sur le processus, elle apporte des informations sur la composition des matériaux mais aussi sur leur structure cristalline. Elle permet donc d'obtenir des résultats précis sur les phases cristallines majeures du clinker (C_3S , C_2S , C_3A et C_4AF) et sur l'état d'hydratation, ce qui permet de connaître la résistance du ciment et du gypse (injecté au clinker).

Il n'y a pas de mode opératoire universel pour évaluer la qualité du clinker. Il existe cependant de nombreuses techniques mises au point par les cimentiers du début du siècle. Ces méthodes sont maintenant perfectionnées avec la mise au point d'analyseurs modernes et l'utilisation de l'outil informatique. La collaboration du laboratoire et des services de production doit être totale car la qualité du clinker dépend de la chimie et de la cuisson de la farine.

I.7. Salle de contrôle

Au sein de l'usine, toutes les phases, depuis la pré-homogénéisation jusqu'au chargement du clinker, sont dirigées et surveillées électroniquement à partir d'une salle de contrôle-commande centrale. Les pilotes de la salle de contrôle conduisent 24H sur 24, 7 jours

sur 7 l'usine depuis leurs écrans ou s'affichent toutes les informations pour le traitement des données et la mise en mémoire.

Chaque panne ou anomalie des valeurs de mesures est signalée sur des écrans aux opérateurs. De plus, la salle de commande est reliée avec des endroits éloignés dans l'usine par téléphone par appel-personnes et par interphone. Ceci permet de contacter le personnel travaillant dans l'usine en cas de panne, afin d'assurer une intervention rapide.

I.8. CONCLUSION

Qui ne s'étonnerait que de cette poudre grise, homogène, constituée de silice, d'alumine et de chaux, presque impalpable, naisse une matière aussi dure que la pierre ? La naissance de cette matière exige un savoir faire, une technologie très performante et une consommation d'énergie importante, pour que l'on puisse transformer cette roche naturelle en une pierre très dure façonnée en des formes diversifiées créées par les bâtisseurs du monde moderne.

On rencontre quatre procédés de fabrication : la voie humide, la voie semi-humide, la voie sèche et la voie semi-sèche qui dépendent essentiellement du matériau. Le principe de fabrication se résume à l'extraction de calcaire et d'argile à partir des carrières, puis ces matériaux sont concassés, optimisés à l'aide de trois paramètres permettant de fixer la composition du cru, homogénéisés, portés à hautes température (1450°C) dans un four rotatif. Le produit obtenu après refroidissement rapide est le clinker.

Les températures trop élevées dans le four font de l'industrie du ciment une industrie à forte consommation d'énergie, elle représente 30 à 40% des coûts de production, aussi et pour réduire le coût en énergie dû à l'utilisation des combustibles fossiles pour alimenter la flamme du four (2000°C) la valorisation des déchets en tant que combustible alternatif est devenue la meilleure solution adoptée [10].

Grâce au progrès, aux nouvelles technologies et l'apparition de matériels nouveaux, les procédés de fabrication se perfectionnent sans cesse. En effet pour produire une tonne de clinker constituant de base du ciment, il fallait en 1870 près de 40 heures, il faut actuellement environ 3 minutes. La maîtrise des outils et des techniques de productions permettent aux usines neuves des capacités de production de 3000 à 5000 tonnes/jour.

L'utilisation des chaleurs récupérées lors du processus de cuisson du cru et le refroidissement brusque du clinker pour sécher et chauffer le cru progressivement jusqu'à la décarbonatation du calcaire matière de base permet de réduire de moitié la consommation de l'énergie tout en augmentant la production du clinker.

L'apparition donc d'équipements nouveaux : tour de préchauffe, calcinateur et four rotatif dont la longueur ne dépasse pas les 60 mètres font de la voie sèche le procédé le plus privilégié des nouvelles usines qui doivent avoir des capacités de productions toujours plus importantes avec des réductions en consommation d'énergie et d'émissions polluantes comme le dioxyde de carbone (CO₂) gaz responsable de l'effet de serre.

Le ciment, matériau universellement utilisé, dont le procédé de fabrication moderne, va dans le sens de la qualité, de la régularité, de l'adaptation à la fonction, mais également de l'économie d'énergie. A chaque étape de la fabrication, il est soumis à des contrôles rigoureux ces derniers sont renforcés par des méthodes perfectionnées avec la mise au point d'analyseurs modernes et l'outil informatique qui permet à l'analyse par diffraction du rayon X de sortir du laboratoire et de se mettre en ligne sur le processus d'où les résultats sont disponibles toutes les minutes alors qu'avec les techniques traditionnelles, il faut une heure ou plus pour réagir en cas de baisse de la qualité.

2.1 Introduction

L'industrie du ciment est une forte consommatrice de ressources naturelles. Les matières premières non renouvelables, le calcaire et l'argile, sont la base du matériau tandis que les combustibles, à priori d'origine fossile (charbon, coke, gaz naturel, fioul...), sont indispensables pour les cuire. Cette consommation génère des rejets dans l'atmosphère pouvant être très nuisibles pour l'environnement. Ces rejets sont dus aux réactions physiques et chimiques des matières premières et à la combustion des matériaux utilisés pour chauffer les fours.

Dans l'industrie du ciment, les principaux rejets vers l'atmosphère sont constitués essentiellement par les gaz de combustion au niveau des fours de cuisson, mais surtout par les émissions de poussières à tous les niveaux de la production du ciment. Le processus de production du clinker qui précède la fabrication du ciment est le processus le plus important dans l'industrie du ciment mais c'est aussi le processus qui produit le plus d'émissions polluantes. Les émissions des fours sont donc responsables des principaux rejets polluants dans l'atmosphère lors du chauffage du calcaire à très haute température.

2.2 Rejets polluants

Dans le four, la température atteint plus de 1400°C, ce qui conduit à l'émission d'une importante quantité d'oxydes d'azote, ainsi que d'autres polluants, tel que le dioxyde de soufre et Les poussières. Comme lors de toute combustion, il se forme aussi, dans le four à ciment, du dioxyde de carbone (CO₂). Ainsi donc et en terme de volume les principaux polluants issus de la fabrication du ciment sont : le CO₂, les NO_x, le SO₂ et les poussières. La fabrication du ciment est aussi responsable d'émissions de métaux lourds dans l'air. Les polluants organiques persistants sont également inventoriés: H.A.P (hydrocarbures aromatiques polycycliques) leurs émissions sont liées au phénomène de combustion, les dioxines et furanes.

2.2.1 Définition d'un rejet polluant

D'après le dictionnaire du vocabulaire normalisé de l'environnement de l'AFNOR, un agent polluant est un altéragène biologique, physique ou chimique, qui au-delà d'un certain seuil, et parfois dans certaines conditions, développe des impacts négatifs sur tout ou partie d'un écosystème ou de l'environnement en général

2.3 Emission de gaz

La combustion des combustibles engendre des émissions de gaz surtout constituées par le dioxyde de carbone (CO₂). Les émissions de l'oxyde d'azote (NO₂) sont attribuables à la combustion incomplète des combustibles fossiles. L'utilisation de ces derniers dans le processus contribue peu aux émissions globales des composés organiques volatils (C.O.V), les dioxines et furanes.

2.3.1 Emissions de CO₂

L'importance attribuée au CO₂ provient de l'accroissement rapide de la concentration de ce gaz dans l'atmosphère par suite d'une augmentation de la consommation d'énergie fossiles dans le monde et d'une diminution importante des couverts forestiers. On estime que la teneur moyenne en CO₂ de l'atmosphère planétaire est passée de 275 parties par million en volume (ppmv) à l'époque pré industrielle à près de 360 ppmv en 1992 [12]. L'augmentation de CO₂ dans l'atmosphère dans les proportions que nous connaissons ne poserait probablement pas de problème à l'homme s'il n'y avait pas le phénomène de l'accroissement de l'effet de serre. Etant un gaz non toxique il convient de dire que le CO₂ est l'un des principaux gaz à effet de serre, sa contribution à l'accentuation de celui-ci fait de lui le responsable du réchauffement de la planète et du dérèglement climatique.

2.3.1.1 Effet de serre

L'effet de serre est avant tout un phénomène naturel indispensable, sans lequel, la température moyenne de la surface de la Terre avoisinerait -18°C, interdisant toute forme de vie. Lorsque le rayonnement solaire atteint l'atmosphère terrestre (voir figure 2.1), environ 28,3% de ce rayonnement est directement renvoyée vers l'espace (réfléchi par l'air, les nuages blancs et la surface claire de la terre), tandis que le reste des rayons incidents qui n'ont pas été réfléchis vers l'espace, 20,7% sont absorbés par l'atmosphère et la plus grande partie restante (51%) de ce rayonnement traverse directement l'atmosphère pour réchauffer la surface du globe.

Ce rayonnement absorbé par la terre lui apportant de la chaleur (énergie) elle le restitue à son tour en direction de l'atmosphère sous forme de rayons infrarouges. Les gaz à effet de serre (GES) présents dans l'atmosphère « piègent une partie importante des rayons infrarouges qui tendent à la réchauffer (comme illustré dans la figure 2.1). Cette chaleur est réémise dans toutes les directions, notamment vers la terre. Agissant ainsi comme les vitres d'une serre d'où le nom donné à ce mécanisme.

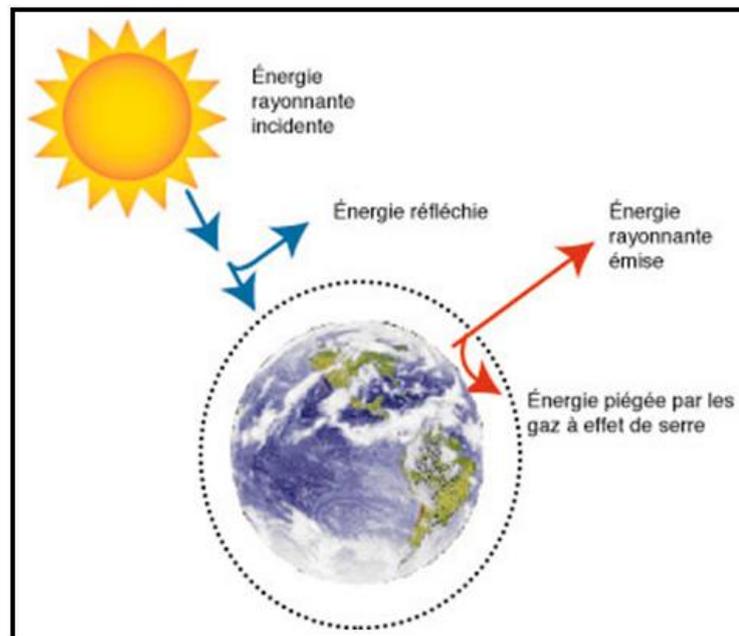


Figure 2.1 : Mécanisme de l'effet de serre

Le réchauffement de la terre causant une perturbation du climat est donc dû à l'absorption de ce rayonnement par les gaz à effets de serre (GES) contenus dans l'atmosphère. A savoir principalement la vapeur d'eau, le méthane (CH_4), les chlorofluorocarbures (CFC), l'ozone et spécialement le gaz carbonique (CO_2).

Le dioxyde de carbone CO_2 absorbe fortement les rayons infrarouges et contribue à la balance thermique de l'atmosphère. En fait, à concentrations égales, il absorbe moins que d'autres GES., mais comme il est le plus abondant, son action est majoritaire [13]. A noter que le CO_2 est à lui seul responsable de plus de 50% de l'augmentation de l'ensemble des gaz à effets de serre. Il s'accumule dans l'atmosphère ou sa durée de vie est de plusieurs siècles.

2.3.1.2 Conséquences du réchauffement de la planète

La vapeur d'eau et le dioxyde de carbone sont identifiés comme les principaux responsables de cet effet de serre par John Tyndall en 1861. Il suggère alors qu'une modification de la composition de l'atmosphère peut avoir une influence sur l'évolution du climat. [14].

Les scientifiques qui étudient le climat pensent que l'augmentation de teneurs en gaz d'origine anthropique est à l'origine d'un réchauffement climatique. Ces gaz à effet de serre fonctionnent donc comme une couverture qui maintient une température chaude à la surface de notre terre et l'empêchent ainsi de se refroidir. Dans le cas de doublement de la

concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère les climatologues prévoient une augmentation de la température moyenne du globe de 2°C entre 1900 et 2100 .Si rien n'était entrepris pour limiter l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre. L'étude des climats passés montre qu'une variation de quelques degrés seulement de la température moyenne de la planète transforme profondément la physionomie de notre planète.

2.3.1.3 Incidences du réchauffement climatique

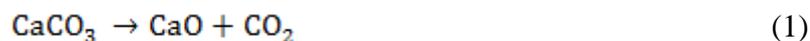
Dans ce qui suit quelques exemples sur les incidences du réchauffement climatique :

- Elévation du niveau des mers : La fonte d'une partie des glaces polaires et le réchauffement des océans pourraient entraîner une élévation du niveau des mers que les hypothèses évaluées à 50 cm menaçant 92 millions de personnes vivant dans les zones côtières.
- Famines, santé des populations : Les vagues de chaleurs seront plus intenses et plus longues. Accroissement des maladies cardio-vasculaires, un certain nombre de maladies se transmettront plus facilement.
- Crues et sécheresses, précipitations : une augmentation est à prévoir de la fréquence et de la durée des grandes crues et des grandes sécheresses.

2.3.1.4 Sources de CO₂ dans l'industrie du ciment

La production du ciment génère par nature de l'oxyde de carbone, lors de la cuisson de la matière à très haute température dans le four. Les cimentiers sont donc de grands producteurs de CO₂, produit par la réaction de calcination du CaCO₃ et la combustion.

La transformation du calcaire en clinker, processus basé sur une réaction physico-chimique qui commence avec la décomposition du carbonate de calcium (CaCO₃) en chaux (oxyde de calcium CaO) accompagnée d'un dégagement de gaz carbonique à environ 900°C. (Décarbonatation).



Le CO₂, sous produit de cette réaction, est appelé le CO₂ de procédé, il représente environ 60% des émissions, la quantité de CO₂ émise lors de cette phase s'élève à 525 Kg par tonne de clinker [15]. Les combustibles (combustibles fossiles et de substitution) qui alimentent le four de la cimenterie à la température de 1500°C produisent environ 40% des émissions de CO₂ appelé CO₂ énergétique, en fonction du procédé utilisé, 300 à 500 Kg de CO₂ sont émis lors de la production d'une Tonne de clinker [15].

Donc de ce qui précède, on peut déduire que théoriquement pour produire une tonne de clinker on émet environ une tonne d'oxyde de carbone dans l'atmosphère dont plus de la moitié de cette émission provient de la décarbonatation du calcaire. Voilà pourquoi la réduction des émissions de dioxyde de carbone est le plus grand défi écologique que l'industrie doit relever.

A ces deux sources principales il faut ajouter les émissions dues au transport des matières premières et à la consommation d'électricité. La figure 2.2 Ci-dessus donne les proportions des différentes contributions.

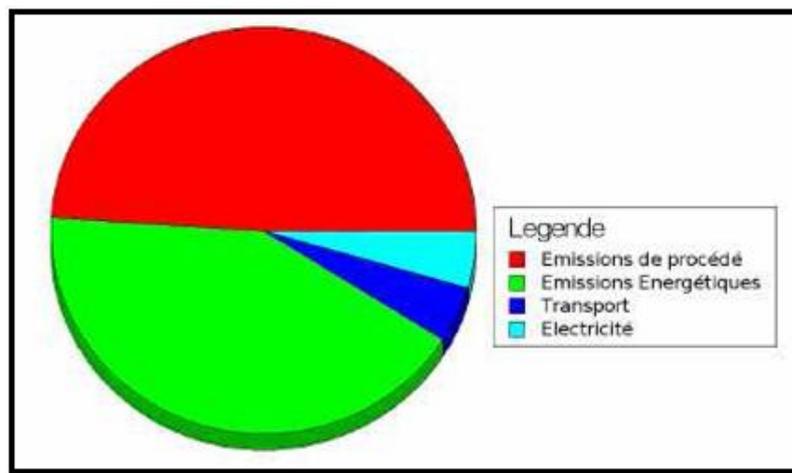


Figure 2.2 Répartition des émissions de CO₂ selon leurs sources dans l'industrie cimentière 57% émissions de procédé, 37%émissions énergétique, 6%transport et électricité

2.3.2 Emissions de l'oxyde d'azote (NO_x)

Les principaux oxydes d'azote (NO_x) émis par l'industrie cimentière sont le monoxyde d'azote NO et le dioxyde d'azote NO₂. Il existe deux grandes sources de production d'oxyde d'azote NO_x.

- Les NO_x thermiques : une partie de l'air comburant réagit avec l'oxygène pour former des oxydes d'azote. Ils se forment au dessus de 1200°C, la majeure partie se formant dans la zone de clinkérisation, là où la température est la plus élevée. Les cimentiers peuvent donc minimiser les émissions de NO_x en optimisant la température et en injectant de l'air dans les limites tolérées par le procédé de fabrications [15].
- Les NO_x combustibles : lors de la combustion, l'azote contenu dans les combustibles peut se transformer en oxyde d'azote par réaction avec l'oxygène contenue dans l'air. Donc les émissions de NO_x sont fonction des caractéristiques des combustibles utilisés.

Les NO_x ainsi rejetés dans l'atmosphère continuent de s'oxyder et peuvent provoquer des pluies acides.

2.3.3 Emissions de dioxyde de soufre SO₂

Les émissions de SO₂ des cimenteries sont principalement déterminées par la quantité de soufre volatile présente dans les matières premières (présence de pyrite ou de soufre organique). Les émissions de SO₂ des fours ne posent que peu ou pas de problèmes. Lorsque les matières premières ne contenant que peu ou pas de soufre volatile, les émissions du SO₂ sont nettement inférieures sans recourir à des techniques de dépollution.

Elles sont donc fortement dépendantes du gisement exploité, ce qui explique des différences parfois importantes entre les émissions des différents fours. Bien que la majeure partie du soufre reste dans le clinker sous forme de sulfate, les émissions de SO₂ des matières premières à fortes teneur en soufre volatile peuvent être importantes et être considérées comme une pollution majeure (pluies acides).

2.3.4 Emissions de monoxyde de carbone CO

Il est produit au niveau du four lorsque la combustion est incomplète ou lorsque le four est mal réglé. Donc il est provoqué par une mauvaise régulation de l'alimentation en combustible solide. Mais il faut souligner que si les pointes d'émissions du CO sont supérieures à 0,5%, celles-ci vont créer un nouveau problème, à savoir que tout traitement des gaz par filtre électrostatique devra être automatiquement arrêté pour éviter l'explosion (pic du CO).

2.4. Emissions de poussières

Pour des raisons physiologiques et psychologiques, la pollution par les poussières a été très tôt ressentie par les populations et a fait l'objet de réglementations depuis fort longtemps, bien que la toxicité soit souvent moindre que celle de nombreux constituants gazeux [16].

En effet, les émissions de poussières sont la partie la plus visible de l'impact environnemental d'une cimenterie, cet impact assez difficilement mesurable, est néanmoins géré avec beaucoup de sérieux par les cimentiers et les pouvoirs publics, très sensibilisés par les problèmes de nuisance leur imposant des conditions draconiennes pour remédier à ce problème.

Il faut souligner que la cimenterie est l'une des industries où la lutte contre les émissions de poussières pose le plus de problèmes puisque, à chaque stade de la fabrication, un ou plusieurs facteurs susceptibles de polluer l'atmosphère intérieure et extérieure entrent en

jeu. Les principales sources d'émissions de poussières proviennent essentiellement des fours, là où les rejets sont les plus importants. Mais d'autres stations du procédé sont aussi des sources non négligeables.

L'exploitation des carrières fournissant les matières premières, le procédé industriel conduisant à la fabrication du ciment ainsi que le transport du produit fini vers la clientèle sont autant d'aspects susceptibles de présenter des impacts environnementaux notables [17]. En effet de grandes quantités de poussières sont produites lors des opérations d'extraction des matières premières (dans les carrières) ainsi que lors du concassage, broyage, cuisson, refroidissement, stockage et conditionnement du ciment.

Les émissions de poussières aux cheminées ont longtemps constituées une des principales sources de nuisance pour les riverains. Très consciente de ce problème, l'industrie cimentière a investi massivement dans des systèmes de dépoussiérage et cela depuis plusieurs années. Ainsi, tous les sites sont aujourd'hui équipés des meilleures techniques disponibles en matière de système de dépoussiérage, car il ne faut pas perdre de vue que les quantités de poussières produites sont proportionnelles à la capacité de production des unités et que la taille des dépoussiéreurs croît avec celle des installations qu'ils desservent, ce qui augmente considérablement les investissements [18].

A titre d'exemple, si l'on considère un four rotatif en voie sèche, on constate que pour chaque tonne de clinker produite, on manipule de 2500 à 3000 kg de matières sèches c'est à dire :

- 1500 kg de farine ;
- 150 à 250 kg de poussières recueillies par électro filtre (15 à 25% de la production de clinker) [18].

2.4.1 Effets des particules fines sur la santé

La granulométrie des poussières est un facteur important, les fines restent en suspension dans l'atmosphère alors que les plus grosses se déposent sur le sol à différentes distances de la source selon leur taille. Plus les particules sont fines plus elles pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire leur séjour y est important. Elles irritent le système respiratoire humain et peuvent contribuer au déclenchement de maladies respiratoires aiguës.

Actuellement des études scientifiques mesurent et analysent séparément diverses fractions de poussières en suspension : elles font une distinction entre la fraction très fine (PM 2,5) et la fraction plus grossière (entre les PM 10 et les PM 2,5).

L'augmentation rapide de la concentration des particules fines entraîne des symptômes respiratoires (toux, essoufflement, le déclenchement de crises de bronchites,

d'asthme...). L'augmentation durable de la concentration de particules fines entraîne des symptômes de bronchite chronique et la dégradation de la fonction pulmonaire.

De nombreuses études établissent le rapport entre la concentration des particules fines et les maladies respiratoires et cardio-vasculaires, les cancers et les décès. Des indices montrent que les fractions plus grosses sont plutôt responsables des effets aigus sur les asthmatiques, tandis que les fractions fines agissent davantage à long terme, et que les particules produites par le processus de combustion ont des actions plus défavorables que celle qui proviennent de la croûte terrestre ou de phénomènes de frottement et d'usure [19].

2.5 Emission de bruits

Le bruit : le fait qu'une onde sonore soit ressentie ou non comme une nuisance dépend à la fois de la situation et de la personne considérée. Comparé aux autres nuisances et pollutions, le bruit présente un handicap majeur : il ne laisse pas de trace apparente ; il n'engendre pas de ce fait la même nécessité d'intervention que pour les autres impacts. De la simple gêne au désagrément, le bruit est devenu un problème de santé (voir tableau ci-dessous) [2.1].

Tableau 2.1 : Les conséquences du bruit sur l'homme

ECHELLE DE BRUIT : dB (A)	EFFET
120	Traumatisme
100	Danger
80	Fatigue
60	Inconfort
< 40	Confort

D'abord limités aux surdités en milieu du travail, ses effets s'étendent aujourd'hui aux perturbations du sommeil, aux maladies nerveuses, cardio-vasculaires et psychosomatiques. [12]

Dans les cimenteries, les machines bruyantes et certains procédés (les ateliers de broyages du cru, la cuisson, le broyage du ciment...) génèrent un bruit considérable. Travailler dans un environnement bruyant est dangereux pour la capacité auditive du personnel.

D'après une étude mexicaine [20] 65% des ouvriers exposés à des niveaux de bruit de plus de 90 dB souffrent de déficience auditive, parmi ceux exposés à des niveaux de bruit compris entre 85 et 90 dB, 44% avait des troubles auditifs.

Lorsque les mesures de bruit dépassent largement les seuils d'acceptabilité, cette nuisance peut avoir des effets très néfastes sur la santé du personnel à savoir :

Effets physiologiques : lésions auditives, troubles des fonctions végétatives, diminution de la profondeur du sommeil, maux de tête.

Effets psychologiques : abattement, stress, nervosité, troubles de communication, irritabilité.

Effets sociaux : agressivité.

Afin de prendre des précautions nécessaires pour la préservation de la santé du personnel, une étude complète du bruit au poste du travail avec cartographie des zones doit être réalisée. Aussi, les ouvriers doivent porter des protections auditives fournis par leurs employés et subir des tests auditifs.

2.6 Conclusion

Le clinker matériau de base du ciment est produit en chauffant le calcaire (et quelques autres ingrédients) à une température de 1450°C dans un four à ciment. Ce processus fait de l'industrie du ciment une forte consommatrice en énergie calorifique, mais c'est aussi une grande génératrice de rejets polluants dans l'atmosphère tel que : le dioxyde d'azote, l'oxyde de soufre, les poussières et en volume très important le dioxyde de carbone (CO₂) produit par la réaction de calcination du carbonate de calcium (CaCO₃) et la combustion, pour une tonne de clinker il se forme environ une tonne de CO₂.

Gaz à effet de serre, sa concentration dans l'atmosphère fait de lui le responsable majoritaire du réchauffement de la planète et le dérèglement climatique causant la transformation de la physionomie de notre planète. Voilà pourquoi la réduction des émissions de dioxyde de carbone est le plus grand défi écologique que l'industrie cimentière doit relever tout en limitant parallèlement les émissions des particules fines dont la forte et longue concentration dans l'air provoque des maladies respiratoires. Aussi elle doit prendre des précautions nécessaires pour la préservation de la santé du personnel en établissant une étude complète du bruit au poste de travail.

3.1 Introduction

Le grand défi des cimentiers est de veiller à la préservation de l'environnement d'une part et à la réduction des émissions de CO₂ (principal gaz à effet de serre responsable du changement climatique) d'autre part. La réduction de ces rejets dans l'atmosphère est devenue une priorité majeure pour les cimentiers.

L'industrie cimentière est un gros émetteur de CO₂ dans l'atmosphère, sa contribution est d'environ 5% des émissions globales [21]. Il est donc important de réduire ces émissions dont la concentration est responsable du réchauffement climatique, et ce sont les conséquences de ce dernier qui ont conduit à une prise de conscience au niveau international notamment avec l'organisation tout d'abord du premier sommet de la terre en 1972 à Stockholm (Suède) au cours duquel ont émergés les concepts qui proposent de voir l'environnement comme un patrimoine mondial, à exploiter de manière responsable. Ensuite, le protocole de Kyoto signé en 1997, a fixé des objectifs chiffrés de réduction des émissions de gaz à effets de serre, en imposant à 38 pays de réduire de 5,2% en moyenne leurs émissions en 2008 – 2012 par rapport au niveau de 1990 [22].

L'objectif de ce chapitre est d'établir une synthèse bibliographique sur les pistes étudiées et adoptées par l'industrie du ciment pour réduire les émissions polluantes générées par les procédés de fabrication du ciment, et dont l'identification de celles-ci ainsi que les sources de production ont été développées dans le chapitre précédent.

3.2 Réduction des émissions de CO₂

Pour répondre à ce grand défi, l'industrie cimentière a mis en œuvre plusieurs solutions pour réduire les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) générées lors de la cuisson à haute température du calcaire matière de base du clinker. .

Pour réduire les émissions de CO₂ qui proviennent de deux sources : les émissions énergétiques et les émissions de procédés, l'industrie cimentière a mis en œuvre plusieurs solutions et cela depuis plusieurs années [22]. Nous en citerons les principales :

1- Incorporer dans les matières premières, avant cuisson, certains matériaux sélectionnés déjà carbonatés ou ne contenant pas de calcaire.

2- Incorporer dans les ciments, des constituants réduisant d'autant la quantité de clinker constituant de base du ciment.

3- Utiliser des combustibles de substitution, comme certains déchets.

Donc, le futur repose sur l'adoption de solutions réellement innovatrices et cela en encourageant le développement de l'utilisation de certains déchets, soit comme combustibles

de substitution, soit comme matière première dans la fabrication du ciment. Ces solutions reposent sur la valorisation des déchets dans le processus de production. C'est donc offrir une seconde vie à ces déchets qui seraient habituellement restés comme tels.

La valorisation des déchets est préférable à leur élimination par incinération ou mise en décharge. Mais il faut souligner que l'utilisation des déchets en cimenterie s'effectue dans des conditions particulièrement strictes, afin de garantir la qualité des ciments produits (compatibilité avec le procédé), la sécurité des employés et des riverains des cimenteries.

Le processus de fabrication du ciment permet d'utiliser les déchets de deux façons :

- En remplacement des combustibles fossiles (coke de pétrole, charbon, fuel lourd...), c'est la valorisation énergétique.
- En remplacement partiel des constituants de base (calcaire et argile), c'est la valorisation matière.

3.3 Valorisation énergétique

L'industrie cimentière est une grande consommatrice d'énergie avec un poste énergie absorbant dans la plupart des cas 30% à 40% des coûts de production (hors coûts d'investissement). En effet, divers combustibles (fossiles) sont utilisés pour fournir la chaleur nécessaire aux procédés. Porter un grand volume de matière à une température de 1450°C dans les fours à clinker, exige une grande quantité d'énergie thermique. Il faut entre 3000 à 4200 Mega Joules pour fabriquer une tonne de clinker en voie sèche, et environ 6000 Mega Joules en voie humide [23].

Donc, pour réduire leur consommation d'énergie fossile, les cimenteries ont recours à l'utilisation de déchets sélectionnés, appelés combustibles de substitution. Aujourd'hui, plus d'un tiers de l'énergie thermique nécessaire à la fabrication des ciments provient de la combustion des déchets.

Les combustibles de substitution sont répartis en deux catégories distinctes :

- a- La biomasse : boues séchées issues des stations d'épuration, vieux papiers, copeaux de bois non imprégnés, farines et graisses animales.
- b- Les déchets : pneus déchiquetés, bois de palettes, résidus de broyage automobile, huiles usagées, plastiques, solvants, sciures imprégnées.

La nature des combustibles de substitution utilisés en cimenterie varie en fonction des déchets produits localement. L'utilisation des combustibles de substitution est une situation à triple dividende, en effet, avec la valorisation énergétique [24]:

- Les émissions de CO₂ sont réduites.
- Les ressources énergétiques (fossiles) sont préservées.

- Le problème de société que posent les déchets trouve une solution.

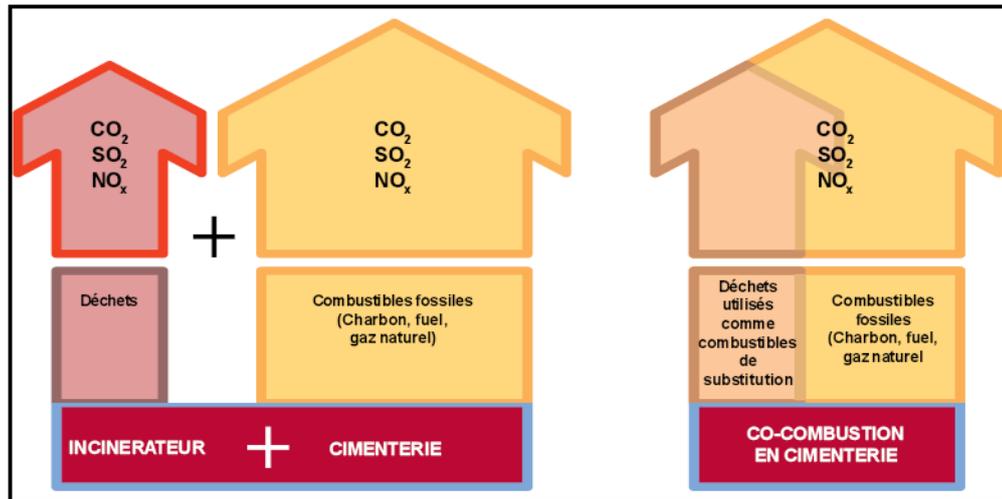


Figure 10: Réduction des émissions de CO₂ par valorisation énergétique [24]

L'utilisation des combustibles de substitution à base de déchets réduit également la charge d'émissions pour la société, tout en économisant les combustibles fossiles primaires. En effet, grâce à la valorisation en cimenterie, les déchets n'ont pas à être éliminés ailleurs ou à être mis en décharge. Il s'agit là d'un véritable service rendu à la collectivité. Mais il va sans dire que la valorisation de déchets en cimenterie est sévèrement contrôlée.

L'acceptation de ces combustibles de substitution en cimenteries se fait conformément à un cahier des charges précis et après une identification claire du générateur. Les contrôles sont effectués par les laboratoires d'usines ou par des laboratoires indépendants agréés. L'ensemble de ces mesures garantit le maintien de la qualité des ciments qui sont tous des produits normalisés. [2].

Avant leur utilisation, les déchets sont donc contrôlés, sélectionnés et traités conformément au cahier des charges qui garantit la compatibilité des déchets sélectionnés avec le procédé cimentier. Sans modifier les domaines d'emploi des ciments, la destruction d'un déchet en cimenterie est soumise à une autorisation administrative. Cette procédure permet de refuser les produits non-conformes.

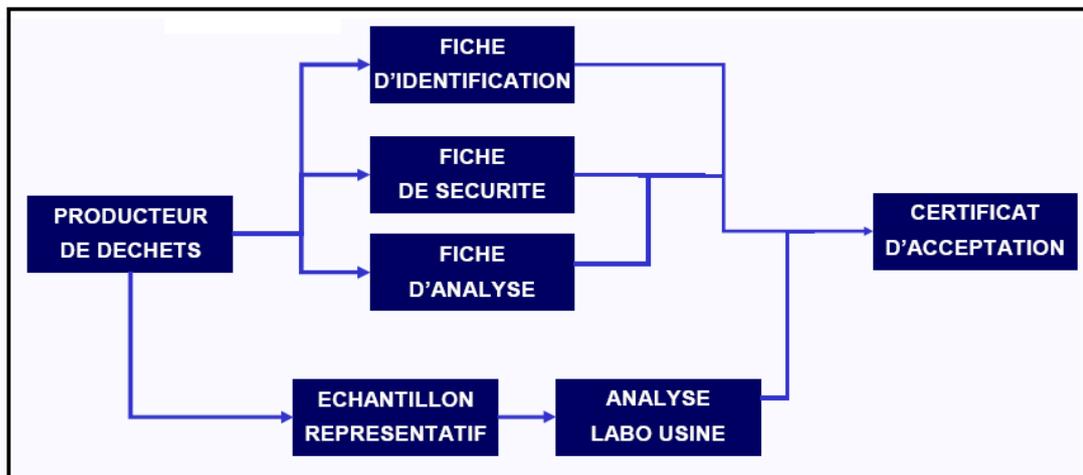


Figure 3.1 : Schéma d'acceptation des combustibles de substitution [2]

Outre leur apport énergétique évident, l'intérêt du recours à ces combustibles de substitution réside dans le fait que leurs composés minéraux se transforment en clinker, tandis que leurs composés organiques brûlent intégralement en détruisant complètement les substances polluantes qu'ils peuvent contenir.

Pour garantir le parfait déroulement de l'utilisation de ces combustibles de substitution, les cimenteries doivent maîtriser leur préparation et leur stockage. Car la mise en œuvre diffère de ce qu'exigent traditionnellement des combustibles fossiles.

L'utilisation simultanée de divers combustibles a rendu nécessaire d'équiper les fours rotatifs de nouveaux brûleurs multi canaux (voir figure 3.2).

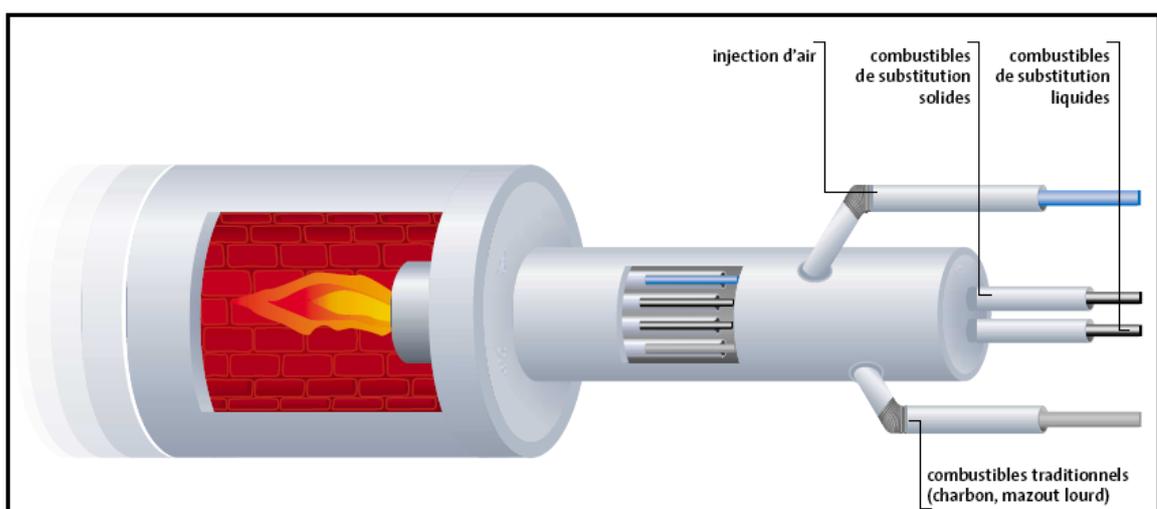


Figure 3.2 : Brûleurs multi canaux [25]

Chaque combustible peut être alimenté séparément au débit et à la pression voulue dans son canal d'injection spécifique. Cette technique permet d'obtenir dans le four une température constante assurant un clinker de qualité homogène [25].

3.4 Valorisation de la matière

La valorisation de la matière contribue à la réduction des émissions de CO₂ dues à la décarbonation et cela soit par le remplacement d'une partie de la matière à cuire par des produits déjà carbonatés soit par ajout après cuisson réduisant en cela d'autant les quantités de matière à cuire. Donc les ajouts cimentaires sont une voie pour réduire les émissions de CO₂ de la fabrication du ciment.

Depuis longtemps, les cimentiers utilisent des sous-produits issus d'autres industries en remplacement partiel des constituants de base (calcaire, argile) sans modifier la qualité, c'est l'exigence imposée. Ne sont utilisés que les déchets sélectionnés pour leur compatibilité avec le procédé cimentier et la qualité finale des ciments. Les déchets sont valorisés avec la sécurité d'un procédé industriel destiné à fabriquer des produits normalisés, il ne modifie en aucune façon les qualités physico-chimiques des ciments et leurs domaines d'emploi.

3.4.1 Ajouts cimentaires

Dans le processus de fabrication du ciment, c'est l'obtention du clinker qui est responsable de la quasi-totalité des émissions, puisque c'est pendant cette étape que les fours sont utilisés et que la réaction produisant le CO₂ a lieu. Le remplacement d'une quantité de clinker ayant les propriétés d'un liant hydraulique mais qui ne nécessite pas de préparation émettrice de grandes quantités de CO₂ permettra d'obtenir la réduction des émissions de celui-ci. Ces produits de substitution appelés ajouts cimentaires peuvent être :

- Parfois naturels, roches pouzzolane.
- Très souvent d'origine artificielle, ce sont dans ce cas des déchets d'autres industries comme les laitiers des hauts-fourneaux, les cendres volantes, les fumées de silice.

En effet les laitiers granulés de hauts-fourneaux, les pouzzolanes naturelles et les cendres volantes des centrales thermiques constituent des ajouts hydrauliquement actifs grâce à l'intervention de l'hydroxyde de calcium produit par l'hydratation du clinker, ils réagissent en présence de l'eau pour donner des composés hydratés semblables à ceux du clinker et donc doués de propriétés liantes. [26]

3.4.1.1 Laitier des hauts-fourneaux

Les laitiers de hauts-fourneaux sont des coproduits de la fabrication de la fonte des usines sidérurgiques, ils sont formés de la gangue du minerai de fer, des fondants ajoutés, des impuretés du coke. Ce sont des silico-aluminates de calcium et de magnésium. La structure minéralogique d'un laitier dépend de son mode de refroidissement. Plus rapide est le refroidissement (la trempe), plus vitreux est le laitier. Le laitier refroidi est en forme de granulés.

Le laitier granulé est utilisé en cimenterie, soit dans le cru en remplacement de l'argile (en particulier dans le procédé par voie sèche), soit au moment du broyage avec le clinker, le gypse comme ajout minéral [27]. Ainsi donc le laitier peut être mélangé avec du ciment après avoir été broyé séparément ou après avoir été co broyé avec le clinker. Il peut aussi être vendu séparément aux producteurs de béton qui l'introduise dans le béton comme ajout cimentaire.

3.4.1.2 Cendres volantes

Pour produire de l'électricité, certaines centrales thermiques modernes brûlent du charbon finement broyé (houille, anthracite) et afin d'éviter la pollution atmosphérique, les gaz sortant des chaudières sont dépoussiérés. Les impuretés minérales, tels que l'argile, le quartz et les feldspaths passent en fusion, sont entraînées rapidement vers la zone froide où elles se solidifient en de petites sphères de verre. Ces cendres sont récupérées dans un précipérateur électrostatique (dans des dépoussiéreurs électrostatiques situés avant les cheminées).

Les cendres volantes s'utilisent en cimenterie :

- Soit pour la préparation du cru, en remplacement de l'argile puisqu'elles apportent la silice, l'alumine et le fer (un peu par la voie humide cendres humides ou sèches et surtout par la voie sèche) [27].
- Soit comme ajout minéral lors du broyage du clinker et du gypse ; le passage dans un broyeur permet d'accroître la finesse des cendres et d'augmenter leur réactivité et d'obtenir un mélange homogène.

Du point de vue minéralogique, les cendres volantes se divisent en deux catégories qui diffèrent l'une de l'autre par leur teneur en CaO selon la norme (ASTM C618-94) [28]:

Classe F: contenant moins de 10% de CaO produit de la combustion de l'anthracite et du charbon bitumineux.

Classe C: contenant 15% à 35% de CaO produit de la combustion de la lignite.

3.4.1.3 Fumées de silice

La fumée de silice est un coproduit de la fabrication du silicium, de différents alliages de ferro-silicium. La fumée de silice est produite lors de la réduction d'un quartz très pur par du charbon dans un four à arc à la température de 2000°C. D'un point de vue chimique, la fumée de silice est composée essentiellement de silice. La teneur en SiO₂ de la fumée de silice varie selon le type d'alliages produits. D'un point de vue morphologique, les particules de fumée de silice se présentent sous forme de sphères ayant des diamètres compris entre 0,1 µm et 1 ou 2 µm.

3.4.1.4 Pouzzolanes naturelles

Le terme pouzzolane provient de Pouzzoles, nom d'une ville italienne de la région de Naples, il y désigne un matériau volcanique. Utilisées dès l'époque romaine pour préparer, par un mélange avec la chaux et l'eau, un mortier d'une extraordinaire tenue dans le temps.

Les pouzzolanes volcaniques sont constituées par les projections émises lors des éruptions volcaniques. Les pouzzolanes comportent les mêmes éléments de base que les laitiers, quoiqu'en proportions nettement différentes puisqu'elles contiennent moins de 10% de chaux, de 45% à 20% de silice, 12% à 15% d'alumine et jusqu'à 10% de magnésie et d'oxyde de fer. La somme des trois oxydes (SiO₂+ Al₂O₃+Fe₂O₃) doit être supérieure à 70% selon la norme ASTM C618-94. [28].

3.4.1.5 Autres ajouts

Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques, naturels ou ce sont des produits synthétiques, spécialement sélectionnés qui par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment portland tout en participant aux avantages économiques et écologiques (ajouts de type 1 selon ENV 206-paragraphes 3-1-5) [29]. Parmi les ajouts (additifs), on distingue le calcaire, la poussière et les fillers.

Fillers

Ce mot provient de l'anglais « to fill » signifiant remplir. Ce sont des produits obtenus par broyage de certaines roches naturelles ou non (calcaire, basalte, laitiers, bentonites) agissant grâce à une granulométrie appropriée sur certaines qualités du ciment.

Poussières

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000 cm²/g.

Calcaire

Le calcaire appartient aux roches carbonatées riches en chaux (CaCO_3), et il est contenu dans la calcite, l'aragonite ou la marne. Le calcaire constitue une matière première pour la fabrication du ciment. Des études ont montrées certains avantages de l'utilisation du calcaire comme ajout et le remplacement du gypse. Les deux principales caractéristiques normalisées sont :

- Une teneur minimale en carbonate de calcium CaCO_3 .
- Une valeur minimale de l'indice d'activité.

3.4.2 Avantage de l'utilisation des ajouts

L'utilisation des substituts, appelés ajouts cimentaires pour réduire la part de clinker dans la fabrication du ciment offre deux avantages :

- Une diminution de la consommation de matières premières naturelles non renouvelables.
- Une limitation des émissions de gaz à effet de serre : la production d'un ciment à 30% d'ajouts permet d'économiser 250 kg de CO_2 , soit une réduction de 27% par rapport à un ciment « classique sans ajouts » [30].

L'utilisation des ajouts dans la fabrication du ciment offre aussi des avantages techniques et économiques :

- Technique : en effet l'incorporation des particules fines améliore la maniabilité et réduit la demande en eau (à l'exception des matériaux à très grande surface active comme les fumées de silice), et ils améliorent généralement la résistance à la contrainte, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques, ils permettent aussi une diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.
- Economique : du fait que leurs utilisations dans la production du ciment réduit le prix de ce dernier vu que la plupart des ajouts sont des sous produits à faible cout énergétique.

3.5 Réduction de la consommation d'énergie

Les cimentiers n'ont pas attendu l'évolution du contexte réglementaire pour entreprendre des actions de réduction de la consommation d'énergie. C'est à partir du choc pétrolier, dans les années 1970 que l'industrie cimentière a commencé à optimiser ses besoins énergétiques et à se préoccuper plus largement de la réduction de son impact

environnemental. C'est ainsi que la « valorisation matière et valorisation énergétique » sont des pratiques appliquées en cimenterie depuis les années 80.

De même l'efficacité énergétique est également une préoccupation de longue date, en effet les systèmes de récupérations de la chaleur des fours à des fins de préchauffage sont adoptés dans les procédés de fabrication du ciment depuis fort longtemps. Ainsi donc cette orientation prise très tôt a conduit les cimentiers à adopter une approche visant à valoriser des sources locales de résidus d'une part et à contribuer à la réduction de plus en plus des émissions de CO₂ d'autre part.

En 2007, l'un des plus grands cimentiers au monde (Lafarge) a revalorisé plus de 7,7 tonnes de biomasse, de déchets, de sous-produits industriels et agricoles, plus de 10 millions de tonnes de CO₂ ont été épargnés. Le bénéfice pour la planète équivaut à plus de 660 millions d'arbres plantées chaque année [30].

3.6 Réduction des émissions de poussières

Très consciente de ce problème d'émissions de poussières, et pour répondre aux exigences environnementales, l'industrie cimentière a investi massivement dans des systèmes de dépoussiérage, et cela depuis de nombreuses années. Ainsi tous les sites sont aujourd'hui équipés des meilleures techniques disponibles en matière de systèmes de dépoussiérage des fumées. Cette politique a permis de réduire drastiquement les émissions de poussières des sites cimentiers.

Les poussières émises par les installations cimentières ont une composition similaire aux matières utilisées (clinker et ciment). Elles sont donc réinjectées dans le processus de fabrication du ciment ou incorporé directement dans le ciment. Aucun déchet n'est donc généré par ces systèmes.

3.6.1 Description des technologies

IL existe de nombreux systèmes de dépoussiérages (mécanique, à couche filtrante, électriques) montés sur les fours, les refroidisseurs, les broyeurs et les halls de stockage. Ces installations sont très onéreuses et reviennent parfois à plus de 10% du prix de la cimenterie.

3.6.1.1 Filtre à gravier

Le dépoussiéreur à lit de gravier entre dans la catégorie des filtres à couche poreuse. Le fonctionnement de ce type de filtre est défini dans les figures 3.3 et 3.4. Les gaz chargés de poussières entrent dans un cyclone (chambre de détente), les grosses particules tombent et sont évacuées par le bas du cône par une vis sans fin, les gaz encore poussiéreux remontent par le tube du centre, et traversent un lit de gravier de 10 à 20 cm d'épaisseur.

Les lits de gravier sont constitués par des grains siliceux roulés de 2,5 à 3,5 mm de diamètre reposant sur une toile en fils d'acier. Pour le nettoyage de ce filtre, il sera procédé par rinçage d'air propre à contre courant, l'air propre traverse le lit de gravier de bas en haut provoquant un effet fluidifiant de la couche de gravier pendant que les bras racleurs remuent la masse. Le rinçage s'effectue toutes les 2 heures de marche et dure 3 minutes.

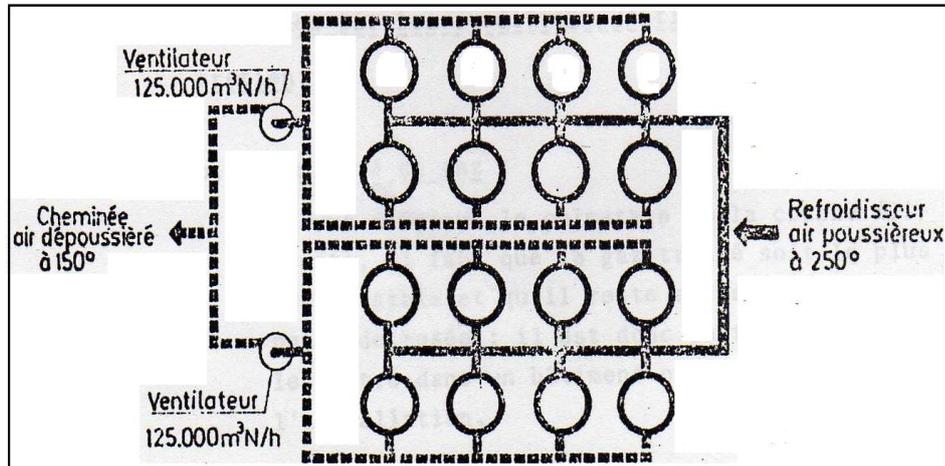


Figure 3.3 : filtre à gravier vu de dessus [18]

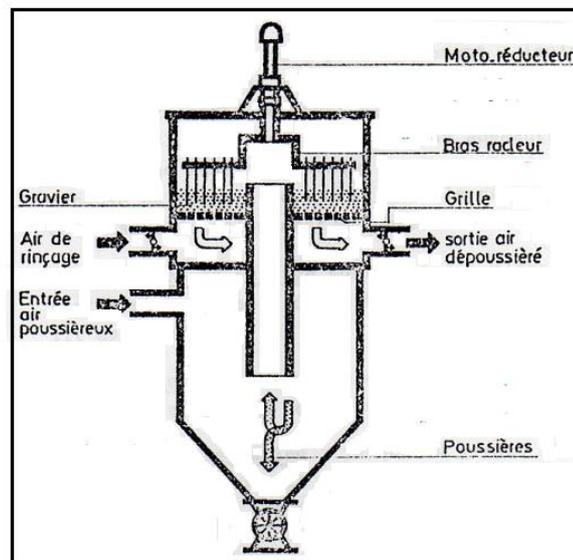


Figure 3.4: Filtre à gravier vu en profil [18]

3.2.1.2 Electro filtres

Les électro filtres sont destinés à capter des poussières dont la taille est comprise entre 0,01 et 10 μ , ces appareils ont des rendements théoriques très élevés. Ils se composent de deux parties :

- La partie métallique : caisses et équipement de précipitation.
- La partie électrique : équipement électrique pour la production et le contrôle du courant redressé.

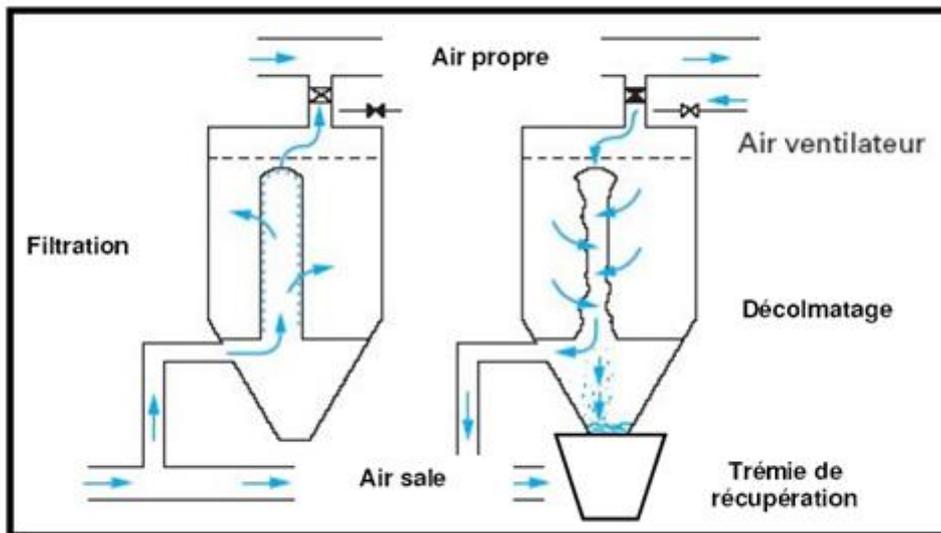


Figure 3.6 : schéma de fonctionnement d'un filtre à manche[32]



Figure 3.7 : Filtre constitué de grandes chaussettes

Le filtre constitué de 700 à 5300 « grandes chaussettes » supportées par des plaques métalliques et alignées dans un caisson où passent les gaz, le filtre à manches retient les poussières à la périphérie des tissus, l'injection d'air comprimé à l'intérieur des manches permet ensuite de décoller la matière accumulée qui tombe au fond du caisson. L'utilisation de ces équipements qui s'est largement étendue ces dernières années, a permis de diviser les quantités de poussière émises par un facteur de 100 [32].

En effet l'industrie cimentière est soumise à des normes toujours plus sévères en matière d'émissions des poussières. Ainsi les valeurs limites en 1990 ont été ramenées à 50 mg puis maintenant à 30 mg/Nm³. Les appareils qui équipent les fours actuellement tel que les filtres à manches à hautes performances permettant de respecter et même de descendre significativement en dessous de ces seuils. Ces installations sont très onéreuses et reviennent parfois à plus de 10% du prix de la cimenterie [32]. Le coût d'exploitation de ce matériel est lié au renouvellement nécessaire et périodique des médias filtrants. De plus sa forte sensibilité

aux hautes températures(+ 250°C) nécessite parfois un système de refroidissement des gaz entrée.

Aujourd'hui les cheminées des fours et les broyeurs sont équipés de filtres très performants qui captent 99,9% des particules de poussières, cette réduction des émissions de poussières est jugée par les cimentiers comme un défi relevé [24].

3.8 Conclusion

La réduction des sous-produits néfastes du processus de fabrication du ciment est une prise de conscience, une démarche volontariste permettant la maîtrise de l'impact environnemental et cela en adoptant les technologies les plus efficaces et les plus coûteuses d'une part, et en préservant les ressources naturelles par la valorisation des déchets, d'autre part.

Afin de réduire les émissions de CO₂, les cimentiers, ces grands émetteurs de CO₂ commencent à utiliser deux principales pistes : la valorisation énergétique pour réduire les émissions énergétiques en utilisant des combustibles de substitutions (déchets) et la valorisation de la matière pour réduire les émissions de procédés en utilisant des déchets d'autres industries comme le laitier des hauts-fourneaux, la fumée de silice et les cendres volantes.

L'intérêt du recours à ces combustibles de substitution réside dans le fait que leurs composés minéraux se transforment en clinker, tandis que leurs composés organiques brûlent intégralement en détruisant complètement les substances polluantes qu'ils peuvent contenir. Bien entendu, les déchets avant d'être valorisés doivent subir des contrôles très stricts afin que la qualité du ciment ne soit en aucun cas compromise.

A souligner que l'industrie cimentière en réduisant ces émissions de CO₂ par la valorisation des déchets a réduit sa consommation en énergie d'environ 30%. Aussi et afin de réduire la consommation d'énergie et l'émission du CO₂, il est impératif de réduire la production du ciment portland ou clinker en maintenant la demande de l'industrie de construction par l'utilisation des ajouts minéraux.

L'utilisation des dépoussiérants à hautes performances qui captent plus de 95% des particules de poussières au niveau des cheminées, ces systèmes permettent de réduire drastiquement les émissions de poussières et donc d'être en dessous des seuils imposés par la réglementation, c'est ce qui conduit les anciennes usines à remplacer leurs filtres électrostatique par des filtres à manches à hautes performances malgré que l'installation est très onéreuse . Le défi concernant les émissions de poussières est relevé.

4.1. Introduction

Aujourd'hui le monde industriel ne peut plus ignorer les aspects environnementaux de tout nouveau procédé de transformation physique, physico-chimique ou biologique de la matière. Les futurs ingénieurs doivent produire en respectant des objectifs de moindre pollution, voire de non pollution, d'économie et de récupération de l'énergie[33]

Les cimenteries, comme toutes entreprises de production, ne peuvent se développer ou entrer en compétitivité sur le marché national ou international sans atteindre un niveau de qualité pour leurs produits et démontrer un bon niveau de performance environnementale.

Pour répondre à cette demande, elles doivent respecter les exigences concernant la qualité du produit et leur engagement pour la protection de l'environnement. Et cela en s'engageant à gérer leurs installations dans le respect des lois, normes et réglementations locales et conformément à l'état de l'art en matière de gestion environnementale.

4.2 Définition de la norme

Selon la définition donnée par la Commission des Nations Unies, la norme est une spécification technique ou autre document accessible au public, établi avec la coopération, le consensus et l'approbation générale de toutes les parties intéressées, fondé sur les résultats conjugués de la science, de la technologie ou de l'expérience visant à l'avantage optimal de la communauté dans son ensemble et approuvé par un organisme qualifié sur le plan national, régional ou international. [34]

4.3 Normalisation du ciment

La production industrielle s'accompagne presque toujours d'une normalisation qui a pour but de définir et d'identifier les produits. Les ciments portland et les ciments composés doivent se conformer aux prescriptions nationales et internationales en vigueur dans le pays.

Tout ciment fabriqué doit répondre aux spécifications de la norme adoptée, celle-ci définit le dosage précis des matières premières, ainsi que la quantité de chaleur qui assure la qualité désiré du produit cuit. En effet tous les ciments sont normalisés et bénéficient d'un marquage qui atteste de leur conformité à la norme. La conformité du produit est évaluée en continu sur la base des essais effectués sur des échantillons ponctuels permettant la certification des produits.

La certification est une procédure qui permet à un organisme certificateur d'attester qu'un produit répond aux exigences d'un référentiel qualité (norme). Tous les ciments sont des produits certifiés et doivent être marqués.

Le marquage atteste la conformité des ciments à la norme harmonisée et permet à ces ciments de circuler librement au sein de l'espace économique.

4.3.1 Normes européennes

Le premier résultat d'harmonisation des ciments est apparu en 2000, développé par CEN (Comité Européen de Normalisation). Le ciment est alors le premier produit normalisé en accord avec la CPD (Construction Products Directive). La norme EN 197-1-2000 concernant les ciments est entrée en vigueur depuis février 2001 en abrogeant la norme NFP 15 301/94.

La norme EN 197-1-2000 définit et présente les spécifications de 27 ciments courants différents et leurs constituants. La définition de chaque ciment inclut les proportions dans lesquelles les constituants doivent être associés pour produire ces produits différents dans une plage de six (06) classes de résistances. La définition comporte également des exigences que les constituants doivent satisfaire, ainsi que les exigences mécaniques, physiques et chimiques applicables à ces 27 produits et aux classes de résistance [35].

4.3.2 Classifications des ciments selon la norme européenne

Parmi les principaux types de ciments classés selon la norme européenne, on peut citer :

1) Ciment Portland : Dénommé CPA-CEM I, il contient 95% de clinker et 5% de Fillers. Ces ciments se caractérisent par leur classe de résistance à la compression exprimée en Mpa à 28 jours – 32,5 - 42,5 et 52,5.

2) Ciment Portland Composé : Dénommé CPS CEM II/A contenant 06 à 20% de constituants autres que le clinker.

3) Ciment de Haut Fourneau :

- Dénommé CHF CEM III/A (contenant 36 à 65% de laitier de haut fourneau).
- Dénommé CHF CEM III/B (contenant 66 à 80% de laitier de haut fourneau).
- Dénommé CHF CEM III/C (contenant 81 à 95% de laitier de haut fourneau).

4) Ciment Pouzzolanique :

- Dénommé CPS CEM IV/A contenant 11 à 35% de constituants, fumée de silice, pouzzolane et cendres volantes.

- Dénommé CPS CEM IV/B, contenant 36 à 55% de constituants, fumée de silice, pouzzolane et cendres volantes.

5) Ciment composé :

- Dénommé CPS CEM V/A, contenant 18 à 30% de constituants, pouzzolane et cendres volantes.
- Dénommé CPS CEM V/B, contenant 31 à 50% de constituants, pouzzolane et cendres volantes.

Tous les ciments produits en France sont normalisés. Les ciments courants bénéficient d'un double marquage CE et NF, qui atteste de leurs conformités à la norme européenne EN 197-1-2000. Les autres ciments font l'objet de normes spécifiques leur permettant de circuler librement dans l'Union Européenne.

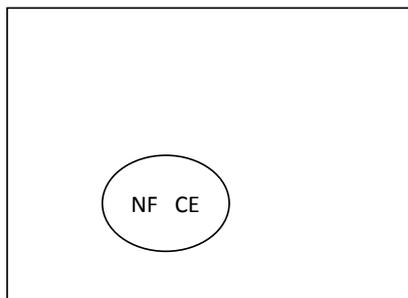


Figure 4 1: Marquage ciments normalisés en France

Le marquage NF volontaire, complémentaire du marquage CE atteste que le ciment est conforme au niveau qualité requis par le marché français en fonction des conditions climatiques et environnementales, ainsi que des techniques de mise en œuvre.

4.3.3 Norme Algérienne relative aux ciments

En Algérie, les ciments courants sont produits conformément à la norme NA 4 42/ 2000 et ceci depuis avril 2001. L'objectif de cette norme est de spécifier la composition, les exigences et les critères de conformité des ciments courants. La norme NA 442/ 2000 prescrit les propriétés des constituants des ciments et les proportions dans lesquelles ils doivent être combinés pour produire une série de types et de classes de ciment. Elle prescrit, en outre, les spécifications mécaniques, physiques et chimiques appliquées à ces types de classes et établit les règles pour évaluer la conformité à ces spécifications.

Composition :

Le ciment Portland composé CPJ CEM II/A 42,5 est constitué de :

- clinker Portland : 80 à 94%.

- Ajouts : 06 à 20% (laitier, pouzzolane, calcaire).

4.4 Organisation internationale de normalisation I.S.O.

L'ISO est la plus grande organisation au monde, elle est née de l'union de deux organisations, l'I.S.A. (Fédération Internationale des Associations Nationales de Normalisation fondée à New-York en 1926) et l'U.N.S.C.C. (Comité de coordination de la Normalisation des Nations Unies créée en 1944). Ces deux organisations décidèrent de créer une nouvelle organisation internationale dont l'objet serait de faciliter la coordination et l'unification internationale des normes industrielles. De 1947 à nos jours l'ISO a publié plus de 6500 normes.

Les normes ISO sont élaborées par les comités techniques, constitués d'experts appartenant aux secteurs industriels, techniques et économiques. A ces experts peuvent s'associer d'autres spécialistes comme les représentants d'agences gouvernementales, de laboratoires d'essais, d'associations de consommateurs et d'organisations des milieux universitaires.

Parmi les normes I.S.O deux ont accédé à un statut véritablement mondial et sont aujourd'hui entièrement intégrés à l'économie mondiale, la norme I.S.O 9001 qui définit les exigences pour les systèmes de management de la qualité et la norme I.S.O.14001 qui définit les exigences les systèmes de management environnemental.

4.4.1. Normes relatives au management qualité

La croissance du commerce international stimulait l'élaboration de normes de management de la qualité. Ce qui a conduit à la création en 1979 du comité technique de l'ISO /TC 176 management et assurance de la qualité.

La première norme publiée par ISO /TC 176 fut l'ISO 8402 en 1986, qui normalisait la terminologie du management de la qualité et en 1987 paraissaient les normes ISO 9001, ISO 9002 et ISO 9003 qui définissaient les exigences relatives aux systèmes de management de la qualité. Ces normes furent complétées par la norme ISO 9004 qui donnait les lignes directrices pour la mise en œuvre des systèmes de management qualité. Ces publications marquaient le début d'un long voyage au fil duquel les normes de la famille ISO 9000 deviennent les normes les plus connues dans l'histoire de l'ISO [36].

Norme qualité ISO 9001

La norme I.S.O 9001 sert de base à la certification de conformité de l'organisme, les autres normes de la série 9000 ne contenant pas d'exigences ne peuvent servir de base à la

certification. Elle consiste donc à démontrer l'aptitude à fournir régulièrement un produit conforme aux exigences du client et aux exigences réglementaires applicables, et cherche à accroître la satisfaction des clients par l'application efficace du système, et en particulier, mettre en œuvre un processus d'amélioration continu. Ainsi donc la norme I.S.O 9001 est appliquée mondialement pour donner l'assurance de la capacité et d'augmenter la satisfaction des clients dans les rapports clients fournisseurs.

4.4.2. Normes relatives au management environnemental

La concentration sur les normes environnementales s'intensifie lors de la période préparatoire conduisant au sommet de la terre (1992). Mais les préoccupations environnementales n'étaient pas nouvelles pour l'ISO puisque depuis 1977, les comités techniques ISO élaboraient des normes pour la qualité de l'eau et de l'air. Et c'est en 1993 que la création de ISO/TC 207 Management Environnemental qui conduisit le comité technique à élaborer sa première norme ISO 14001 systèmes de management environnemental.

La prise de conscience de l'enjeu que représente la protection de l'environnement aboutit à une démarche de référentiels qui puissent permettre aux acteurs socio-économiques d'évaluer leurs activités vis-à-vis de l'environnement, de mettre en œuvre et de démontrer leur engagement pour sa protection [37]. Toute entreprise se doit de gérer ses activités en tenant compte de la protection de l'environnement, elle se situe donc au centre d'un faisceau de pressions concernant l'impact de ses activités sur l'environnement.

Norme environnementale ISO 14001

La présente norme internationale spécifie les exigences relatives à un système de management permettant à un organisme de développer et de mettre en œuvre une politique et des objectifs qui prennent en compte les exigences légales et les informations relatives aux aspects environnementaux significatifs. Elle est censée être applicable à tous les types de tailles d'organisme et s'adapter à des situations géographiques, culturelles et sociales diverses. L'objectif global de cette norme internationale est d'équilibrer la protection de l'environnement et la prévention de la pollution avec les besoins socio-économiques.

La certification ISO 14001 consiste pour une entreprise à mettre en place un système de management environnemental conforme aux exigences de la norme ISO 14001 et solliciter d'un organisme de certification accrédité, qu'une tierce partie (auditeur) vienne vérifier que le système est bien conforme aux exigences de la norme ISO 14001.

Après audit du système de management, l'entreprise obtient un certificat de la part de l'organisme de certification garantissant que le système de management environnemental mis en place par l'entreprise est bien conforme aux exigences de la norme. Ce certificat ne peut pas être mis en valeur sur les emballages des produits, de sorte à ne pas prêter à confusion avec d'autres labels concernant la qualité écologique du produit. Il est possible de faire valoir cette certification à travers différentes formes de communications (médias, colloques etc.).

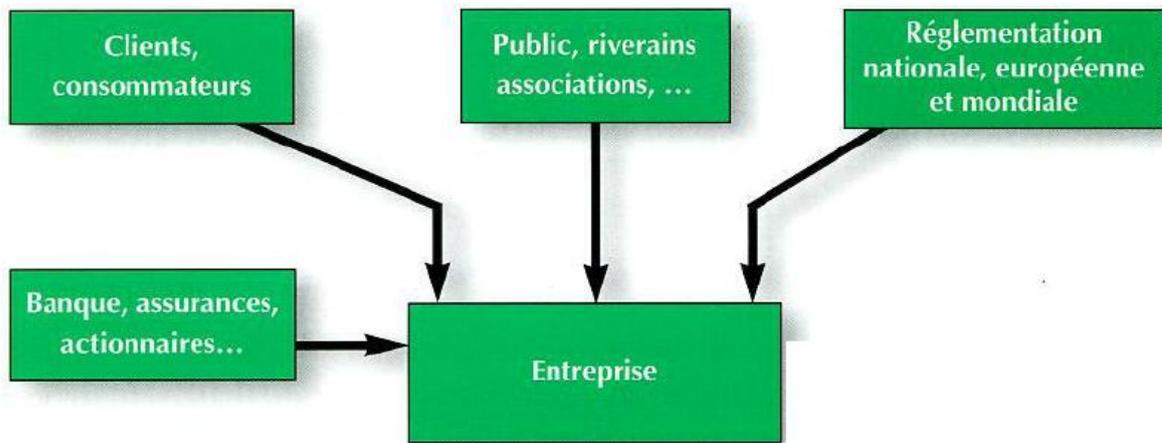


Figure 4.2 : organigramme système de management environnemental [37]

L'entreprise se situe au centre d'un faisceau de pressions concernant l'impact de ses activités sur l'environnement, pour cela, elle se doit de gérer ses activités en tenant compte de sa protection. Dans ce contexte de préoccupation les entreprises se trouvent confrontées au challenge d'avoir à trouver dans les 10 à 20 prochaines années de nouvelles stratégies fondées sur le concept de développement durable.

4.5 Développement durable

Le développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins du présent, basé sur des activités économiques qui reconnaissent le caractère fini ou vulnérable des ressources naturelles, et la nécessité de les utiliser judicieusement, sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Le développement durable est un concept aujourd'hui perçu, par les acteurs et les nations responsables, comme une nécessité même si l'ensemble des outils et des méthodes pour le mettre en œuvre est loin d'être finalisé et appliqué.

Ainsi donc, le management environnemental consiste à prendre en compte l'environnement dans la gestion de l'entreprise, ou plus encore, intégrer la protection de l'environnement dans la stratégie de l'entreprise. Bref, loin d'être un effet de mode, le développement durable cherche à concilier les trois objectifs, économique, social et protection de l'environnement.

4.6 Normes de rejet des polluants atmosphériques

Etant donné la nocivité que représentent ces polluants pour l'homme et l'environnement naturel, et les dégradations qu'ils peuvent occasionner au patrimoine. Et pour préserver la qualité de l'air ambiant de ces substances contenues dans les gaz rejetés par l'industrie du ciment, les autorités publiques ont été amenées progressivement à fixer des valeurs maximales de concentration des polluants.

Les normes d'émission deviennent de plus en plus sévères au fur et à mesure de l'avancement des connaissances sur les effets des polluants et des progrès réalisés dans les techniques de traitement des effluents gazeux. C'est ainsi que l'union européenne élabore des directives de plus en plus contraignantes, en se basant notamment sur le concept de « meilleures technologies disponibles n'entraînant pas de coûts excessifs », cette réduction ayant pour but de ne pas mettre en péril l'activité économique concernée.

La réglementation consiste généralement à fixer des valeurs limites d'émission et les méthodes de mesure qui permettent d'effectuer le contrôle. Les polluants qui font l'objet de mesures réglementaires sont constitués essentiellement par les gaz de combustion au niveau des fours, mais surtout par les émissions de poussières.

Les polluants rejetés sont :

- Le dioxyde de soufre SO₂.
- Les oxydes d'azote NO₃.
- Le monoxyde de carbone CO.
- Le dioxyde de carbone.
- Les composés organiques volatiles (COV).
- Les dioxines et les furanes.
- Les métaux et leurs composés.
- H.F.
- Les poussières

En général les limites d'émissions dans l'industrie du ciment s'appliquent aux trois principaux polluants qui sont les NOX, le SO₂ et les poussières. Certains pays ont limité les

émissions de métaux, de HCl, de composés organiques et de PCDD / F. Selon la législation actuelle dans l'union européenne, les limites d'émission dans l'industrie du ciment sont généralement en moyennes journalières ou semi-horaires (ou les deux) en régime de fonctionnement stable.

4.6.1. Normes Européennes relatives aux émissions de NO_x, SO₂, Dioxines, Furannes, HCl, HF et métaux lourds

L'union européenne applique des normes environnementales parmi les plus strictes au monde. Elles sont le fruit de décennies de travail et portent sur de nombreux domaines. Ces objectifs de protection de l'environnement peuvent également être des leviers de croissance économique, car ils stimulent l'innovation et l'esprit d'entreprise [38].

Dans le secteur de la fabrication du ciment les principaux polluants rejetés dans l'atmosphère sont réglementés par des valeurs seuils à respecter (voir tableau 4.1). Pour cela des techniques les mieux adaptées à la résolution de ces grands problèmes des émissions dans l'air sont adoptées en déterminant bien sur des meilleurs niveaux de performance dans le domaine de l'environnement sur la base des données disponibles dans l'union Européenne et dans le monde.

Tableau 4.1 : Valeurs seuils à respecter (réglementation européenne)

Substances	Teneurs en mg/Nm ³ sec 10% O ₂	
	Jusqu'au 31/12/2005	A partir du 01/01/2006
NO _x	1200	800
SO ₂	400	400
C _x H _y exprimé en COT	40	40
HCl	20	10
HF	3	1
Métaux lourds		
Hg	0,05	0,05
Cd + TI	0,05	0,05
Sb+As+Pb+Cr+Co+Ni+Cu+Mn+V+Sn	-	3
Sb+As+Pb+Cr+Co+Ni+Cu+Mn+V	-	0,5
Dioxines /Furannes (ng/Nm ³ sec 10% O ₂)	0,1	0,1

L'exploitation des résultats des mesures en continu, doit faire apparaître pour les heures d'exploitation que la valeur moyenne sur un mois ne dépasse pas les valeurs limites d'émission. Les valeurs limites : sont mesurées en mg/Nm³. (1 Nm³ correspond à 1 m³ d'air à température normale 25 C ° et pression atmosphérique 1 bar).

De façon générale, les pays en développement suivent les progrès technologiques et économiques réalisés dans les pays industrialisés avec un certain délai. De même, dans la

réglementation locale, les émissions suivent progressivement les normes des pays industrialisés [38].

4.6.2. Normes tunisiennes relatives aux émissions de NO_x et SO₂

La norme Tunisienne a pour objet de fixer les dispositions et les prescriptions relatives aux rejets gazeux des différentes installations des usines de liants hydrauliques.

La valeur limite de la concentration en oxyde de soufre exprimée en dioxyde de soufre (SO₂), des émissions gazeuses en provenance du four doit se conformer aux prescriptions suivantes : Pour les installations existantes 600 mg/Nm³ et pour les installations nouvelles ou reconstruites 400mg /Nm³. Les valeurs limites des émissions d'oxyde d'azote sont : pour les installations nouvelles ou reconstruites 1200 mg/Nm³ (four à voie sèche) et 1800 mg/Nm³ (four à voie humide). Pour les installations existantes : 1800 mg/Nm³ [39]

4.6.3. Normes algériennes relatives aux émissions de NO_x, SO₂, métaux lourds, Oxyde de carbone

Les normes environnementales algériennes concernant les émissions atmosphériques sont définies par la Loi N°03-10 du journal officiel [40], cette dernière a pour objet de réglementer l'émission de gaz et particules solides ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce le contrôle.

Tableau 4.2: Tolérance à certaines valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques [40]

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérance pour les installations anciennes
Oxyde de soufre	mg/Nm ³ -	500	750
Oxyde d'azote	-	1500	1800
Oxyde de carbone	-	150	200
Acide fluorhydrique	-	5	5
Métaux lourds	-	5	10
Fluor	-	5	10
Chlorure	-	30	50

La loi [40] définit aussi les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique à atteindre dans une période donnée, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur l'environnement.

Ainsi le seuil d'alerte indique le niveau de concentration des substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou pour l'environnement. Les substances concernées par cette loi sont les suivantes : le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre et l'ozone (voir tableau 4.3).

Tableau 4.3: Les valeurs limites ainsi que les objectifs de la qualité de l'air [40].

Paramètres	Objectifs qualité	Valeurs limites	Seuils d'information	Seuils d'alerte
Dioxyde de soufre (mg/Nm ³)	125	200	400	600
Dioxyde d'azote(mg/Nm ³)	150	350	350	600
Ozone(mg/Nm ³)	110	200	180	360

Les valeurs limites pour le dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote sont fixées sur une base moyenne horaire. Centile 98 : 175 heures de dépassement autorisées par année civile de 365 jours pour le dioxyde d'azote et centile 99,9 : 24 heures de dépassement autorisées par année civile de 365 jours pour le dioxyde de soufre. La surveillance de la qualité de l'air est confiée à l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable.

4.6.4 Normes Européennes relatives aux émissions de poussières

Les normes d'émission deviennent de plus en plus sévères au fur et à mesure de l'avancement des connaissances sur les effets des polluants et des progrès réalisés dans les techniques de traitement des effluents gazeux. C'est ainsi que l'union européenne élabore des directives de plus en plus contraignantes, en se basant notamment sur le concept de « meilleures technologies disponibles n'entraînant pas de coûts excessifs », cette réduction ayant pour but de ne pas mettre en péril l'activité économique concernée.

Ainsi la valeur seuil applicable aux cheminées des fours à clinker pour les émissions de poussières est de 30mg/Nm³. La conception et la fiabilité des filtres électrostatiques et des filtres à manches modernes permet d'abaisser les émissions de poussières à des niveaux négligeables, inférieurs à 10mg/Nm³ dans certaines installations [41]

Tableau 4.4: des valeurs limites en poussière

Installation	Valeur limite en poussière
Emissions gazeuses en provenance du four	Moyenne journalière : 30 mg/m ³ Moyenne semi-horaire : 90 mg/m ³
Emissions gazeuses non recyclées en provenance du refroidisseur à clinker	100 mg/m ³
Emissions gazeuses non recyclées en provenance des broyeurs (à cru, à clinker)	50 mg/m ³
Emissions gazeuses en provenance des autres installations	30 mg/m ³

L'exploitation des résultats des mesures en continu doit faire apparaître pour les heures d'exploitation (tableau 4.4) :

- Que la valeur moyenne sur un mois ne dépasse pas les valeurs limites d'émission.
- Que 95% des valeurs moyennes sur une journée ne dépassent pas 110% des valeurs limites d'émission.

4.6.5 Normes Tunisiennes relatives aux émissions de poussière

Tableau 4.5 : Exigences sur les caractéristiques limites des émissions gazeuses dans les installations nouvelles ou reconstruites [39].

Installations affectées	Poussières (mg/Nm ³ sec)	Opacité (%)
Fours, broyeurs et broyeurs sécheurs	50	20
Refroidisseurs à clinker	100	15
Autres	30	-

Tableau 4.6 Exigences sur les caractéristiques limites des émissions gazeuses dans les installations existantes [39].

Installations affectées	Poussières (mg/Nm ³ sec)	Opacité (%)
Fours, broyeurs et broyeurs sécheurs	150	30
Refroidisseurs à clinker	200	20
Autres	60	-

Les valeurs limites maximales des teneurs en poussière et d'opacité des émissions gazeuses telles que consignées dans le tableau 4.5 (Pour les installations nouvelles ou reconstruites) et le tableau 4.6 (pour les installations existantes) sont à ne pas dépasser. En aucun cas, la teneur en poussière des gaz émis ne doit dépasser la valeur de 1g/Nm³. En cas de dépassement de cette valeur, l'exploitant est tenu de procéder dans un délai maximum de huit heures à l'arrêt de l'installation en cause [39].

4.6.6 Normes algériennes relatives aux émissions de poussière

Les émissions des particules solides sont réglementées par la loi N° 06-138 du journal officiel. Cette dernière définit les valeurs limites des émissions ainsi que la tolérance pour les installations anciennes (voir tableau 4.7).

Tableau 4.7: Tolérance à certaines valeurs limites des paramètres de rejets atmosphériques [42]

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérance pour les installations anciennes
Poussières	mg/Nm ³ sec	30	50

Dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement, à atteindre dans une période donnée, la Loi N°06-02

définit les valeurs limites [40], les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique. Pour les particules fines en suspension : l'objectif de qualité est $50\text{mg}/\text{Nm}^3$ et la valeur limite est $80\text{mg}/\text{Nm}^3$, tandis que les seuils d'alerte sont fixés, le cas échéant, par arrêté conjoint du ministre chargé de l'environnement et du ministre concerné par l'activité engendrant le type de particule considérée.

4.6.7 Normes concernant les particules sédimentables

Les particules sédimentables possèdent un diamètre supérieur de $10\ \mu\text{m}$. Elles ne restent pas en suspension dans l'air et retombent en se sédimentant à proximité de la source émettrice. On définit les poussières sédimentables comme étant toutes les particules se déposant dans des appareils ou jauges conçus à cet effet. Elles ne sont pas définies par des caractéristiques physiques intrinsèques (diamètre, surface, densité) mais en référence à un mode de prélèvement [43].

Les poussières sédimentables ne font l'objet d'aucune réglementation française ou européenne. La Norme AFNOR NFX43-007 indique le seuil entre « la zone faiblement polluée et la zone fortement polluée » ; cette valeur est de $30\ \text{g}/\text{m}^2$ mois soit $1\ \text{g}/\text{m}^2$ jour [44]. La Norme Allemande dans l'environnement TA-Luft mentionne comme « limite dans l'air ambiant pour éviter une pollution importante » la teneur de $350\text{mg}/\text{m}^2$ jour en moyenne annuelle [44].

Techniques de prélèvement

a) Plaques métalliques

La Norme NFX43 – 007 fait appel à l'utilisation de plaquettes métalliques mince recouvertes d'enduit. Ces plaquettes sont disposées horizontalement, à $1,50\ \text{m}$ du sol, à l'air extérieur afin de récupérer un dépôt de poussières transportées par l'air (Figure 4.3)



Figure 4.3:Plaquette métallique [45]

b) Jauges Owen

La Norme Allemande TA-Luft (instruction technique pour le maintien de la qualité de l'air) fait appel à l'utilisation des jauges Owen, instrument normalisé en Grande- Bretagne (BS 1747,Part 1, 1969) et en France (NFX43006 juillet 1967). Ce sont des récipients cylindriques en polypropylène munis d'un entonnoir [45].



Figure 4.4: Jauge Owen [45]

Grace à ces jauges, on mesure, à intervalles réguliers de 28 jours, la poussière qui se dépose aux alentours des cimenteries.

c) Opacimètre

Le CPM 5003 est un outil de surveillance d'émissions particulaires avancé. Il est conçu pour fournir des résultats pendant des années de service sans panne et avec un entretien minimal. Comme illustré dans la figure 6.7 le système de CPM 5003 inclut une unité de commande de microprocesseur, un émetteur et un récepteur duels.

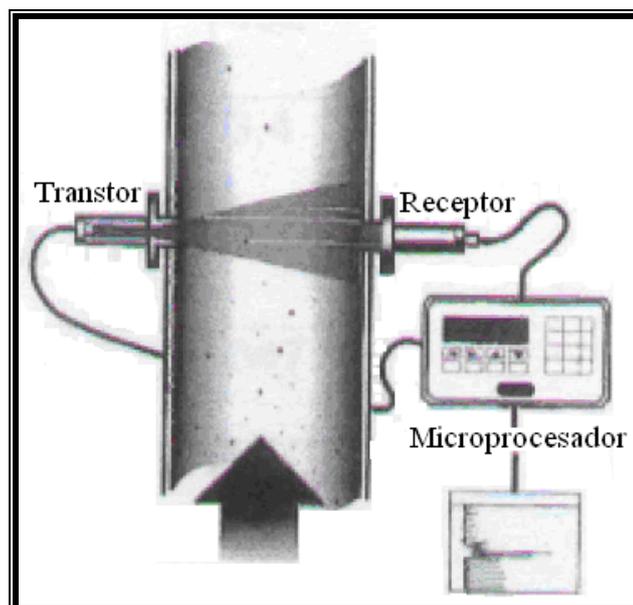


Figure 4.5: C P M 5003 (Opacimètre)[46]

Lorsque la poussière passe entre l'émetteur et le récepteur (figure 4.5) le colmatage momentané de la lumière par les particules provoque un signal et le convertit en concentration de poussière avec le microprocesseur, par conséquent la modulation du signal est proportionnelle à la concentration en poussière. Avec sa technologie unique de fonctionner sans interruption il permet de préserver l'environnement local de façon fiable. Ces appareils mesurent en continu les poussières totales aux points de surveillances, ils sont exactement conformes aux exigences réglementaires des Etats – Unis et de l'Europe [46]. Ils permettent un entretien préventif, car en cas de problèmes d'émissions le CPM déclenche l'alerte.

4.7 Management du risque carbone

La prise de conscience des enjeux s'attachant au développement durable, et notamment des risques sur le changement climatique, conduit à des restrictions inévitables sur les émissions de gaz à effet de serre (GES). Les entreprises doivent désormais adopter une démarche globale de développement durable. En effet, elles sont maintenant appelées à tenir compte « accountability » et à rendre compte « transparency » des conséquences environnementales de leurs activités économiques.

Pour mener à bien la réalisation de ces objectifs de réduction des émissions, le protocole de Kyoto inclut la possibilité pour les pays de l'annexe 1 de recourir à des mécanismes de subsidiarité en complément à leurs « politiques et mesures » nationales de réduction de leurs émissions. Ces mécanismes, dits « de flexibilité », permettent aux pays de répartir l'effort total de réduction des émissions pour abaisser le cout global des contraintes de réduction et favorisent donc la coopération internationale des pays en les autorisant à échanger des quotas ou crédits d'émission [47].

Pour ce faire, de nombreuses initiatives de contrôle des émissions sont apparues, notamment sous la forme d'un inventaire des émissions de GES. La comptabilisation de ces émissions apparaît alors comme un moyen pour les entreprises d'évaluer leur exposition au risque carbone permettant une orientation de leur communication relative à la veille écologique.

Cette nouvelle forme de réglementation environnementale, notamment au niveau du marché européen sur les émissions de dioxyde de carbone, conduit désormais les entreprises à intégrer la contrainte sur leurs émissions polluantes. L'échange de ces crédits de réduction sur les émissions de carbone devrait ainsi permettre une diminution progressive de l'exposition des entreprises au risque carbone.

4.8 Données de sécurité des ciments courants

Les ciments courants sont largement utilisés dans le secteur du bâtiment. Les risques engendrés par leur manipulation sont connus et reconnus depuis longtemps. Et bien que les chiffres soient en régression très nette au cours des quarante dernières années, le ciment représente la première cause de dermatite de contact chez les employés de la construction. Aussi pour parer à ces risques les cimentiers doivent présenter une fiche de données de sécurité des ciments courants visée par la norme NF EN 197-[48].

Cette fiche fait le point en rappelant les caractéristiques des ciments, les moyens pour protéger l'homme et la démarche de prévention à mettre en œuvre : fabrication, propriétés des ciments courants (préparation des matériaux, cuisson du cru, broyage du clinker). En effet cette fiche de données présente l'identification du produit et de la société ainsi que l'identification des dangers pour l'homme et l'environnement.

Le ciment n'est pas classé comme « préparation dangereuse » selon les dispositions de l'annexe de la directive 67/548/CEE [49], mais il engendre des risques pour l'homme (atteintes cutanées, atteintes oculaires, autres pathologies) et l'environnement (dispersions accidentelle du ciment), donc la fiche décrit les procédures de protection de ces risques ainsi que les caractéristiques des équipements de protection comme :

- Protection individuelle : protection respiratoire par l'utilisation des masques, protection des yeux en portant des lunettes en cas de risque d'envolée.
- Protection de l'environnement : éviter de déverser du ciment en quantité importante dans les égouts et dans les eaux de surfaces, privilégier le ramassage du ciment par un moyen approprié pour éviter les envolées.

4.9. Conclusion

La norme, spécification technique fondée sur les résultats conjugués de la science, de la technologie ou de l'expérience, grâce à elle les exigences de la qualité du produit et la protection de l'environnement sont respectées.

Les cimenteries, comme toutes entreprises de production, pour atteindre un niveau performant en qualité et environnement, doivent répondre aux exigences des normes élaborées par les comités techniques de la plus grande Organisation Internationale de la Normalisation (ISO) fondée en 1947. Deux des normes ISO ont accédé à un statut véritablement mondial et sont aujourd'hui entièrement intégrées à l'économie mondiale.

- ISO 9001 – relative au management qualité est appliquée mondialement pour donner l'assurance de la capacité et pour augmenter la satisfaction des clients.
- ISO 14001 – relative au management environnemental dont l'objectif global est d'équilibrer la protection de l'environnement et la prévention de la pollution avec les besoins socio-économiques. Elle favorise aussi l'apprentissage vers de nouvelles pratiques de gestion en accord avec un développement durable de l'entreprise.

La fabrication du ciment s'accompagne toujours d'une normalisation qui a pour but de définir et d'identifier les produits. Chaque ciment bénéficie d'un marquage qui atteste sa conformité à la norme.

Les rejets polluants atmosphériques constitués essentiellement par les gaz de combustion au niveau des fours, mais surtout par les émissions de poussière, font l'objet de mesures réglementaires fixées par l'Union Européenne. Ces valeurs limites d'émissions sont adoptées par les pays en développement (Normes tunisiennes, Normes algériennes). Tandis que les normes AFNOR NFX43-007 et TA-Luft indiquent un seuil de référence pour les zones faiblement et fortement polluées par les poussières sédimentables

Les risques sur le changement climatique, conduisent à des restrictions inévitables sur les émissions de gaz à effet de serre (GES), mais seul le CO₂ fait l'objet de quotas d'émission en Europe, ce qui permettra une diminution progressive de l'exposition des entreprises au risque du carbone.

La fiche de données de sécurité des ciments courants indique aux utilisateurs l'identification du produit et les procédures décrivant les mesures à prendre pour la protection de l'homme et l'environnement des risques engendrés par la manipulation du ciment.

5.1. Introduction

Les conséquences du programme de relance économique et des grands travaux initiés (autoroute Est-Ouest, voie ferrée rapide, nouveaux ports, barrages, réalisation d'un million de logements avec structures d'accompagnement), font que les besoins en ciment augmentent de plus en plus en Algérie, et sa production s'est imposée comme industrie de base. Pour répondre à ces besoins l'Etat a consenti de très importants investissements pour le développement de la filière de production du ciment. Cette industrie est aussi une activité d'intégration économique et de valorisation de la matière algérienne, en effet l'ensemble des matières essentielles (calcaire, argile, électricité et gaz) est extrait ou produit localement.

Compte tenu de l'importance des gisements de matière première localement disponibles, il a été lancé le programme de construction de la cimenterie de CHLEF. Sa réalisation a été confiée à la firme japonaise (KAWASAKI) en collaboration avec la société belge (ACEC). La mise en chantier a démarré en 1975, et l'entrée en phase de production, avec une seule ligne, a eu lieu en 1978 (d'une capacité de production de 1.000.000 de tonnes /an) c'est à cette date que la deuxième ligne de même capacité a démarré et ce n'est qu'en 1980 que cette dernière est entrée en phase de production.

En 2004 dans le cadre d'un programme de modernisation, la cimenterie de CHLEF s'est dotée d'une salle de contrôle à la pointe de la technologie avec des scanners de surveillance, des analyseurs de gaz, elle a également modernisé le laboratoire en le dotant d'équipements nouveaux plus performants et pour chaque ligne de cuisson elle a procédé à la rénovation de la tour de pré-chauffe en changeant les cyclones existants par des cyclones de capacité plus importante ainsi qu'à l'installation d'un calcinateur.

Et en 2009, pour augmenter les capacités de broyage du ciment pour avoisiner jusqu'à 2.400.000 tonnes et faire enfin face aux fortes demandes de ciment, l'E.C.D.E a mis en exploitation un nouveau broyeur à ciment d'une capacité de broyage de 100 tonnes/ heure. La cimenterie de CHLEF, de par sa gestion de la production est une référence pour les autres cimenteries installées sur le territoire national [50].

Dans le but de cerner les caractéristiques et les perspectives de l'industrie cimentière Algérienne nous avons mené une étude in situ sur la fabrication du ciment au niveau de l'entreprise des ciments et dérivés de Chlef (E.C.D.E.). L'objectif de ce chapitre est de procéder à une analyse comparative du processus de fabrication de la cimenterie de l'E.C.D.E et les autres processus utilisés dans le monde. Cette comparaison portera essentiellement sur

le procédé de fabrication du ciment, le respect de la qualité du produit, ainsi que les mesures prises dans le cadre du respect de l'environnement.

5.2. Identification de l'E.C.D.E

C'est une mono unité dotée d'une capacité productive de 2.000.000 de tonnes par an. Son activité principale est la production et la commercialisation du ciment composé CPJ CEM II/A 42,5.

5.2.1 Installation

L'Entreprise des Ciments et Dérivés de CHLEF (E.C.D.E.) est une entreprise publique créée par Décret N°82/325 du 30/10/1982 à la suite de la restructuration de la Société Nationale des Matériaux de Construction (S.N.M.C.). Elle est devenue une entreprise publique économique (E.P.E.) par acte notarié du 09/10/1989, elle est la propriété exclusive de la société de gestion des participations « Groupement Industrie du Ciment d'Algérie »SGP GICA, une société mère qui compte trois autres entreprises ; l'Entreprise régionale de ciment du centre E.R.C.C., celle de l'ouest E.R.C.O et de l'est E.R.C.E.

5.2.2 Ateliers de production

L'unité de production se compose de deux lignes de production d'une capacité nominale unitaire de 1.000.000 de tonnes de ciment par an et dont les principaux ateliers sont :

- Le parc de pré homogénéisation de 1.000.000 tonnes.
- Deux ateliers de broyages du cru de 320 t/h chacun.
- Deux ateliers de cuisson de 3600 t/j de clinker chacun.
- Un stockage de clinker composé d'un hall couvert de 40.000 t.
- Huit silos de clinker d'une capacité totale de 48.000 t.

Le broyage du ciment est réalisé par trois broyeurs de ciment à boulet d'une capacité globale de 350 t/h et un broyeur BK 4 d'une capacité de 100 t/h, enfin un stockage du produit fini de 60.000 tonnes réparties en 10 silos.

5.2.3 Production

Selon les prévisions de l'entreprise la cimenterie doit produire annuellement : clinker 2.104.589 tonnes et ciment 2.440.509 tonnes. D'après le rapport argile/calcaire correspondant à 13% (déterminé par le laboratoire) il faut 1,494 tonne de mélange pour fabriquer une tonne

de clinker soit 1,32 tonne de calcaire et 0,17 d'argile donc la carrière doit fournir annuellement environ 2.800.000 de tonnes de calcaire et 360.000 tonnes d'argile pour satisfaire les besoins en matières premières pour la fabrication du ciment.

5.2.4 Gisements de matières premières

Pour sa production de matières premières l'usine de ciment exploite les gisements suivants (voir plan de situation):

-Le gisement de calcaire pur est situé à 3 km de l'usine, avec des réserves estimées à 173.000.000 tonnes correspondant à 70 ans d'exploitation à pleine capacité. Des possibilités d'extension sont possible pour une autonomie pouvant dépasser 100 ans [51].

-Le gisement d'argile situé à 6 km de l'usine, présente une capacité de 32.000.000 tonnes pouvant assurer ainsi à l'entreprise une exploitation durant 90 ans environ.

-Le gisement de sable situé à une dizaine de kilomètre de l'usine. Il offre une capacité de 500.000 tonnes soit une durée d'exploitation de 5 ans. Toutefois l'entreprise a procédé à une acquisition d'une extension de la carrière d'une superficie de plus de 7 hectares assurant une exploitation sur 8 ans.

-Le gisement de gypse est situé à 35 km de l'usine et offre des réserves estimées à 6.000.000 tonnes soit plus de 80 ans d'exploitation.

L'ECDE procède elle-même à l'extraction des gisements de calcaire et de gypse, la livraison de ce dernier est assurée par la sous traitance tandis que pour le sable et l'argile l'extraction et la livraison à l'usine sont assuré par la sous traitance. La cimenterie est approvisionnée par route ou chemin de fer. L'approvisionnement du minerai de fer et de la pouzzolane est assuré par des sociétés.

5.2.5 Certification qualité

Dés l'année 2002, l'E.C.D.E a entrepris une démarche pour un système de management de la qualité selon la norme internationale ISO 9001 Version 2000. En plus de la conformité des produits aux normes en vigueur et celle des activités aux procédures, l'ISO 9001 version 2000 impose en plus l'analyse des attentes et la mesure de la satisfaction des clients. Elle implique également la maîtrise et l'amélioration permanente des processus qui concourent à leur satisfaction.

La recherche de la qualité, se traduit dans l'ensemble des procédures que s'impose l'E.C.D.E, de la fabrication du ciment jusqu'à l'expédition et la commercialisation. En Mai 2003, suite à l'évolution de la politique qualité, l'E.C.D.E est certifiée selon les référentiels

I.S.O 9001 version 2000 par un organisme indépendant l'AFAQ-ASCERT International France, la certification a été délivrée pour une durée de trois ans. Elle a été certifiée en 2006 ensuite en 2009, elle subit chaque année des Audits de suivi version 2000, mais à partir de 2010, l'Audit suivi a été effectué selon I.S.O 9001 version 2008.

Cette dernière impose le suivi des exigences légales et réglementaires, plus exactement le suivi et le control des sous-traitants.

5.2.6. Situation Géographique de la Cimenterie :

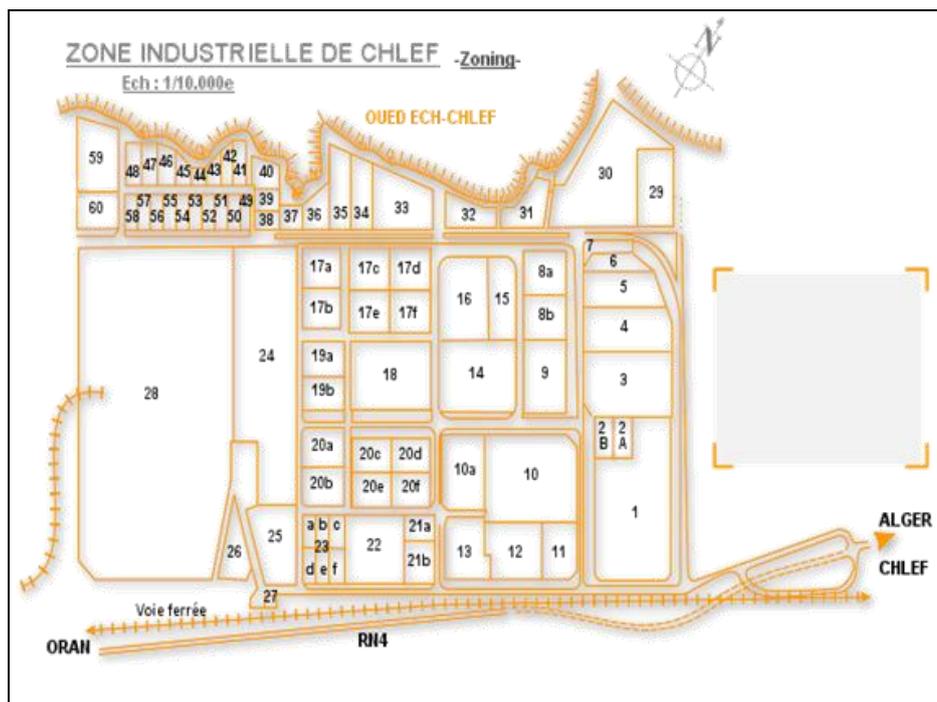


Figure 5.1: Plan de la zone industrielle, 28 Cimenterie (source E.C.D.E)

Implantée sur une superficie de 40 hectares, la cimenterie de l'E.C.D.E. est située dans la zone industrielle de OUED-SLY à 8 kms à l'ouest de la ville de CHLEF, à 40 kms du port de Ténès, à 10 kms de l'aéroport de CHLEF et elle est mitoyenne de la RN 4 et de l'autoroute Est-Ouest.

5.3. Procédé de fabrication

Cette entreprise est destinée à produire du ciment portland composé (C.P.J) et du ciment Portland artificiel CEM I 42.5 (sur commande).

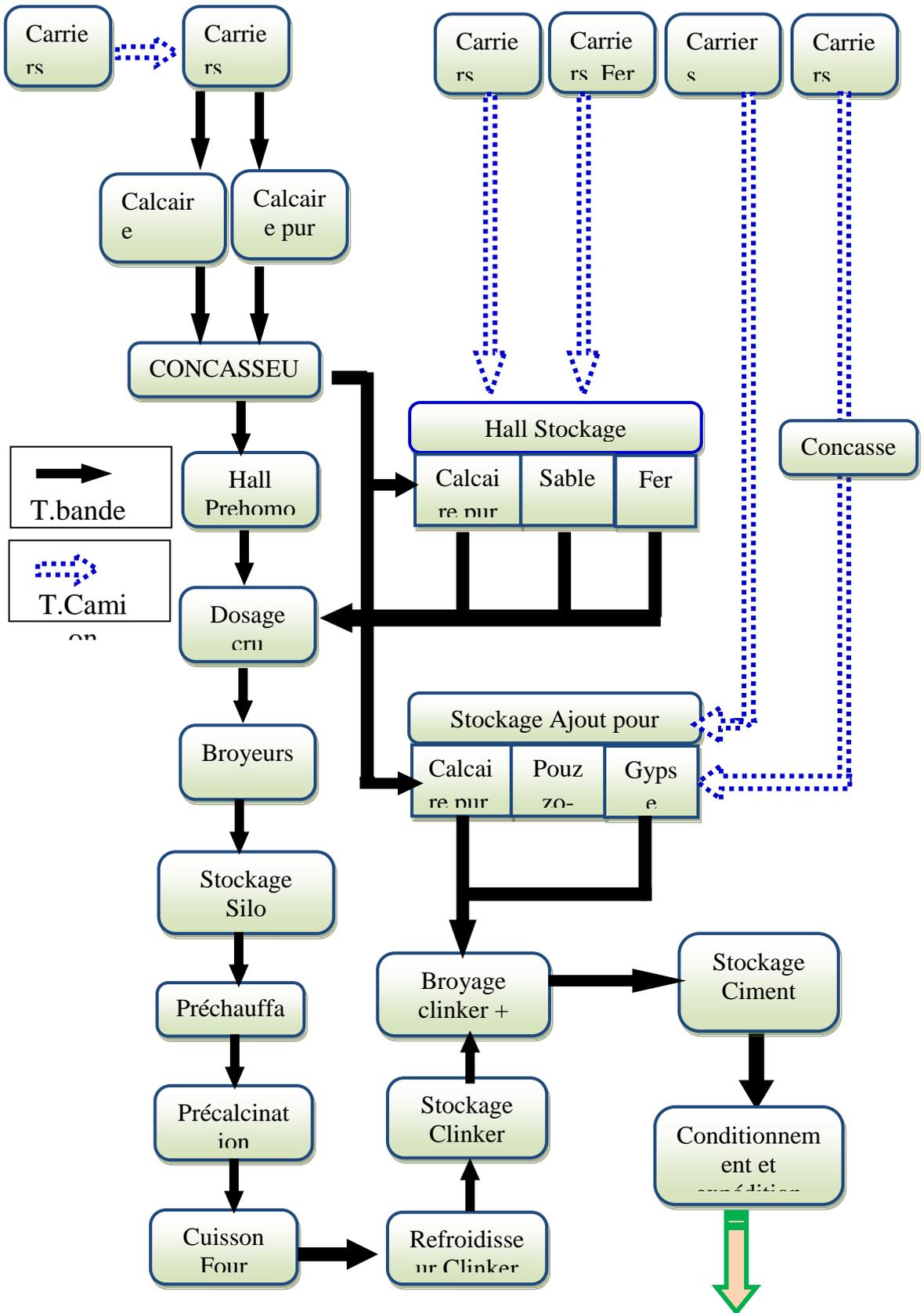


Figure 5.2 Schéma de procédé

Le ciment C.P.J. CEM II/A 42,5 est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts; sa composition est de 80 à 94% de clinker et de 06 à 20% d'ajouts. Le processus de fabrication suivi est la voie sèche, processus décrit d'une manière générale au chapitre I de l'étude bibliographique. Chaque procédé de fabrication est un cas particulier et produit un clinker unique, en effet il n'y a pas de formule idéale ou de formule universelle pour le clinker, la composition du ciment portland varie d'une cimenterie à l'autre, principalement à cause des spécifications locales du ciment et de la composition chimique et minéralogique des matières premières de l'usine. Notre étude sur site du processus de fabrication par voie sèche de l'E.C.D.E. va nous permettre de démontrer et de vérifier cette affirmation.

5.3.1. Extraction de la matière première

Les matières premières utilisées pour la fabrication du ciment sont le calcaire environ 80% et l'argile 20%, le sable, le calcaire pur et le fer rentrent dans la composition du cru comme apports additifs de silice et d'oxyde de fer exigée par le procédé de fabrication. Tandis que le gypse, la pouzzolane et le calcaire pur sont introduits lors du broyage du clinker comme ajouts afin d'assurer une qualité à la production selon les orientations du laboratoire de la cimenterie.

a) Calcaire:

Etant la principale matière par excellence, le calcaire provient d'un gisement pratiquement homogène du point de vue chimique plus de 53% de CaO et un taux très négligeable d'impuretés (éléments nuisibles). Il se présente sous trois couleurs différentes : le calcaire jaune, calcaire gris et le calcaire rose, la composition chimique de chacun est donnée dans le tableau ci-dessous



Figure 5.3 : carrière de l'E.C.D.E

Tableau 5.1 : Composition chimique du Calcaire [52]

Désignations	SiO ₂	Al ₂ O	Fe ₂ O	CaO	Mgo	SO ₃	K ₂ O	Na ₂	PAF	CL
Calcaire jaune	1,20	0,23	0,78	53,91	0,03	0,02	0,03	0,86	42,86	0,009
Calcaire gris	2,36	0,81	0,68	53,24	0,35	0,17	0,07	0,18	41,99	0,004
Calcaire rose	0,76	0,23	0,51	54,87	0,20	0,03	0,01	0,24	43,06	0,004

Les matériaux calcaires doivent contenir une quantité maximum de carbonate de calcium qui est fonction du cru à fabriquer, la pureté du calcaire est caractérisée par sa teneur en carbonate de calcium (CaCO₃) généralement appelé titre en carbonate, classifié comme suit :

- Supérieur à 95% CaCO₃ : calcaire à haute teneur
- Supérieur à 85% CaCO₃ : calcaire
- Supérieur à 60%CaCO₃ : marne

Tableau 5.2 : Teneur en carbonate de calcium carrière E.C.D.E [52]

Désignations	% Caco ₃	Observations
Calcaire Jaune	95,95	Calcaire Pur
Calcaire Gris	94,76	Calcaire Pur
Calcaire Rose	97,66	Calcaire Pur

Selon les caractères physico-chimiques des roches, l'extraction du calcaire s'effectue soit par :

- Tir à l'explosif

L'emploi des explosifs se limite à l'ébranlement du massif et la dislocation de la roche (provoquant un dégagement important de poussières).

- Pelle électrique excavatrice P.H.

La carrière dispose de deux pelles P.H. d'une capacité de 100 t/heure chacune et alimentées par une tension de 5,5 KV.



Figure 5.4 : Extraction du calcaire par pelle électrique excavatrice P.H

Pour définir la composition chimique du calcaire, le laboratoire de la cimenterie procède une fois par mois à des prélèvements d'échantillons avec lesquels l'étude du gisement confirme à chaque fois l'homogénéité de la roche, sa forte teneur en carbonate de calcium et une teneur en élément nuisible négligeable, ce qui fait de lui un calcaire de très bonne qualité.

b) Argile

C'est une roche sédimentaire composée de silicates et d'aluminium (voir Tableau 5.3). Son extraction est obtenue par ripage à l'aide de bulldozers, elle est ensuite transportée par camions jusqu'à la carrière pour être stockée par milliers de tonnes autour de la trémie argile. La quantité d'argile composant le mélange avec le calcaire est déterminée par le laboratoire

Tableau 5.3 Composition chimique de l'argile [52]

Désignations	SiO ₂	Al ₂ O	Fe ₂ O	CaO	Mgo	SO ₃	K ₂ O	Na ₂	PAF	CL
Argile	59,33	18,1	7,5	1,38	1,38	0,05	2,75	1,18	6,42	0,002

c) Sable

Le sable utilisé dont la teneur en silice (SiO₂) est de 90%, est ajouté à la composition du cru de 2,5% à 4% comme additif de correction exigé par le processus de fabrication. Son transport est assuré par camions jusqu'à la trémie de réception à l'usine ou il sera stocké dans le hall des additifs pour cru.

d) Gypse

Le gypse entre en petite quantité dans la composition du ciment entre 3 à 5% pour réguler la prise. C'est un gypse de très bonne qualité, parce qu'il garde ses caractéristiques jusqu'à 170°C de broyage, bien que l'E.C.D.E fixe la norme à 140°C. En effet théoriquement à une température supérieure à 134°C le gypse perd ses qualités de retardateur de prise et devient un accélérateur de prise (plâtre), ce n'est pas le cas du gypse utilisé par l'E.C.D.E.

Le transport est assuré par camions jusqu'à l'usine ou il sera concassé avant d'alimenter la trémie d'ajouts. Mais il est important de signaler que le concassage provoque beaucoup de bruit et un dégagement important de poussière. C'est pour cela qu'il est recommandé, pour éviter ces deux nuisances, que cette opération soit réalisée au niveau de la carrière.

5.3.2 Préparation du cru

Les opérations de préparation des matières premières sont suivies avec grand soin par le laboratoire (le chimiste) qui étudie les possibilités pour obtenir le clinker désiré. En effet le mélange argile+calcaire, première étape de la préparation du cru sont acheminés par alimentateurs à tablier métallique articulé (installés sous les trémies réceptrices) actionnés par moteur à courant continu (vitesse variable), le réglage des vitesses des tabliers est ajusté par un logiciel conçu pour cela suivant le rapport argile/calcaire déterminé par analyse des matériaux par le laboratoire.

Le mélange subit ensuite deux opérations de concassage, un concassage primaire qui permet de réduire la granulométrie de 1000 mm à l'entrée jusqu'à 100 mm à la sortie et un second concassage qui permet de réduire la granulométrie jusqu'à 30 mm. Le mélange une fois concassé est transporté vers l'usine par transporteur à courroie sur une grande distance (environ 3 km) et de 1.4 m de largeur qui circule à une vitesse de 4 m/s, le débit maximum est de l'ordre de 1500 t/h. Parallèlement, il y a l'arrivée du calcaire pur utilisé comme additif ou ajout au cru.

a) Arrivée du mélange calcaire argile

A son arrivée à l'usine la matière première est recueillie dans une trémie de 50 tonnes à deux voies. Le choix est assuré par des clapets pour écouler la matière par des transporteurs à courroie ou bien vers les aires de stockage pour mélange (calcaire + argile) ou vers les silos pour ajouts (calcaire pur) voir figure 5.6.



Figure 5.5: Trémie de réception(mélange)

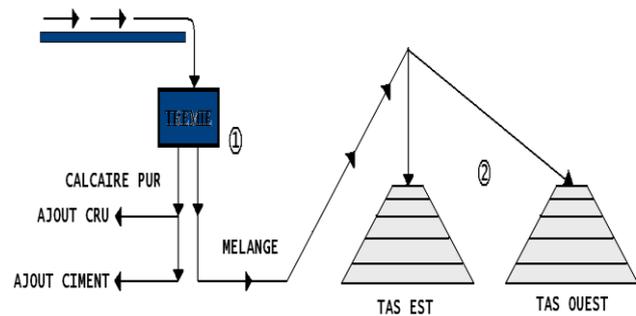


Figure 5.6: Arrivée du mélange calcaire argile

b) Pré homogénéisation

Le mélange (calcaire+argile) est stocké dans un hall de pré homogénéisation ayant une capacité de 100.000 tonnes. La matière première est stockée automatiquement à l'aide d'un strackeur par couches horizontales, en deux tas de 50.000 tonnes chacun, afin d'assurer une sécurité de marche et une indépendance relative par rapport à la carrière. L'extraction de la matière ainsi stockée se fait verticalement à l'aide d'un appareil appelé « pont récupérateur ». La reprise sera de sorte que lors d'une passe on aura un produit mélangé ou toutes les couches stockées entrent dans la composition. La quantité extraite de l'aire de stockage est envoyé par un transporteur à courroie à la trémie mélange d'une capacité de 100 tonnes après que le laboratoire ait procédé au calcul matriciel du cru pour déterminer les proportions des additifs pour des éventuelles corrections.

c) Stockage des additifs de correction

Le minerai de fer, le calcaire pur et le sable sont entreposés dans un hall de stockage d'une capacité respective de 4000 tonnes pour le minerai de fer, de 4000 tonnes pour le calcaire pur et de 2000 tonnes pour le sable. L'extraction des produits additifs se fait par un gratteur latéral, la matière déversé sur un transporteur à bande est acheminée vers les silos de corrections ou silos additifs d'une capacité de 1000 tonnes chacun (calcaire, fer, sable) munis de doseurs automatiques respectant les exigences du laboratoire.

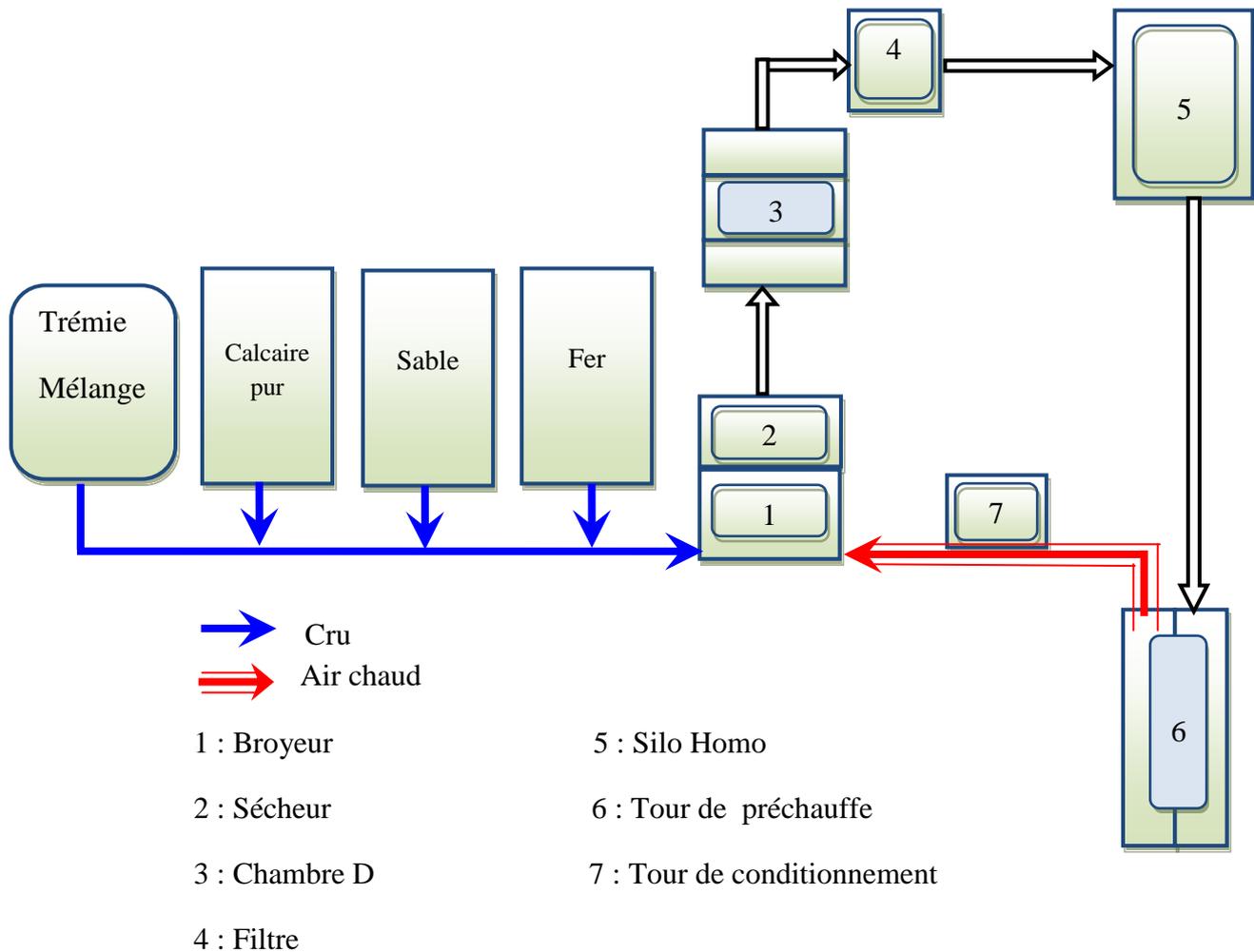


Figure 5.7 : Etapes de la préparation du cru

Les exigences du laboratoire c'est d'avoir une bonne composition du cru, une bonne cuisson afin d'obtenir un bon clinker et un ciment de qualité. Pour atteindre ces objectifs la proportion des principaux constituants du cru se calcule sous la forme de paramètres ou modules. Pour l'E.C.D.E ces paramètres sont compris entre : (Module Hydraulique) $L.S.F = 92 - 96$, (Module Sicilique) $S.M = 2,30 - 2,60$, (Module alumino ferrique) $I.M = 1,30 - 1,60$. Si l'un des modules est en dehors de la fourchette, on détermine les besoins en additifs à partir de la composition chimique du cru en question (tableau illustre une des compositions chimiques de l'E.C.D.E.). Les additifs utilisés sont : le sable 2,5 à 4%, le Calcaire pur 0 à 12% et le Fer 0 à 1% (rarement utilisé).

Tableau 5.4: Composition chimique du cru [52].

Refus granulométrique	PAF %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fo ₂ O ₃ %	CaO %	Mgo
15 - 16	35,26	14,43	3,64	2,38	43,10	0,65

A partir de la composition chimique du cru, nous pouvons déterminer approximativement les quantités des matières premières nécessaires pour produire une tonne de clinker. La perte au feu étant 35 % du cru (voir Tableau 5.4), donc si la quantité du cru est de 100 tonnes, la perte au feu est de 35 tonnes et la quantité de clinker est de 65 tonnes. Donc pour produire une tonne de clinker, il faut 1,54 tonne de cru (mélange + additif de correction).

Le calcul des quantités des matières premières composant le cru (calcaire+ argile + additif) sera comme suit :

Nous allons prendre le cas le plus fréquemment déterminé par le labo de la cimenterie et qui dicte 3% d'un seul additif (sable) et un rapport de 13% (argile / calcaire). La quantité du cru est = quantité de calcaire + quantité d'argile + quantité de sable. La quantité de sable représente 3% de 1,54 tonne de cru c'est-à-dire 0,046 tonne, donc la quantité du mélange (argile + calcaire) est 1,494 tonnes.

Pour déterminer la quantité du calcaire et la quantité d'argile, le calcul sera comme suit :

$$\text{Rapport argile / calcaire} = 13\% \quad (1)$$

$$\text{Argile} + \text{calcaire} = 100 \text{ tonnes} \quad (2)$$

Avec les deux équations (1) et (2), nous déduisons que 100 tonnes de mélange sont composées par 88,50 tonnes de calcaire et 11,50 tonnes d'argile, donc pour 1,494 tonne de mélange il faut la quantité de 1,32 tonnes de calcaire et la quantité de 0,17 tonne d'argile. Ainsi donc pour fabriquer une tonne de clinker, il faut 1,54 tonne de cru composé par 1,32 tonne de calcaire, 0,17 tonne d'argile et 0,046 tonne de sable.

d) Broyage et séchage

La conformité de la composition du cru exigée par le processus étant obtenue, le produit est acheminé vers l'atelier de broyage composé des équipements suivants : pour chaque ligne un broyeur vertical (broyeur à galets) de capacité 320 T/h, la puissance du broyeur est de 1800 KW équipé de 4 galets et une piste de broyage (broyeur LOESHE). Le broyage s'effectue par écrasement et friction entre la table rotative et les meules tournantes à poste fixe. Le séchage est obtenu par échange thermique engendré par les gaz chauds provenant de la tour de préchauffage (voir figure 5.4) un échange thermique s'effectue entre les gaz chauds et la matière première ce qui facilite mécaniquement le procédé de broyage.

e) Séparateur

Il est monté directement sur le corps supérieur du broyeur. La farine bien broyée à la finesse requise subit une séparation grâce à un séparateur centrifuge, les grains, dépassant la granulométrie souhaitée pour laquelle la vitesse a été réglée, sont refusés par force centrifuge et retournent sur la table pour être broyée à nouveau (circuit fermé). Les autres grains les plus fins avec les gaz quittent la conduite de sortie du séparateur vers la chambre de détente aspirés par un ventilateur.

f) Chambre de détente

Le grain, provenant du broyage, débouche sur une grande chambre composée de six cyclones dans laquelle la vitesse du gaz baisse brusquement de sorte qu'elle ne réussit plus à emporter les grosses particules (environ 80%) qui chutent au fond tandis que les fines particules (20%) continuent à être emportées vers les électrofiltres qui sont placés après la chambre de détente et servent au dépoussiérage. La chambre de détente ne réalise ainsi qu'une séparation grossière. La matière crue recueillie dans la chambre de détente et au niveau des filtres de dépoussiérage est récupérée par des vis sans fin et acheminée vers les silos d'homogénéisation.

g) Homogénéisation

Chaque ligne de fabrication est équipée de deux silos d'homogénéisation de la matière crue (farine) dont la capacité de chacun est de 6000 tonnes. La matière est dirigée vers les silos par des aéroglisseurs remplissant à tour de rôle les silos. La matière subit une fluidisation ininterrompue par un système de circulation d'air, ce qui lui offre une bonne stabilité et homogénéisation de point de vue composition chimique et de finesse et ce avant son introduction dans la tour de préchauffage assurant ainsi une aptitude à la cuisson parfaite.

5.3.3 Zone de cuisson

La cuisson revêt une importance particulière dans la fabrication du ciment, en effet, c'est au cours de la cuisson que s'effectue la transformation de la farine crue en clinker. Et aussi, elle détermine en grande partie les qualités du produit fini. La zone cuisson comporte quatre étapes : le préchauffage du cru, la calcination, la clinkérisation et le refroidissement du clinker (voir figure 5.8).

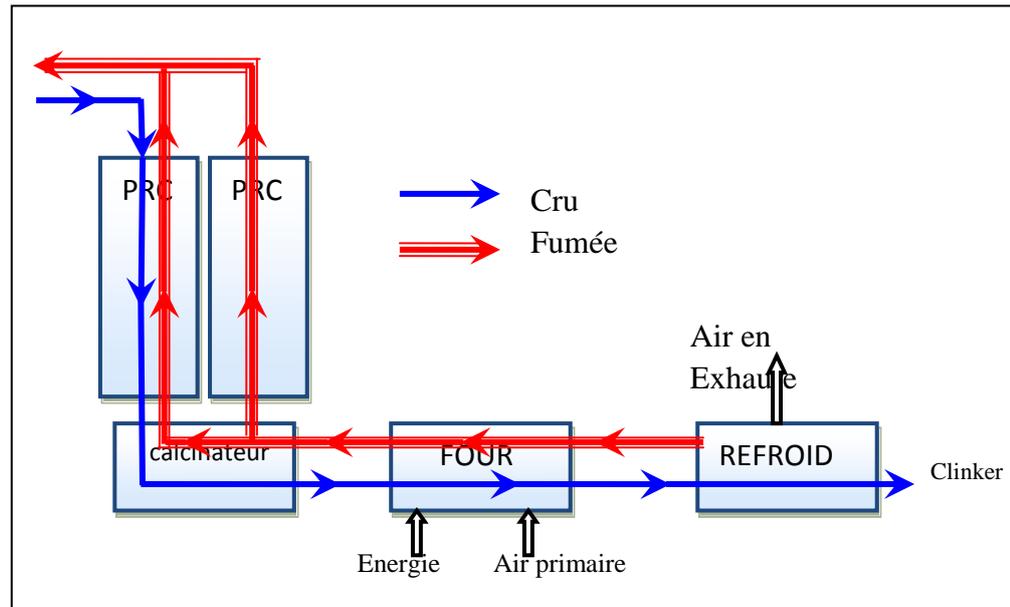


Figure 5.8 : Zone cuisson

a) Tour de préchauffage

Chaque tour est constituée par un ensemble de cyclones monté en série de quatre étages, chaque étage comporte deux cyclones identiques (partie Sud et partie Nord) comme illustrée sur la figure 5.9. La farine est introduite par un élévateur pneumatique dans les cyclones supérieurs où elle subira le processus de déshydratation et le début de la décarbonatation.



Figure 5.9 : Tour de préchauffage (ligne 1)

La farine homogénéisée descend par gravité dans la tour de préchauffage où l'échange thermique se produit par un brassage violent de la matière entrante à contre-courant par des gaz chauds sortant du four (contact farine 35°C avec gaz chaud 350°C). 94% de la matière

préchauffée est introduite dans le calcinateur, les 6% restants sont acheminés directement dans le four, ce qui permettra au processus de réaliser un gain d'énergie et de production vu que le four rotatif a maintenu sa longueur initiale c'est-à-dire 100 m alors qu'avec l'installation du calcinateur elle devrait être réduite de 20 m environ.

b) Calcinateur

Le type de calcinateur installé à la cimenterie est le calcinateur F.L.Smidth. Il se présente sous la forme d'un cylindre avec des surfaces de base en forme conique. C'est un dispositif muni de deux flammes, et alimenté par le bas par les gaz chaud provenant du four. La température atteint environ 880°C ou bien plus. D'où la chaleur atteinte représente 46% de la chaleur nécessaire pour la clinkérisation de la matière. La calcination qui est une étape très importante pour la matière constituée de carbonate de calcium et d'autres constituants, s'effectue dans le calcinateur. Entre 750°C et 1000°C, le carbonate de calcium (CaCO_3) change d'état et se décompose en CaO et CO_2 . Le CaO se combine ultérieurement (dans le four) aux autres composants de la farine crue pour former le clinker, alors que le CO_2 est entraîné dans les courants gazeux pour être libéré dans l'atmosphère.

Il est à mentionner que l'installation du calcinateur dans le processus de fabrication du ciment a permis d'améliorer les performances de l'entreprise E.C.D.E aussi bien sur le plan énergétique que sur le plan productivité comme il est illustré dans le tableau 5.5.

Tableau 5.5 Analyse comparative du procédé avant et après l'installation du calcinateur

Paramètres de comparaison	Avant installation du calcinateur	Après installation du calcinateur
Consommation du G.N. du brûleur principal	15000 Nm ³ /h	11500 Nm ³ /h
Taux de calcination	45%	80%
Capacité de production du clinker	215 tonnes/h	270 tonnes/h

En effet la production de clinker dans chaque four ne dépassait guère les 215 tonnes/h, après son installation la production atteint des quantités de 270 tonnes/h. Aussi, le four consommait beaucoup d'énergie pour atteindre la température de 1500°C, il fallait un débit de gaz de combustion de 15000Nm³/h, l'installation du calcinateur en amont du four a permis de réduire le débit du gaz de combustion de 3500Nm³/h.

c) Four rotatif

Cet organe, intermédiaire entre le calcinateur et le refroidisseur, représente l'équipement le plus important de la cimenterie. Grâce à un brûleur à gaz naturel, il permet de porter la matière à haute température (1400°C à 1500°C) et de la rendre liquide. La chauffe se fait à l'extrémité inférieure en aval, au moyen d'un brûleur à travers lequel on injecte le combustible. La légère inclinaison du four et sa lente rotation (de 2 à 3 tour/mn) permettent à la matière de s'acheminer vers l'aval, tout en se transformant en clinker, tandis que les gaz chauds empruntent le chemin inverse, remontant vers l'amont du four.

Les caractéristiques du four rotatif sont les suivantes :

- Longueur totale..... 100 mètres.
- Diamètre 5,5 mètres.
- Vitesse de rotation..... 2 à 3 tours par minute.
- Nombre d'appuis..... 4 (contact galets bandage).



Figure 5.10 : Four rotatif de l'E.C.D.E (longueur 100m)

Le processus étant la voie sèche avec préchauffage, il a été conçu avec une longueur totale de 100m, mais avec l'emplacement du calcinateur entre la tour de préchauffage et le four rotatif la longueur de ce dernier devrait être réduite de 20 m, c'est-à-dire avoir une longueur maximale de 80 m. Pour éviter un arrêt de production de très longue durée, l'ECDE a préféré garder la longueur initiale (100 m) et pour rentabiliser les 20 m en plus, 6% de la matière crue passe directement de la tour de préchauffage au four ce qui lui permet de réaliser un gain sur l'énergie et sur la production. Il est constitué par les éléments illustrés dans la figure.

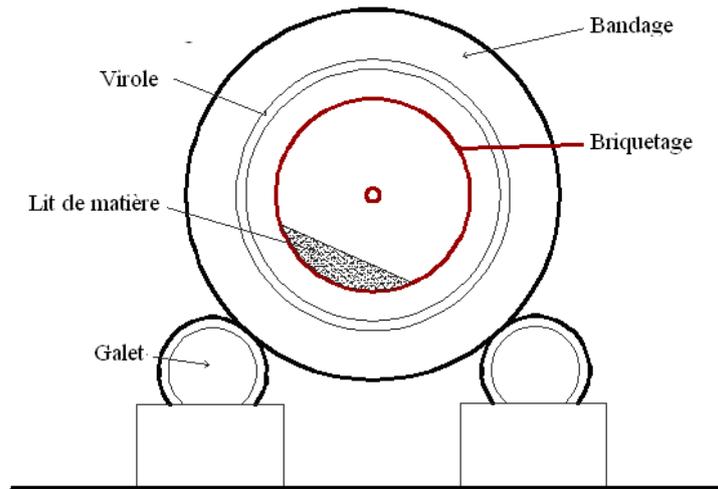


Figure 5.11: Les éléments constituant le four

En plus de son rôle protecteur de la virole, le revêtement intérieur du four joue un rôle important dans la capacité productive du clinker ainsi que sur sa qualité. Il est constitué de briques réfractaires, à haute alumine dans la zone cuisson (1450°C) supportant la haute température, et à basse alumine dans la zone calcination (entrée du four). Chaque type de brique possède sa propre caractéristique physique et sa propre conductivité thermique. Il est évident qu'elles subissent l'effet de l'usure par l'abrasion de la matière tout le long de son voyage à travers le four, ce qui rend leurs durées de vie très courtes, de 6 à 12 mois. Dans d'autres situations, comme le cas de briques mal posées, brûleurs mal positionnés, farine (cru), Fe_2O_3 très élevés ou très bas (croulage très faible), la durée de vie des briques est encore plus courte et la fréquence des arrêts du four devient très élevée par rapport à la normale.



Figure 5.12 : Brûleur à gaz(E.C.D.E)

Le chauffage du four se fait à l'aide d'un brûleur à gaz naturel (Figure 5.12), d'un air primaire de combustion et d'un air secondaire (retiré à partir du refroidisseur par le ventilateur). Le contrôle du débit du gaz (pression) et des températures est d'une très grande importance, car toute défaillance à ce niveau provoque l'obtention d'un mauvais produit

(incuit ou trop cuit). Pour faciliter le contrôle du débit et obtenir la forme de flamme exigée par le processus de cuisson qui assurera la stabilité des températures, il est temps pour l'ECDE de renouveler ces deux brûleurs par des brûleurs à gaz plus performants qui assureront la stabilité des températures dans le four et obtenir ainsi un bon produit.

d) Refroidisseur:

Le clinker sort du four à une température élevée (1450°C) et passe dans un refroidisseur à grilles qui doit assurer simultanément plusieurs rôles :

- Recevoir le clinker chaud provenant du four et le refroidir brusquement en le trempant dans un bain d'air primaire (soufflé par huit ventilateurs) de manière à éviter la formation de phases minéralogiques défavorables au clinker. Seule une partie de cet air peut être utilisée comme air secondaire de combustion, le surplus d'air sera aspiré et dépoussiéré par des filtres à manche.
- Acheminer le clinker chaud à sa sortie du refroidisseur grâce à des grilles (par un mouvement alternatif) sous lesquelles il y a un soufflage d'air de refroidissement jusqu'au concasseur à marteaux qui réduit les blocs de clinker à moins de 30 mm. Le clinker refroidi est acheminé vers la zone stockage composée d'un hall couvert d'une capacité de 40000 tonnes et huit silos ayant une capacité de 6000 tonnes chacun (4 silos par ligne 13).

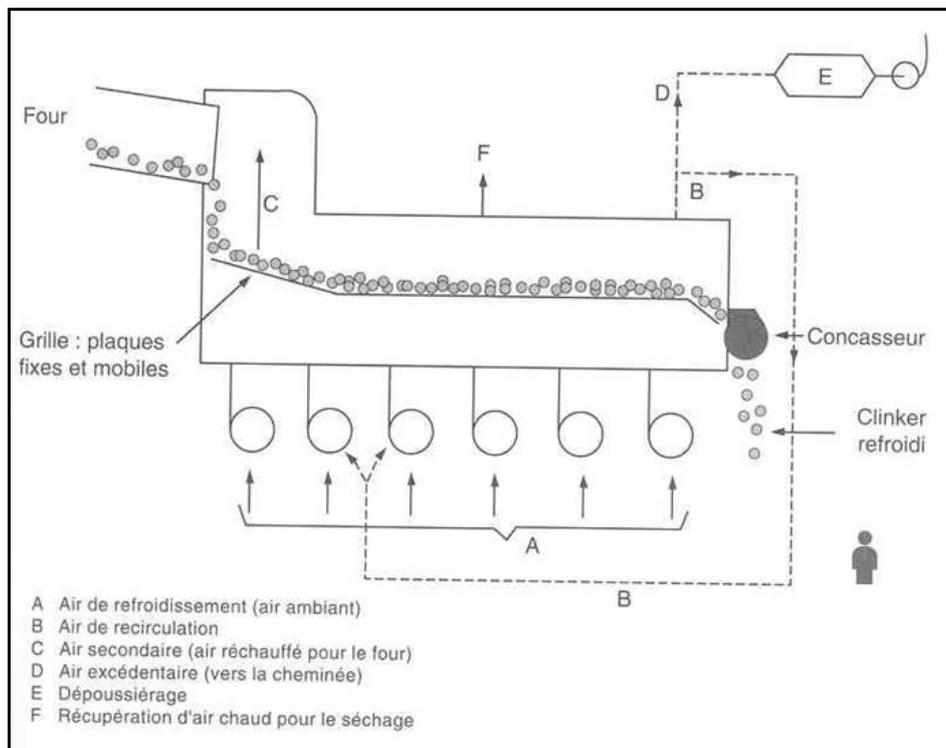


Figure 5.13 : Refroidisseur à grille

5.3.4 Zone ciment

C'est dans cette zone que l'étape finale du processus de fabrication du ciment est achevée. Elle comprend le stockage du clinker et les ajouts (calcaire pur, gypse et pouzzolane), le broyage, le stockage et l'expédition du ciment.

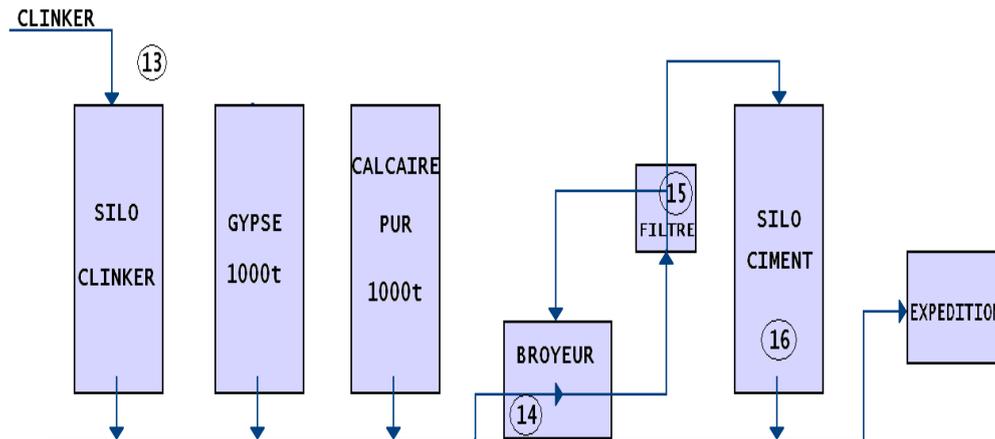


Figure 5.14 : Zone ciment

a) Broyeur

Le clinker descend sur un tablier métallique ou des doseurs donnent la proportion des ajouts consignée pour l'opération d'après les analyses du laboratoire. Le mélange (clinker + ajouts) est introduit dans un broyeur à boulets. L'usine est équipée de 4 broyeurs à boulets, chaque broyeur est constitué de 2 compartiments chargés de boulets dont le diamètre varie de 60 à 80 cm. Le produit issu de l'opération de broyage est le ciment. Ce dernier subira par la suite une opération de classification dans un séparateur, les particules fines, suivant la finesse désirée, constituent le produit fini qui sera acheminé vers les silos de stockages, les grosses particules quand à elles retournent au broyeur pour être dégrossies davantage (circuit fermé).

b) Séparateur

C'est un séparateur centrifuge à vis qui se compose de pâles de ventilation et de plaques de distribution. Les grosses particules tombent par chute libre, et les plus fines sont réparties en mouvement hélicoïdal sur les parois du séparateur pour tomber dans l'aéroglesseur qui les achemine vers les silos ciment comme produit fini. Les grosses particules retournent vers le broyeur pour être broyées une deuxième fois.

c) Stockage et expédition du ciment

Le ciment est acheminé vers dix silos ciment (d'une capacité de 6000 T chacun) par des aéroglesseurs de type ouvert qui permettent la fluidisation vers l'élévateur à godets, ce dernier alimente les trémies à travers un sas vibrant par des aéroglesseurs. Les trémies alimentent les ensacheuses rotatives ou les dispositifs de distribution de ciment en vrac. L'expédition se fait automatiquement selon deux modes :

- Expédition en vrac : camions et wagons.
- Expédition en sacs de 50 kg: camions.

5.4. Laboratoire de l'usine

L'industrie du ciment exige un contrôle rigoureux à tous les stades de la fabrication, matières premières, mélange cru, produits cuits et produits finis. La connaissance de la composition chimique et des caractéristiques physiques, permet de déterminer et de maintenir constantes les formules les plus favorables, tant au point de vue de l'aptitude à la cuisson des crus que de la qualité des produits finis.

5.4.1 Analyse chimique

a) Gisements de matières premières

Le laboratoire de l'E.C.D.E. pratique quotidiennement deux méthodes pour les opérations de contrôle :

- Méthode par fluorescence, les résultats sont obtenus au bout de 15 mn.
- Méthodes classiques (analyses manuelles), les résultats sont obtenus au bout de 08 heures.

La périodicité des prélèvements d'échantillons sur site se fait comme suit:

- Calcaire et argile : une fois par mois.
- Sable : tous les trois mois.
- Gypse : tous les trois mois.
- Minerai de fer : à chaque réception.

En cas de non-conformité, le laboratoire doit refaire l'opération d'échantillonnage et si les résultats sont toujours non conformes à la norme (sur le plan de la qualité) on change le lieu d'extraction.

b) Mélange calcaire argile

L'analyse chimique du mélange permet de définir la composition exacte du cru avec les besoins en ajouts exigés par le processus de fabrication. Le prélèvement de l'échantillon du mélange se fait 02 fois par jour, cette périodicité est insuffisante pour un contrôle rigoureux sur un tas de 50 000 tonnes de mélange. Consciente de cette insuffisance, la cimenterie projette de doter dans un avenir proche son laboratoire d'un analyseur automatique à rayons Gamma, avec lequel l'analyse du mélange se fera continuellement et automatiquement.

c) Cru, clinker et produit fini

Les différentes analyses sur le cru, le clinker et le produit fini sont représentées dans le Tableau 5.6 ci-dessous :

Tableau 5.6 : Périodicité des analyses

Etapas	Echantillonnage		analyse classique		But	
	Lieu	Période	2 H	MOY.24H	moy.24h	
Cru	sortie broyeur	2h	-Teneur en CaCO_3 (titre) -Refus (finesse)	Analyse complète par clinkérisation L.S.F.-H.M.	analyse complète	-selon plan qualité $75 \leq \text{CaCO}_3 \leq 77$. -contrôle de la composition chimique du cru $92 \leq \text{LSF} \leq 96, 230 \leq \text{SM} \leq 2,60$. $1,30 \leq \text{IM} \leq 1,60$. -finesse pour la stabilité du four $14\% \leq \text{refus} \leq 18\%$.
	sortie silo homogénéisation	2h	-Teneur en CaCO_3 -Refus			
Clinker	sortie four	2h	-Taux CaO libre -Densité	Analyse complète -LSF, HM	analyse complète	-le cao libre doit être $<2,5$. -si le cao libre est $>2,5$ le clinker sera stocké dans un silo non-conforme et l'opérateur doit être informé pour réajuster les paramètres de cuisson. -si le cao libre est $>2,5$ changer de silo de stockage.
	sortie silo	4h	-Taux CaO libre			
produit fini ciment	sortie broyeur	2h	S.S.BLAINE -CaO libre -Températ.	Analyse complète	-analyse complète -% d'éléments nuisibles	- $2800 \leq \text{S.S.B} \leq 3500$ si SSB en dehors des limites demandées, réglage du séparateur par l'opérateur. -composition minéralogique pour déterminer C3S, C2S, C3A, C4AF -si $t^\circ\text{c} > 125^\circ\text{c}$, le gypse ne jouera plus le rôle de régulateur plan qualité $t^\circ\text{c} = 125^\circ\text{c}$.
		moy. 8h	-Taux des sulfates. -P.A.F.			

Dans le cas où le résultat des analyses n'est pas conforme, plusieurs actions doivent être menées pour réajuster les différents paramètres de dosage ou de cuisson. Ces actions sont

dictées par « le plan qualité produit pour la conformité à la Norme 442A » [53]. Pour réagir rapidement au réajustement le laboratoire sera équipé d'un analyseur en ligne par diffraction des rayons X (l'installation est en voie d'achèvement).

5.4.2 Analyse physique et mécanique

Le but de ces analyses est de confirmer la qualité du produit fini (ciment) exigée par la Norme 442A [54]. Pour exécuter les essais physiques et mécaniques, toutes les deux heures le laboratoire procède aux prélèvements d'échantillons à la sortie du broyeur, c'est avec la moyenne de ces prélèvements que les essais seront exécutés.

a) Essais physiques

Ces essais permettent de déterminer la consistance, l'expansion et le temps de début et fin de prise. L'échantillon est préparé en mélangeant 500 g de ciment (moyenne des prélèvements des 24 H) à un volume d'eau (E/C). Le mélange est malaxé pendant 3 mn.

- La consistance est déterminée à l'aide de l'appareil de VICAT.
- Le temps de prise est déterminé automatiquement à l'aide d'un appareil appelé « le prisomètre multipose » assisté par micro-ordinateur. Début de prise 60 mn.
- La mesure de l'expansion (gonflement du ciment) est exécutée manuellement, et doit être < 10 mn Norme [53]

b) Essais mécaniques

1. Résistance à la compression

Les résistances à la compression et à la flexion du produit fini sont testées quotidiennement sur des éprouvettes âgées de 2,7 et 28 jours. Celles-ci sont confectionnées à l'aide de moules à 3 prismes (4x4x16 cm) avec du mortier normalisé (1350g de sable normalisé, 450g de ciment et 225g d'eau), après un séjour de 24 h dans la chambre humide ($t^{\circ}20^{\circ}\pm 1C$ humidité > 90). La résistance à la compression à 28 jours est limitée entre 42,5 et 62,5 MPa. La résistance à la flexion n'est pas normalisée.

2. Retrait

La mesure du retrait est réalisée à l'aide d'un Rétractomètre (appareil pour mesurer le retrait) sur des prismes 4x4x16 cm confectionnés avec du mortier normalisé, et conservés pendant 28 jours à l'air libre dans une chambre dont la température est de 20°C . Selon la norme [53] le retrait est limité de 0,8mn/m à 1mn/m.

Les résultats des résistances mécaniques, de l'expansion, du temps de prise, seront exploités par le laboratoire pour vérifier leurs conformités aux normes [53] et intervenir, le cas échéant, en amont du processus avec des actions de correction. Par ailleurs, l'ECDE est conventionnée avec le Centre d'Etudes et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction (C.E.T.I.M.) qui procède à des travaux de « contrôle qualité » et « d'appui à la production ».

5.5 Salle de contrôle de l'usine

Les installations de production sont dirigées et contrôlées à distance par un seul opérateur depuis la salle de commande, celle-ci a été complètement rénovée en 2005 et équipée d'analyseurs de gaz et de scanners de surveillance. Ces moyens techniques très performants permettent d'assurer la bonne marche des opérations 24h sur 24h et 07 jours sur 07. En effet la salle est équipée par des écrans sur lesquels s'affichent en direct toutes les phases du processus de fabrication, au moindre problème l'opérateur intervient sur le champ soit pour le régler depuis la salle de contrôle ou dicter les mesures à prendre directement aux parties concernées.

5.6 Capacité productive

Avant l'année 2004, la cimenterie de CHLEF produisait en moyenne 1.676.150 tonnes de clinker / An. Pour augmenter sa production, l'ECDE s'est dotée d'une nouvelle tour de préchauffé et d'un calcinateur. Ceci a permis à la cimenterie de réaliser une augmentation de 450.000 t/an de clinker soit 625 t/jour pour chaque ligne. La production de ciment atteinte en 2008 était de 2.460.000 tonnes alors que les prévisions étaient de 2.400.000 tonnes soit un taux de réalisation des prévisions de 102,5 %. Pour l'année 2009, les prévisions étaient de 2.410.000 tonnes et la production réalisée a été de 2.413.861 tonnes.

Les principales contraintes enregistrées durant l'exercice 2009 sont : les chutes de briques réfractaires au niveau des fours provoquées par divers incidents techniques, les travaux sur le ventilateur SP du four 1 et les travaux sur les galets du four. Pour l'année en cours l'objectif prévu est de 2.440.000 tonnes mais avec l'arrêt durant un mois du four de la ligne 2 pour permettre l'installation du nouveau filtre à manche, l'objectif ne sera pas atteint.

Dans le cadre de l'augmentation de la production du ciment à l'échelle nationale, l'entreprise des ciments et dérivés d'Ech-cheliff (ECDE) est concernée par les dispositions prises par le SGP GICA visant à augmenter la production de trois cimenteries sur les douze

existantes par la réalisation d'une nouvelle ligne de production avec une capacité de deux million de tonne/an pour chacune des trois cimenteries. Avec cet investissement, la capacité de production des douze cimenteries atteindra 18 million de tonnes/an à partir de 2012, ce qui permettra de couvrir les besoins du pays. En ce qui concerne l'ECDE, l'étude de la troisième ligne est achevée et le démarrage des travaux est programmé au début de l'année 2011.

5.7 Consommation d'énergie

L'industrie cimentière est fortement consommatrice d'énergies calorifiques et électriques. Cette consommation représente une partie importante du coût de revient de la fabrication du ciment. Comme toutes les cimenteries algériennes, l'ECDE utilise le gaz naturel (11500 Nm³/h) comme énergie calorifique pour la cuisson des matières premières, et à ce jour, aucune valorisation énergétique n'est adoptée ou en cours d'étude pour diminuer la consommation d'énergie par l'utilisation des déchets comme combustible. La consommation spécifique varie principalement selon les facteurs suivants :

- Type de procédé utilisé.²
- Conception des équipements (la récupération thermique dépend des équipements tels que : le refroidisseur, le nombre d'étages de préchauffe, etc...).
- Fiabilité de fonctionnement des lignes de cuisson (les arrêts fréquents de ces lignes, suite à des incidents techniques, entraînent des surconsommations calorifiques).

La cimenterie de Chlef enregistre une consommation spécifique d'énergie calorifique de l'atelier cuisson de 850 Kcal/kg de clinker. L'ECDE est alimentée par deux lignes de 60 KV, sa consommation d'énergie électrique est de 30 kWh/tonne de clinker et 43,8 kWh/tonne de ciment respectivement pour l'atelier de cuisson et l'atelier ciment.

La consommation électrique est indépendante du type de procédé de cuisson, par contre pour chaque procédé les valeurs énergétiques varient beaucoup. Sur un échantillon d'environ 150 usines, on note que la consommation calorifique est comprise entre 717 et 1912kcal/kg de clinker et la consommation électrique est comprise entre 70 et 160 kWh/tonne de ciment [54]. D'après cette étude, on constate que la consommation calorifique et électrique de la cimenterie de l'ECDE est bien maîtrisée et se situe dans la moyenne malgré qu'aucune valorisation énergétique ne soit adoptée pour réduire sa consommation. .

5.8 Certification environnement I.S.O 14001

La protection de l'environnement, la conservation des ressources naturelles, la réduction des émissions polluantes et la minimisation de la dégradation des sites d'extraction et de la production sont les objectifs principaux de l'entreprise ECDE; qu'elle s'est engagée à atteindre en vue de réduire les risques sur l'environnement. Et cela en optant pour une démarche verte par la mise en place d'un système de management de l'environnement et vise l'obtention de la certification ISO 14001 en 2011. Après avoir évalué les incidences de son activité sur l'environnement, plusieurs investissements pour la protection de celui-ci ont eu lieu et d'autres sont en prévision.

a) Investissements

Plus de 50 filtres ponctuels ont été installés sur les silos, trémies de différents transporteurs pour le dégazage des circuits de transport, de stockage et de traitement des émanations des poussières.

- Remplacement d'un ancien filtre à gravier pour le traitement des gaz en sortie des refroidisseurs à clinker par un filtre à manche plus performant (1500 manches).
- Remplacement des filtres électrostatiques des deux lignes par des filtres à manches très performants (5300 manches), pour garantir une valeur de 10mg/Nm³, seul le filtre à manche est proposé par les constructeurs, certains électrofiltres en pratique peuvent atteindre cette valeur, mais en termes d'investissement, ils deviennent plus coûteux et peu de constructeurs accepteront de garantir ce niveau de performance [55]. La ligne 2 est Opérationnelle depuis Mars 2010, ligne 1 le sera début 2011.
- L'installation des équipements de mesures en continu des polluants atmosphériques à savoir :
 - ~ Sept appareils de mesure d'émission de poussière de type opacimètre CPM 5003 sont positionnés au niveau des filtres à manche. Le CPM 5003 est un outil de surveillance d'émissions particulières avancée, il est conçu pour fournir des résultats pendant des années de services sans panne et avec un entretien minimal.
 - ~ Deux analyseurs de gaz (O₂, CO, NO et CH₄) permettant à l'entreprise de mesurer en continu ses effluents gazeux en sortie de la tour de préchauffage et au niveau du four. Les mesures sont comparées automatiquement à des

seuils, en cas de dépassement une alarme se déclenche entraînant l'arrêt de l'équipement concerné.

- Acquisition de quatre machines pour le nettoyage des voies de circulation et la diminution du taux de poussière.

b) Prévisions

- Acquisition des analyseurs de gaz (CO₂, NOX et SO₂) qui vont permettre à l'entreprise d'accroître et d'améliorer l'autocontrôle de ses rejets atmosphériques tout en répondant aux exigences légales et réglementaires.
- Acquisition de camions d'arrosage.
- Acquisition d'autres engins de nettoyage (BOBCAT).
- Opération de reboisement de la carrière (plantation de 500 oliviers).

5.9 Conclusion

Possédant des gisements de matières premières de très grandes importances et d'excellentes qualités, l'entreprise ECDE, dont la principale activité est la fabrication par voie sèche et la commercialisation du ciment CPJ CEM II/ A 42,5 répondant aux normes exigées, affirme avec de grands efforts sa participation au développement économique du pays ce qui lui a permis d'obtenir la certification I.S.O 9001-2000 en 2003.

L'ECDE a adopté en 2004 un programme de modernisation de son processus de fabrication en engageant les travaux de rénovation de la tour de préchauffage par l'installation de cyclones de capacités plus importantes ainsi que par l'installation d'un calcinateur pour chaque ligne ce qui lui a permis d'augmenter sa production d'environ 2600 tonnes de clinker par jour, ainsi que la rénovation de sa salle de contrôle lui permettant aussi un suivi rigoureux du processus de fabrication.

Malgré la mise en exécution de ce programme, l'ECDE enregistre un retard important par rapport aux nouvelles cimenteries du point de vue méthodes de contrôle du cru tel que le système robotique qui garantit une bonne composition du cru grâce au contrôle en continu.

Pour réduire les nuisances de ses activités sur l'environnement et obtenir la certification I.S.O – 14001 en 2011, l'entreprise a mis en place un système de management de l'environnement, elle a ainsi procédé au remplacement de tous les anciens filtres par des filtres à manches très performants obéissant aux normes 15 mg/Nm³ de même qu'elle a installé des équipements de mesures en continu des émissions de poussières (Opacimètres). Il

reste tout de même à l'usine de s'équiper en analyseurs de gaz devant lui permettant de mesurer ses émissions de CO₂, NO_x et SO₃.

Mais ce qui demeure plus important, est d'assurer le suivi et l'analyse des mesures obtenues par les différents appareils de mesures d'émissions permettant ainsi la surveillance de la protection de l'environnement en continu, pour cela l'E.C.D.E doit étoffer son service environnement en personnel qualifié et le doter de l'équipement utile, à l'image des cimenteries modernes.

Certes, la réussite du programme de modernisation a permis à l'entreprise d'augmenter sa production, mais pour dépasser l'objectif atteint de 2.440.000 tonnes de ciment/an pour les deux lignes, et 2.000.000 tonnes avec la troisième ligne qui sera opérationnelle en 2012, on pense qu'il est nécessaire pour l'E.C.D.E de créer une cellule de recherche au sein de son laboratoire. Cette cellule sera chargée d'exploiter les différents résultats d'études de valorisation des déchets industriels réalisées à leur niveau pour diminuer la quantité de clinker dans le ciment [56], ce qui permettra la réduction des émissions de CO₂, la consommation d'énergie et les émissions de fines particules, et d'être donc dans le contexte du développement durable qui consiste à optimiser l'utilisation des ajouts cimentaires, des matériaux recyclés et des autres résidus industriels. Aussi, cette cellule doit orienter ses recherches vers la mise au point de ciments spéciaux destinés à des applications particulières et à la recherche des matériaux écologique permettant la production d'un éco-ciment.

6.1. Introduction

Le ciment est une matière première irremplaçable, il est à l'amont de toute activité de construction, de réalisation d'ouvrages, d'infrastructures et dans des applications nouvelles comme la construction d'autoroutes où l'asphalte est conquis par le béton. Sa fabrication est une industrie de base qui occupe une position dominante et conserve un fort potentiel de croissance. Cependant le processus de fabrication du ciment engendre des incidences environnementales comme les émissions de gaz (CO₂, NO_x, SO₂) mais surtout les émissions de poussières à tous les niveaux de la production. Toutefois ce processus ne cesse d'être amélioré avec des technologies nouvelles afin de réduire ces impacts sur l'environnement.

6.2. Etudes antérieures

Les poussières des cimenteries algériennes constituent le polluant principal de l'air et contribuent aux maladies respiratoires des employés et des habitants aux alentours des cimenteries [57]. Afin d'étudier l'impact des poussières émises par les cimenteries sur l'environnement, deux études ont été réalisées, l'une sur le cas de la cimenterie de Ain-Touta réalisée en 2002 par l'université de Constantine [58] et l'autre sur l'étude d'impact de la cimenterie de Chleff (ECDE) réalisée en 2005 par l'Agence Internationale pour le Développement de la Qualité et de l'Environnement (AIDEQ) [59] , cette seconde étude a été menée dans le cadre des exigences nationales et internationales en vigueur tout en tenant compte des évolutions réglementaires

La première étude menée sur la cimenterie de Ain Touta a porté sur les poussières et leur impact comme agent polluant sur les sols, les céréales et la santé. Il s'agissait de quantifier la poussière déposée dans des bacs de 0,0314 m² de surface chacun et d'estimer en moyenne ce dépôt en t/ha. La quantification des poussières prélevées a permis de constater que la diminution progressive des quantités de poussières accompagnait l'éloignement par rapport à la cimenterie. L'analyse chimique des échantillons de poussières ainsi que l'analyse des sols, affirment qu'il y a des apports extérieurs de matières dont la source principale est la poussière des gaz dégagés de la cimenterie. Ce qui conduit l'étude à conclure que la dépollution dans cette zone devient une nécessité. Pour cela elle recommande des dépoussiéreurs appropriés, de sorte que les poussières ne peuvent s'échapper dans l'atmosphère.

La deuxième étude menée au niveau de la cimenterie de Chlef a permis à l'entreprise d'évaluer les incidences de ses activités sur l'environnement et de dresser un bilan de sa

situation actuelle vis-à-vis de l'environnement lui permettant ainsi la mise en place du système de management environnemental.

Pour cela une campagne de mesures des particules inhalables dans l'air ambiant a été effectuée dans six stations choisies au voisinage direct du site, et onze autres dans les communes avoisinantes du site. L'appareil utilisé pour cette campagne de mesure est l'analyseur neplélomètre. Pour la station 6 qui concerne l'ECDE, en plus des mesures réalisées à l'extérieur, trois mesures supplémentaires ont lieu au droit de l'atelier d'expédition ensachage, du broyeur cru et de la zone cuisson. Les concentrations en PM 10 obtenues pour l'ensemble des points dépassent largement le seuil d'acceptabilité.

Pour que l'entreprise atteigne son objectif à savoir produire propre et réduire l'impact environnemental de ses activités, l'étude lui recommande des programmes d'investissements appropriés à ses nuisances sur l'environnement comme : la rénovation de tous les filtres par des filtres plus performants obéissant aux normes (15 mg/Nm³), la surveillance en continu des émissions de poussières par des appareils (Opacimètres CPM 5003) positionnés aux niveaux des sources d'émissions et pour suivre la pollution générée par le site, l'installation de quatre jauges autour de la cimenterie est recommandée, celles-ci feront l'objet d'un relevé mensuel et leur contenu fera l'objet d'une analyse approfondie.

Ce chapitre est consacré à l'étude des conséquences engendrées par le processus de fabrication et d'utilisation du ciment sur l'environnement et de tirer des conclusions et faire des recommandations pour respecter les normes en vigueur et l'intégration du développement durable.

6.3. Expérimentation

Le niveau d'empoussièrement peut être mesuré par divers équipements, à savoir les jauges OWEN, les opacimètres, les analyseurs neplélomètres et les plaquettes métalliques. L'installation des jauges autour de la cimenterie recommandée par l'étude d'impact [59], demeure dans le programme des prévisions de l'entreprise. En l'absence de celles-ci, et pour mener notre campagne de mesure des poussières sédimentables qui nous permettra de suivre la pollution générée par le site après la rénovation de 80% des filtres en les remplaçant par des filtres plus performants nous avons utilisé la méthode des plaquettes décrite dans la Norme AFNOR NFX43 – 007 [60].

6.3.1. Objectif

L'objectif de cette partie expérimentale est de mesurer le niveau d'empoussièrement engendré par le processus de fabrication du ciment en utilisant la méthode des plaquettes métalliques. Basé sur cette méthode, on a procédé à une campagne de quantification des particules sédimentables dans l'enceinte de la cimenterie de Chleff (ECDE), il s'agissait par la suite de caractériser ces particules et de faire ensuite une analyse des résultats obtenus en les comparant avec d'autres résultats trouvés en utilisant d'autres méthodes expérimentales réalisées.

6.3.2. Présentation de la méthode des plaquettes métalliques

La méthode suivie est celle des plaquettes métalliques décrite par la norme NFX 43-007 [60]. Ces plaquettes de dépôt en acier inoxydable enduites d'un fixateur hydrophobe sont des dispositifs destinés à recueillir les poussières présentes dans l'air ambiant et susceptibles de se déposer par gravité sur une surface horizontale. Le dépôt est ensuite prélevé et transféré sur un filtre pour la pesée ou l'analyse en vue d'estimer l'importance des retombées atmosphériques.

Les plaquettes métalliques sont disposées horizontalement à 1,5 m du sol afin de récupérer le dépôt des poussières sédimentables (voir Figure 6.2). Le temps d'exposition des plaquettes est de 14 jours. Selon le niveau d'empoussièrement, ce temps peut être réduit à 7 jours dans les zones fortement polluées ou augmenté jusqu'à un mois dans les zones étendues. La réglementation [44] indique le seuil entre la zone faiblement polluée et la zone fortement polluée correspondant à une valeur de 30 g/m²/mois ; soit 1g/m²/jour. Selon la norme, le seuil faible correspond à une quantité inférieure à 30 g/m² mois et le seuil est fort s'il dépasse cette valeur.

6.3.3 Appareillage

Pour notre campagne de mesure, nous avons confectionné selon les exigences et les indications de la Norme NFX43 - 007 [60] sept plaquettes en acier inoxydable de dimensions 5 x 10 cm fixées sur des supports de longueur 2 m avec un ancrage au sol de 40 cm comme illustré sur la Figures 6.1 et 6.2.

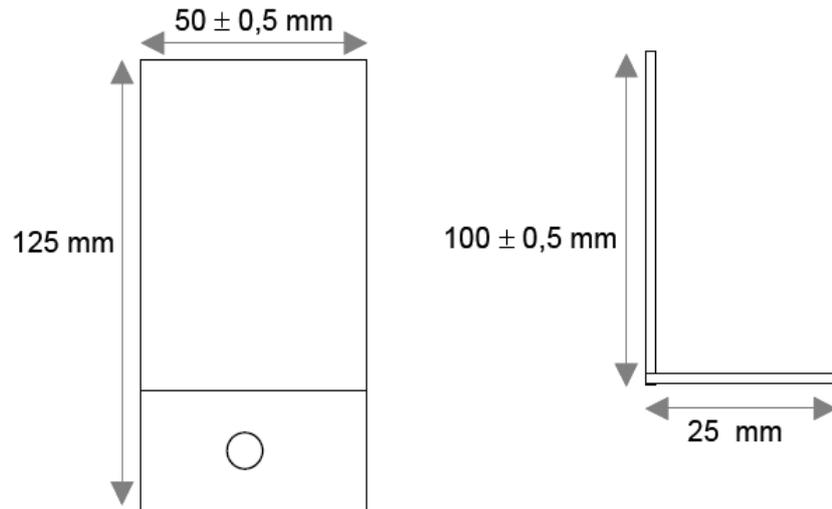


Figure 6.1 Dimensions plaque en acier



Figure 6.2: Plaque avec enduit

Les particules qui se déposent sur la plaque par gravitation sont retenues ou stabilisées par l'enduit qui recouvre la plaque. L'enduit est défini par la norme [60] comme un fixateur hydrophobe, ayant la propriété de fixer les poussières déposées. Pour les plaquettes utilisées, nous avons utilisé la vaseline pure comme fixateur hydrophobe de composition chimique générale C_nH_{2n+2} [61]. Celle-ci présente les propriétés exigées par la norme [60].

6.3.4. Programme expérimental

Les plaquettes sont fixées chacune dans son site. La vaseline a été appliquée sur la facette exposée de la plaquette puis repérée par des numéros de 1 à 7 (voir figure 6.4). L'étalement de la vaseline est indiqué sur la figure 6.3.



Figure 6.3 Etalement de la vaseline

6.3.4.1. Réseau de surveillance

Notre réseau de surveillance est composé de sept stations pour prélèvement, elles sont situées tout autour de la cimenterie à proximité des zones stratégiques comme l'atelier de broyage du cru, la zone de cuisson, l'atelier de broyage, la zone ciment, la zone de réception des ajouts, la zone de réception de la matière première et enfin la trémie de dosage du cru. Sur le plan de masse illustré dans la Figure 6.4, ou sont indiqués les sites de prélèvement, l'identification de chacun ainsi que leurs rayons d'intervention sont représentés par les Figures (6.5 à 6.11).

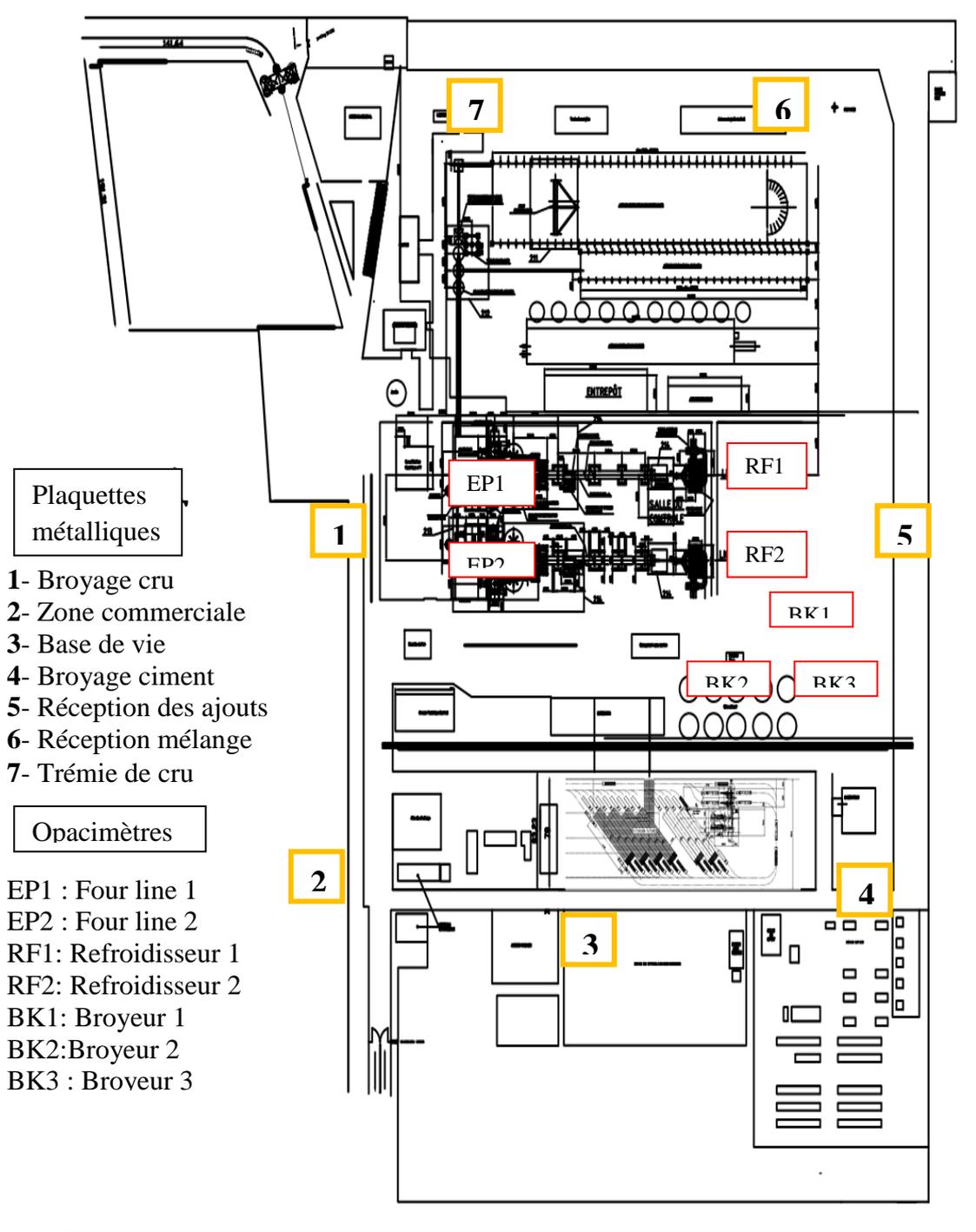


Figure 6.4 Disposition des points de prélèvements

6.3.4.2. Identification des stations de surveillance

Nous avons procédé à la disposition de 7 stations distribuées de manière à balayer tout le champ de la cimenterie. Les figures 6.5 à 6.11 représentent les stations de prélèvement étudiées.



Figure 6.5 : Station 1



Figure 6.6 Station 2



Figure 6.7 : Station 3



Figure 6.8: Station 4



Figure 6.9: Station 5

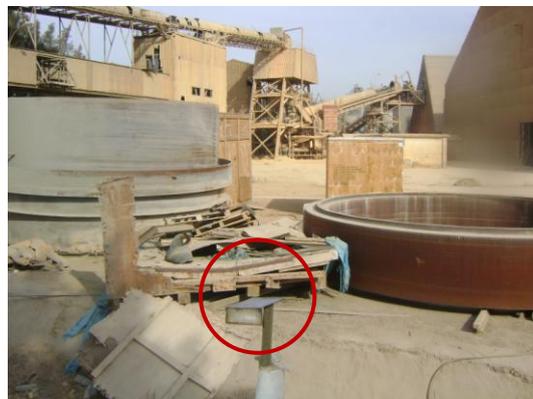


Figure 6.10: Station 6



Figure 6.11 : Station 7

- **Station 1** : La plaquette est située à 30 m des deux filtres des fours des lignes 1 et 2 et le pont bascule (accès des camions dans la zone d'expédition).
- **Station 2** : La plaquette est située dans la zone commerciale et à environ 60 m de l'accès des camions d'expédition du ciment.
- **Station 3** : La plaquette est située près de la base de vie et à 60 m de la zone de cuisson et à environ 25 m de l'atelier de conditionnement et d'expédition du ciment.
- **Station 4** : La plaquette est située à la limite de la base de vie et à 70 m du broyeur ciment BK 4.
- **Station 5** : La plaquette est située dans la zone de réception des ajouts et à 20 m du concasseur du gypse (à ciel ouvert).
- **Station 6** : La plaquette est située à 40 m de la trémie réception mélange (calcaire + argile) expédié par la carrière.
- **Station 7** : La plaquette est située à 40 m de la trémie dosage pour cru (mélange + ajouts).

6.3.4.3. Programmation des prélèvements

Le réseau de suivi a été mis en place à la mi- juillet période ou l'envol des poussières étant logiquement facilité par temps sec. Un premier prélèvement a été programmé pour la quantification des poussières sédimentables avec un temps d'exposition de 21 jours. Vu le niveau d'empoussièrement très élevé de la majorité des stations, le temps d'exposition a été réduit à 14 jours pour une série de trois prélèvements comme indiquée par la norme [60]. Le niveau d'empoussièrement étant toujours élevé, le temps d'exposition a été réduit encore une fois à 7 jours pour une série de trois prélèvements. Un dernier prélèvement a été effectué avec un temps d'exposition de 28 jours.

6.3.4.4 Effet des vents dominants

Le suivi de la direction et de la vitesse du vent permettent de mieux interpréter les résultats d'analyses des échantillons. Ce paramètre doit donc être pris en considération dans l'évolution de l'empoussièrement pour toutes les stations. Les vents dominants dans la région de Chlef sont en général de types Ouest Est/ Sud Ouest et Nord Est (voir figure 6.11). Pour la période de nos essais les vents dominants sont déterminés à partir des données de la station météorologique de Chlef [62]. Et les vents dominants pour cette période d'essai sont de Nord Nord Ouest, de Nord Est et d'Ouest Sud Ouest comme illustré sur la figure 6.2 par la rose des vents

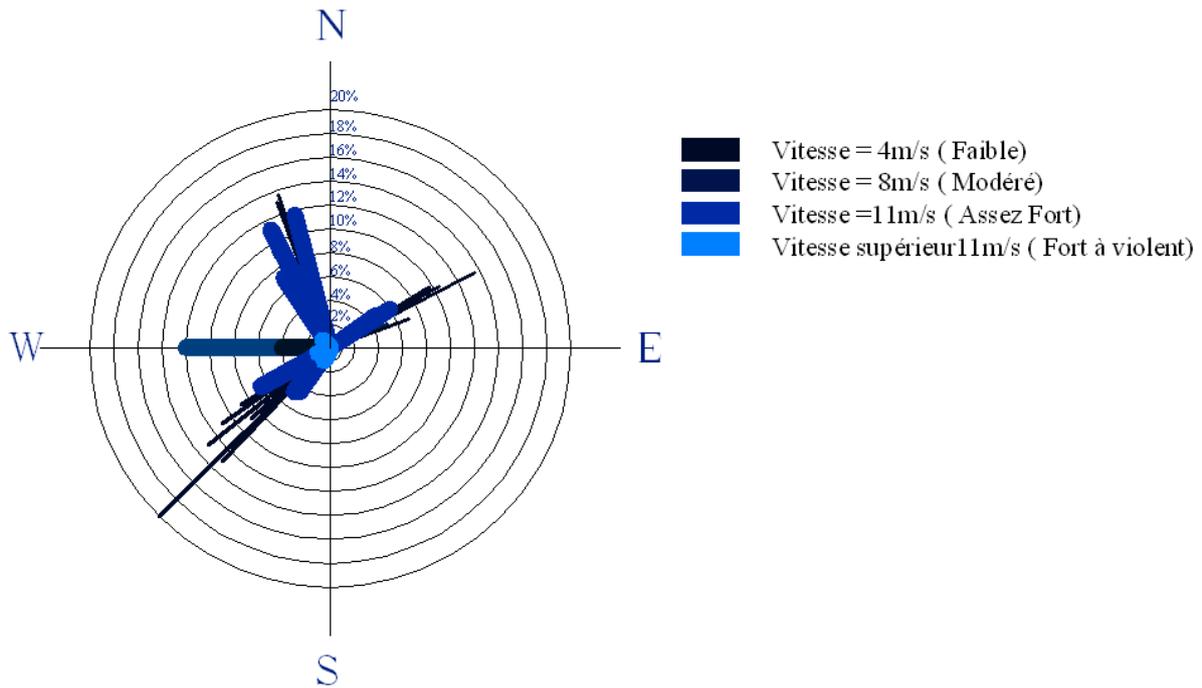


Figure 6.12 : la rose des vents

6.3.5. Résultats et discussions

Après expiration du temps d'exposition, nous avons procédé au prélèvement des dépôts de poussière recueillis sur les plaquettes pour la pesée comme illustré sur la Figure 6.13, ensuite on induit encore une fois la plaquette avec le fixateur hydrophobe pour un autre essai.



Figure 6.13 prélèvement d'échantillons

6.3.5.1. Quantification des poussières

Le poids des poussières de chaque prélèvement est déterminé comme suit. Le récipient et la vaseline ont été préalablement pesés sans l'échantillon (poussière) avant l'étalement (noté P_i). Après le prélèvement, on a procédé à la pesée du dépôt recueilli dans le récipient (noté P_f) comme illustré dans les photos 6.14 et 6.15. Le poids net de l'échantillon (noté P_p) sera donc la différence comme exprimé par l'équation suivante :

$$P_p \text{ (poids des poussières)} = P_f \text{ (poids total)} - P_i \text{ (poids initial)}$$



Figure 6.14 pesée de l'échantillon



Figure 6.15 Prélèvements

Une fois le poids des poussières de chaque prélèvement déterminé, nous procédons au calcul de la teneur majeure des poussières d'après la relation donnée par la norme [60].

$$P = \frac{m}{10^3} * \frac{10^4}{S} * \frac{730}{t} * = 7300 \frac{m}{S.t}$$

Avec :

t = la durée d'exposition de la plaquette en heures (avec la durée moyenne d'un mois = 730 heures).

m = la masse en milligrammes des poussières recueillies (P_p).

S = la surface d'exposition de la plaquette en centimètre carré.

6.3.5.2. Niveau d'empoussièrement

Série N° 1

Le temps d'exposition des plaquettes de cette série de prélèvement est de 21 jours. La période de mise en place du protocole de pose et dépose est étalée du 18 Juillet au 8 Août 2010. Le vent au cours de cette période a soufflé majoritairement en provenance du Nord Est et de Nord Nord Ouest (voir figure 6.16 rose des vents) favorisant le déplacement des

poussières respectivement vers le Sud Ouest et le Sud Est du site. Les quantités de poussières récupérées des prélèvements des 7 stations sont consignées dans le tableau 6.1.

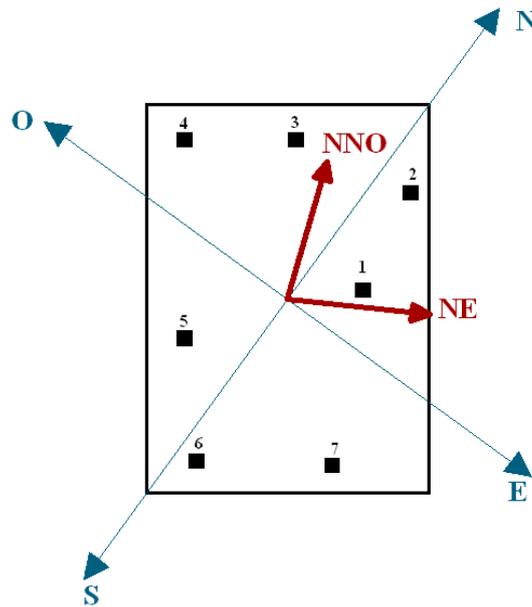


Figure 6.16 : Direction des vents dominants, Série 1,

Tableau 6 1 : Empoussièrment de la série N° 1 pour un temps d'exposition de 21 jours

Stations	Prélèvement mg /m ² /jour	Niveau d'empoussièrment
1	842	Moyen
2	2816	Fort
3	36	Faible
4	712	Moyen
5	21993	Très fort
6	19981	Très fort
7	21355	Très fort

L'évolution du niveau d'empoussièrment de la série 1 pour les 7 stations est illustré sur la figure 6.16 , ou on a remarqué que la station 3 enregistre un niveau d'empoussièrment très faible, soit de 36 mg/m² jour. Ce résultat est justifié d'une part par l'éloignement de la station N°3 des zones produisant la poussière et d'autre part par la protection naturelle existante sur le site (plantation d'arbres). Les stations 1 et 4 présentent un niveau d'empoussièrment moyen du à l'arrêt temporaire du four de la ligne 1 de la cimenterie. Une surélévation peu signifiante du niveau d'empoussièrment est remarquée pour la station 2 qui peut être expliqué par l'existence de cette station au niveau de l'accès des camions. Les stations restantes (5, 6 et 7) ont affiché un niveau d'empoussièrment très considérable de l'ordre 20.000 mg /m² jour. On pense que ceci est attribué d'une part à l'emplacement de ces stations sur l'axe des vents dominant Nord Est et Nord Nord Ouest et d'autre part à l'envol

des poussières provenant des fuites au niveau des trémies réception mélange calcaire et au niveau du dosage du cru, pour les stations 6 et 7, et au niveau de la réception des ajouts (sable, pouzzolane, gypse) et au niveau du concassage du gypse à ciel ouvert, pour la station 5.

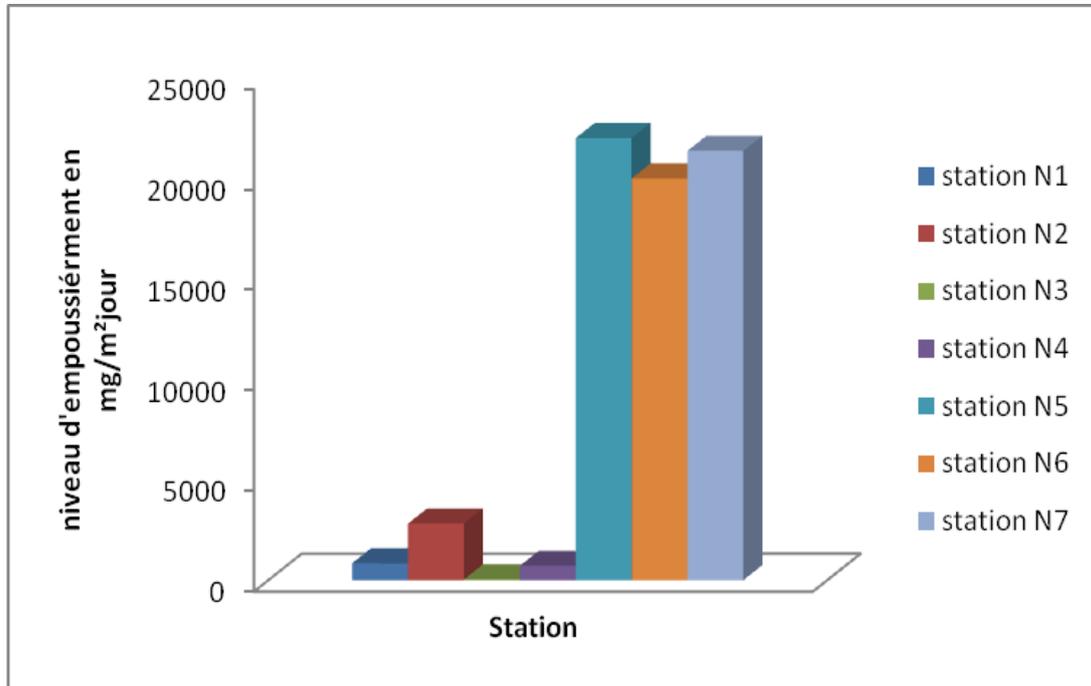


Figure 6 17 Evolution du niveau d'empoussièrment : période du 18 Juillet au 8 Août

Il est à rappeler que la norme française [60] fixe le seuil d'acceptation à 1000 mg/m² jour, ce qui permet de considérer le niveau d'empoussièrment enregistré par les trois stations mentionnées dernièrement (5, 6 et 7) comme très fort et hors norme, caractérisant une zone fortement polluée. Cependant, selon cette même norme, les stations 1 et 4 enregistrent un niveau d'empoussièrment acceptable, caractérisant une zone faiblement polluée tandis que la station 3 enregistre un niveau très faible bien en dessous de la valeur de référence fixée à 350mg/m²/jour par la norme Allemande TA-Luft [63]. En général, on peut dire que le niveau des stations est partagé en deux niveaux : niveau faible et niveau très fort. Les stations du niveau très fort sont situées dans les zones d'activité intense, par contre les stations où le niveau d'empoussièrment constaté est faible sont éloignées de la zone d'activité.

Série N° 2

Etant donné que le niveau d'empoussièrment de la première série était très élevé, le protocole de surveillance a été réduit à 14 jours. Cette série comprend trois prélèvements. La période de la mise en place était comme suit: le premier prélèvement a eu lieu du 08 août au

22 Août, le deuxième prélèvement du 22 Août au 5 Septembre et le troisième prélèvement du 5 septembre au 19 Septembre. Les vents dominants pendant la période des deux premiers prélèvements sont de Nord Nord Ouest et de Nord Est, alors que pour le troisième prélèvement, les vents dominants étaient d'Ouest Sud Ouest, de Nord Est, de Nord Nord Ouest et d'Ouest (voir Figure 6.18). Les quantités de poussières obtenues lors des ces trois prélèvements sont consignées dans le tableau 6.2

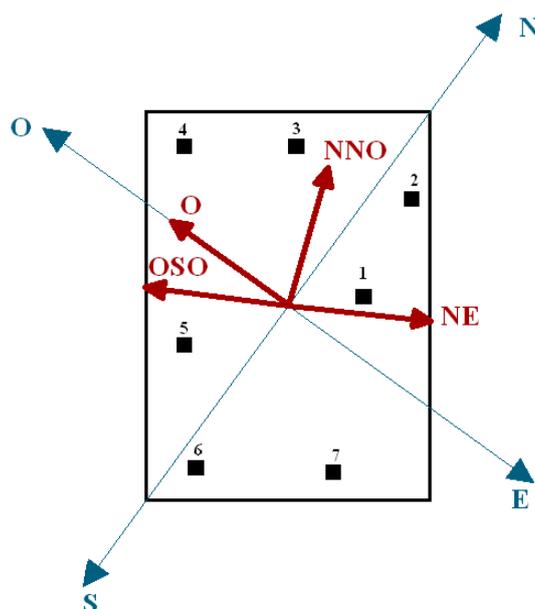


Figure 6.18 : Direction des vents dominants, Série 2

Tableau 6.2 : Empoussièrément de la série N°2 pour un temps d'exposition de 14 jours

Station	Prélèvement (1)	Prélèvement (2)	Prélèvement (3)	Moyenne d'empoussièrément	Niveau d'empoussièrément
	Mg / m ² jour				
1	164	4478	11080	5241	Fort
2	778	1048	1961	1262	Fort
3	40	3	77	40	Faible
4	173	335	1185	564	Moyen
5	14042	11571	11735	12449	Très fort
6	2737	10714	15585	9678	Très fort
7	434	6357	8785	5192	Très fort

Le niveau d'empoussièrément de la série 2 pour les 7 stations est illustré sur la Figure 6.19 ou il est remarqué qu'au cours du prélèvement (1) de cette série de mesures aucun dépassement de la valeur de référence 1000 mg/ m²/jour fixée par la norme [61] n'a été atteint pour les stations 1, 2, 3, 4 et 7. Cette baisse de retombées de poussières sur le réseau de plaquettes est probablement due aux trois jours consécutifs de pluie pendant la période d'exposition de ce prélèvement (voir bulletin météo), par contre les stations 5 et 6 dépassent

largement le seuil fixé, bien que le niveau d'empoussièrément par rapport au prélèvement de la série précédente a baissé pour la même raison citée précédemment. Il est à noter que les quantités de retombées recueillies des stations 1, 3 et 4 sont en dessous même de la valeur de référence de la norme TA-Luft [63], jugée plus sévère que la norme AFNOR [60] et caractérisant un environnement peu polluant

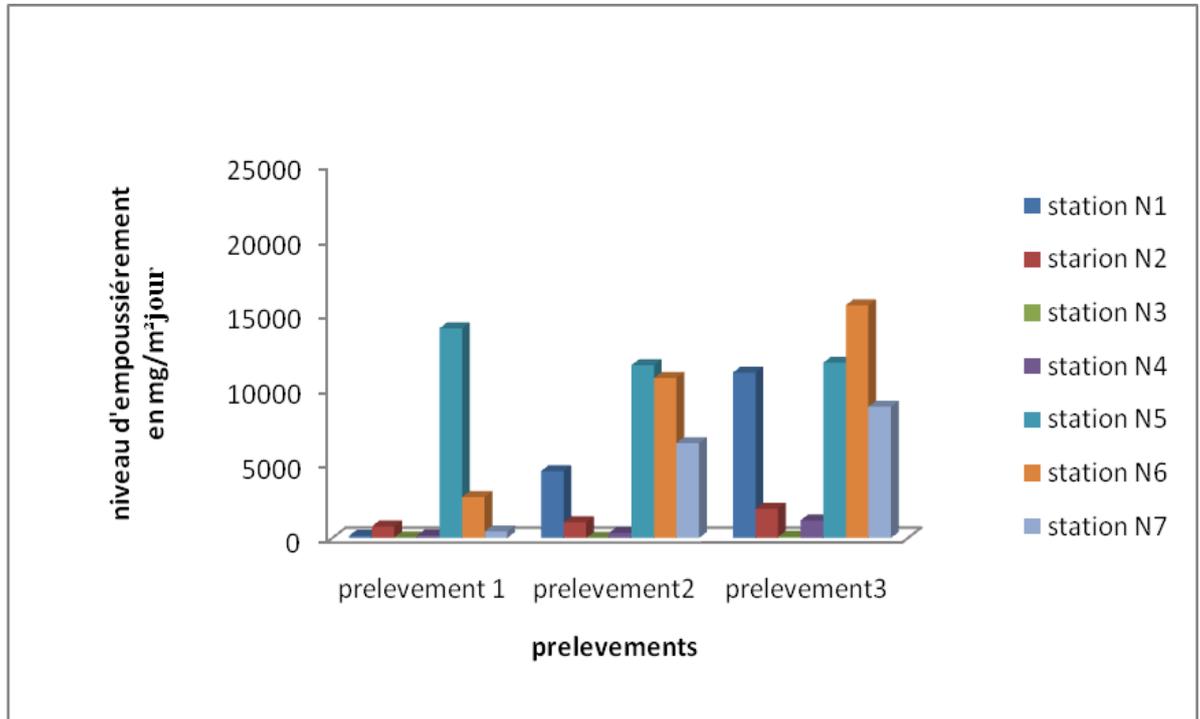


Figure 6.19 : Evolution du niveau d'empoussièrément : période du 8 Août au 19 Septembre

L'explication plausible de la brusque baisse des teneurs sur ces sites ne peut se justifier que par les conditions météorologiques, il semble qu'elle est due aussi à l'arrêt momentané du four de la ligne 1 dont la déficience de son électro filtre implique des émissions de poussières importantes. Ceci explique les fortes quantités de poussières obtenues lors des prélèvements (2) et (3) au niveau des stations 1 et 2 en raison du fonctionnement normal de la ligne 1. Au troisième prélèvement, la station 6 enregistre le niveau d'empoussièrément le plus fort, située sur l'axe des vents dominants (voir Figure 6.18) Celle-ci reçoit les poussières transportées par le vent de Nord et de Nord-Ouest tandis que la station 3 peu influencée par les activités de la cimenterie enregistre toujours le niveau d'empoussièrément le plus faible des trois prélèvements en raison des vents dominants.

Série N° 3

Etant donné que le niveau d'empoussièremment reste très fort pour la majorité des stations, le temps d'exposition a été encore réduit à 7 jours conformément aux recommandations de la norme AFNOR [60]. Cette série comprend trois prélèvements effectués de la façon suivante ; le premier prélèvement du 19 septembre au 26 Septembre, le deuxième du 26 Septembre au 3 Octobre et le troisième du 3 octobre au 10 Octobre. Les vents dominants pendant les essais des prélèvements sont représentés dans la Figure 6.20 Les valeurs des quantités de poussières récupérées sont consignées dans le tableau 6.3

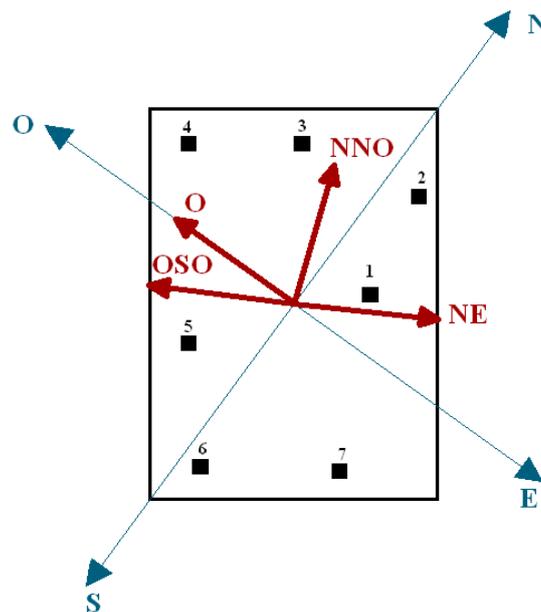


Figure 6.20 : Direction des vents dominants, Série 3

Tableau 6.3 : Empoussièremment de la série N°3 pour un temps d'exposition de 7 jours

Station	Prélèvement (1)	Prélèvement (2)	Prélèvement (3)	Moyenne d'empoussièremment	Niveau d'empoussièremment
	mg / m ² jour				
1	1800	10502	5482	5928	Très fort
2	1885	236	2327	1482	Fort
3	124	12	74	70	Faible
4	50	37	225	104	Faible
5	11794	21638	20044	17825	Très fort
6	7560	13345	14043	11649	Très fort
7	297	124	8285	2902	Fort

La figure 6.21 illustre l'évolution de l'empoussièremment de la série 3 qui comprend elle aussi trois prélèvements au cours desquels les quantités de poussières recueillies des stations 3 et 4 sont bien en dessous de la valeur fixée par la norme [60], par contre les stations 1, 5 et 6 enregistrent un niveau d'empoussièremment très fort dépassant largement le seuil d'acceptation. Les points les plus exposés du réseau pour cette série de mesure sont en

première position la station 5 du fait de sa position par rapport au concasseur de gypse et le stockage des ajouts très exposé aux envols de poussières issues de ses activités, la station 6 est aussi exposée aux envols des poussières du fait de sa position sur le site de la trémie de réception du mélange (argile+calcaire), et comme le vent au cours de cette période a soufflé majoritairement en provenance du Nord Nord Ouest, favorisant le déplacement des poussières vers le Sud- Est. La déficience de l'électro-filtre de la ligne 1 et les vents dominants en provenance du Nord-ouest font que les quantités de poussière recueillies lors des prélèvements de la station 1 sont très élevées. On constate aussi que les quantités de poussières du prélèvement (2) recueillies sur les stations 2 et 7 sont en dessous du seuil fixé par la norme, cela peut s'expliquer par les 2 deux jours de pluies constatées sur cette période, ce qui a affaibli les retombées de poussières sur les plaquettes. Par ailleurs, les stations 5 et 6 ont enregistrées des niveaux d'empoussièrément toujours élevées et n'ont pas été affecté par les deux jours de pluie, ceci est dû au fait que l'effet des vents dominants est plus prononcé sur ces stations que l'effet de deux jours de pluie.

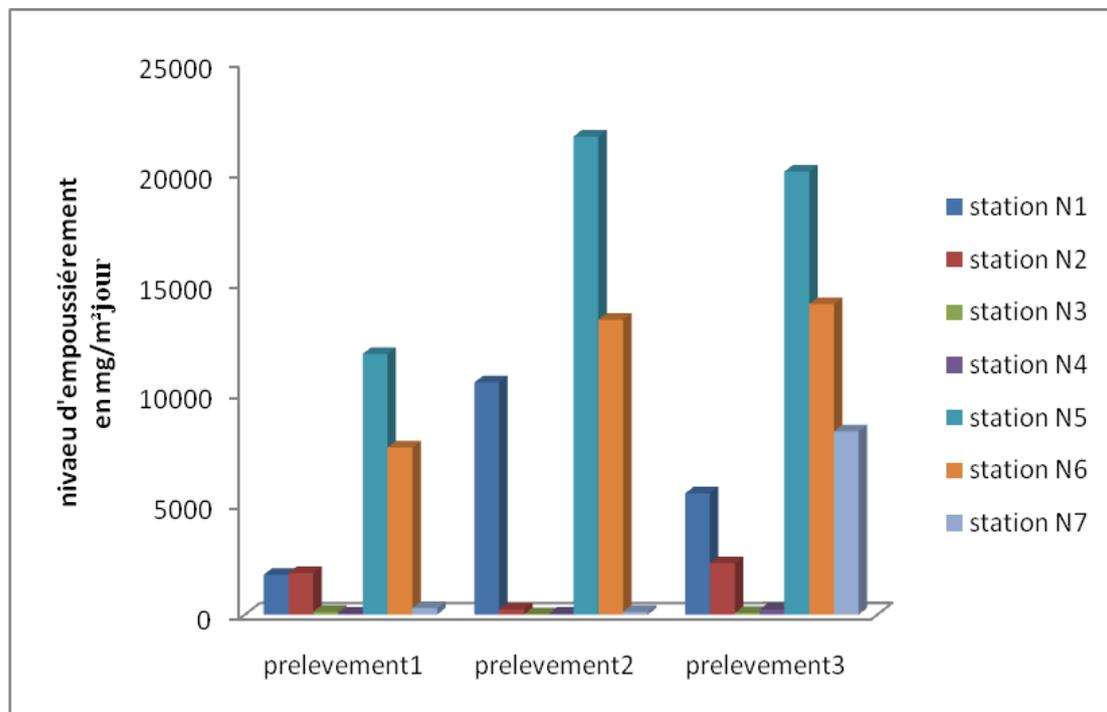


Figure 6.21 : Evolution du niveau d'empoussièrément période : du 19 Septembre au 3 Octobre

Les stations 3 et 4 mettent en évidence des niveaux d'empoussièrément nettement plus faibles, en effet protégées naturellement et éloignées des zones d'activités, elles sont donc peu influencées.

Série N° 4

Vu que les stations 3 et 4 ont enregistré des niveaux d'empoussièrément très faibles au cours des trois séries précédentes, le temps d'exposition des plaquettes pour cette série est pris égale à 28 jours ; du 10 Octobre au 7 Novembre. Les vents dominants pendant l'exposition des plaquettes sont Ouest Sud Ouest et Ouest. (Voir figure 6.22). Les valeurs des quantités de poussières récupérées sont consignées dans le tableau 6.4.

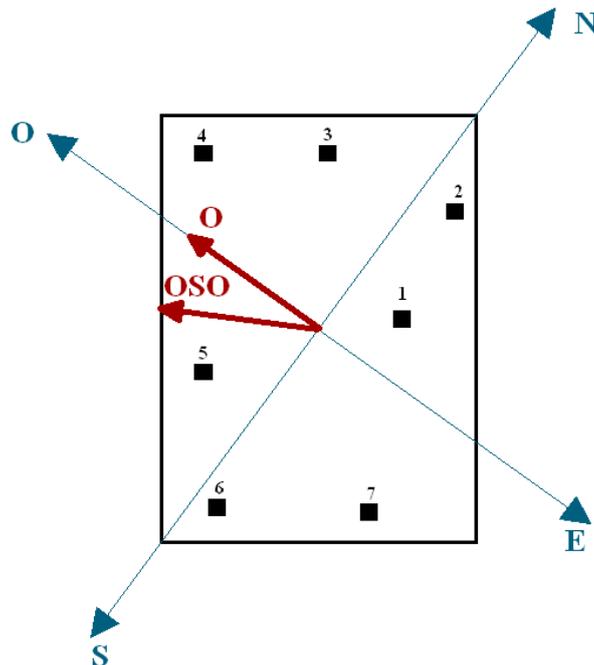


Figure 6.22 : Direction des vents dominants, Série 4

Tableau 6.4 : Empoussièrément pour un temps d'exposition de 28 jours

Stations	Nombre de jours	Prélèvement Mg /m ² /jour	Niveau d'empoussièrément
1	28	540	Moyen
2	28	15	Faible
3	28	61	Faible
4	28	84	Faible
5	28	3045	Fort

6	28	92	Faible
7	28	107	Faible

La figure 6.23 représente l'évolution de l'empoussièremment de la série 4 qui comprend un seul prélèvement avec un temps d'exposition de 28 jours. Durant cette période d'exposition, le niveau d'empoussièremment constaté pour la majorité des stations est faible même en le comparant à la norme environnementale allemande Ta-Luft [63] dont la référence est fixée à 350 mg/m² jour. Seule la station 5 enregistre un niveau fort, en effet la quantité de poussières récupérées dépasse toujours le seuil de 1000 mg/m²/jour fixé par la norme AFNOR [60], mais par rapport aux prélèvements des trois précédentes séries, la quantité de poussière recueillie sur la série 4 représente le quart des valeurs obtenues dans les séries précédentes.

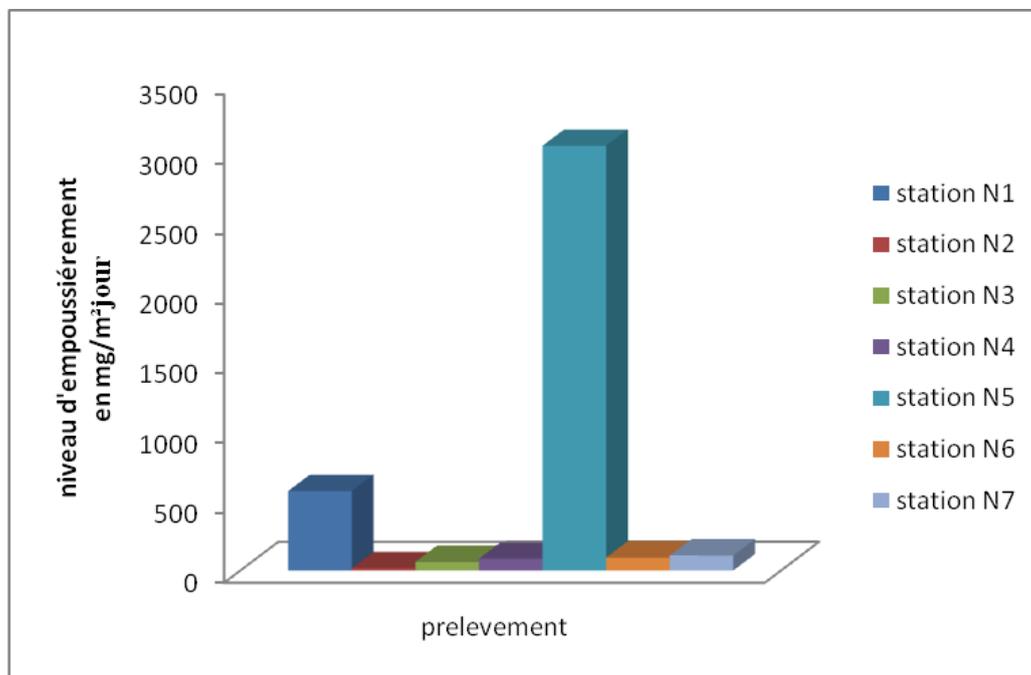


Figure 6.23 : Evolution du niveau d'empoussièremment période du 3 Octobre au 7 Novembre

Durant la période d'exposition des plaquettes de cette série, la pluviométrie sur la zone était importante, 15 jours de pluie comme indiqué par le bulletin météo [62]. Cette baisse de quantité de poussières mesurée au niveau des sites de prélèvement est donc due à la pluviométrie. Plus celle-ci est importante et plus les retombées de poussières sur le réseau des plaquettes sont faibles. Ces résultats ont été confirmés par d'autres études.

L'envol des poussières devient négligeable même lorsque le vent souffle à une vitesse de 11 m/s. Dans cette série N°4, les stations 1,2,3,4,6 et 7 sont bien en dessous du seuil fixé par la Norme en vigueur [60] et aucun dépassement de la valeur de référence fixée à 350 mg/m² jour par la Norme environnementale allemande Ta-Luft pour les particules

sédimentées [63] pour les stations 2,3,4,6 et 7 n'a été enregistrée. Le vent qui, au cours de cette période, a soufflé majoritairement Ouest Sud Ouest et la déficience du filtre de la ligne 1, ont fait que la station 1 a enregistré la valeur de 540 mg/m² jour. Cependant, la station 5 étant la plus exposée du fait de sa situation par rapport au concasseur du gypse et au stockage des ajouts a enregistré des quantités dépassant le seuil fixé par la Norme [60].

Dans une étude réalisée par ORAMIP sur les retombées de poussière dans le Midi Pyrénées (France), le niveau d'empoussièrément obtenu varie entre 35 et 123 mg/m² jour durant le mois d'Octobre [64]. Dans notre cas, toutes les valeurs obtenues varient de 15 à 107 mg/m² jour à l'exception des celles des stations 1 et 5. En effet les valeurs de ces stations sont anormalement élevées par rapport aux autres stations et ne sont pas prises en considération dans l'analyse de cette série parce que la déficience du filtre de la ligne 1 et le mauvais emplacement du concasseur du gypse sont derrière ces résultats et ont probablement perturbé les mesures. L'ordre de grandeur des niveaux d'empoussièrément obtenu dans cette étude est comparable à celui de l'étude réalisée dans le Midi-Pyrénées en utilisant la méthode des plaquettes métalliques [60].

Comparaison des quatre séries de prélèvement

La figure 6.24 illustre l'évolution de l'empoussièrément des 4 séries ou il est constaté que la station 5 enregistre au cours de chaque série le niveau d'empoussièrément le plus fort des 7 points de prélèvement dépassant largement le seuil acceptable fixée par la norme AFNOR [60].

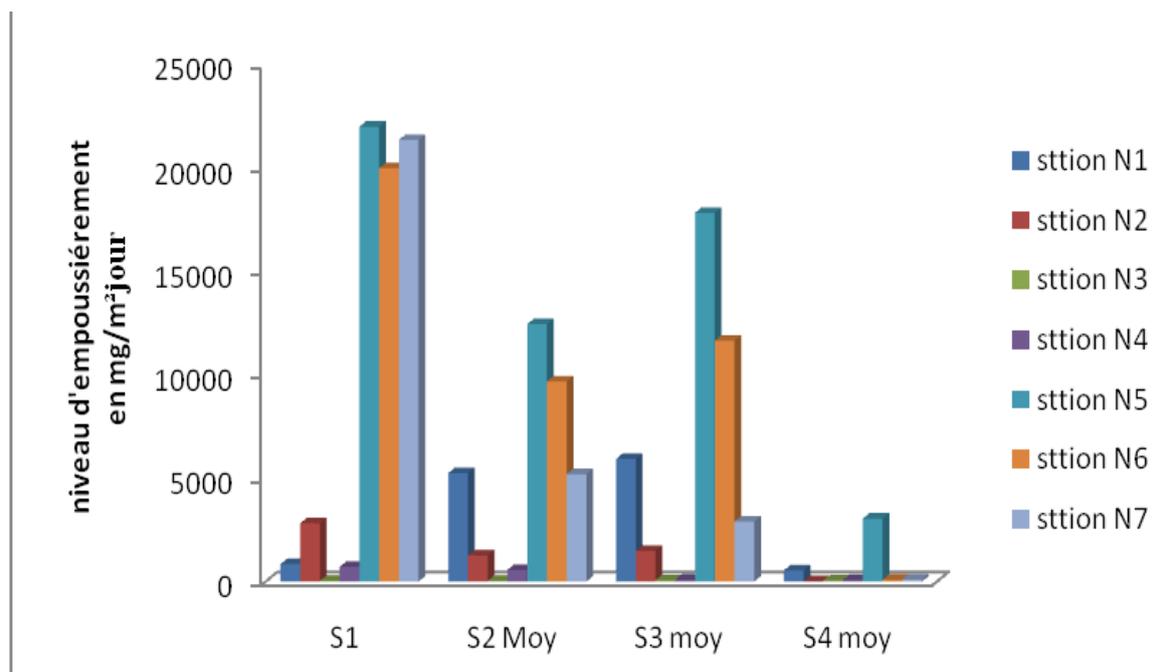


Figure 6.24 : Récapitulation de l'évolution de l'empoussièrément des 4 séries

Par contre, la station qui enregistre le niveau d'empoussièrement le plus faible pour les quatre séries de prélèvement est le site 3 dont les quantités de poussières recueillies sont inférieures à la valeur de référence fixée par la norme TA - Luft [63].

Les niveaux d'empoussièrement les plus forts ont été enregistrés lors de la première série de prélèvement qui s'est déroulée pendant la période la plus sèche et la plus chaude (T° 42°C à 46°C), par contre c'est au cours de la quatrième série dont les essais se sont déroulés par un temps humide et pluvieux que les niveaux d'empoussièrement les plus faibles ont été obtenus sur la majorité des points de prélèvement.

On estime que le niveau d'empoussièrement enregistrée durant cette étude est mieux représenté par les séries de prélèvement 2 et 3 que celui des autres séries, vu qu'ils n'ont pas été perturbé par des facteurs qui probablement pourraient fausser les mesures.

6.3.6. Analyse des résultats de l'opacimétrie

Pour le suivi en continu des émissions de poussières, la cimenterie dispose de sept appareils de mesure de l'opacimétrie de type C.P.M 5003 qui sont positionnés au droit de différents équipements, à savoir, filtres cru 1 et 2, filtres refroidisseurs 1 et 2, et broyeurs ciment BK1, BK2 et BK3 (voir Figure 6.4).

6.3.6.1 Mesures des opacimètres pendant la durée des prélèvements

Le tableau ci-dessous indique les quantités de poussières enregistrées au niveau des appareils de surveillance pendant l'étude expérimentale qui s'est étalée du 18 Juillet au 7 Novembre 2010 [65].

Tableau 6.5 : Récap – Opacimètre des émissions de poussière en mg/ N m³ pendant la période des prélèvements [65]

Mois	Ep1	Refroid 1	Refroid 2	Bk 1	Bk 2	Bk 3	Ep 2
Juillet	667,84	9,24	1,38	12,71	22,87	9,25	55,85
Aout	O.H.S*	2,19	1,27	10,91	23,72	8,79	75,41
Septembre	O.H.S	2,88	1,69	13,07	31,39	11,06	49,49
Octobre	O.H.S	2,62	1,42	13,13	30,85	12,83	17,5
Novembre	O.H.S	2,60	1,84	15,14	36,13	13,23	15,09
Moyenne	O.H.S	3,90	1,52	12,99	28,99	11,03	42,66

*O.H.S : Opacimètre Hors Service

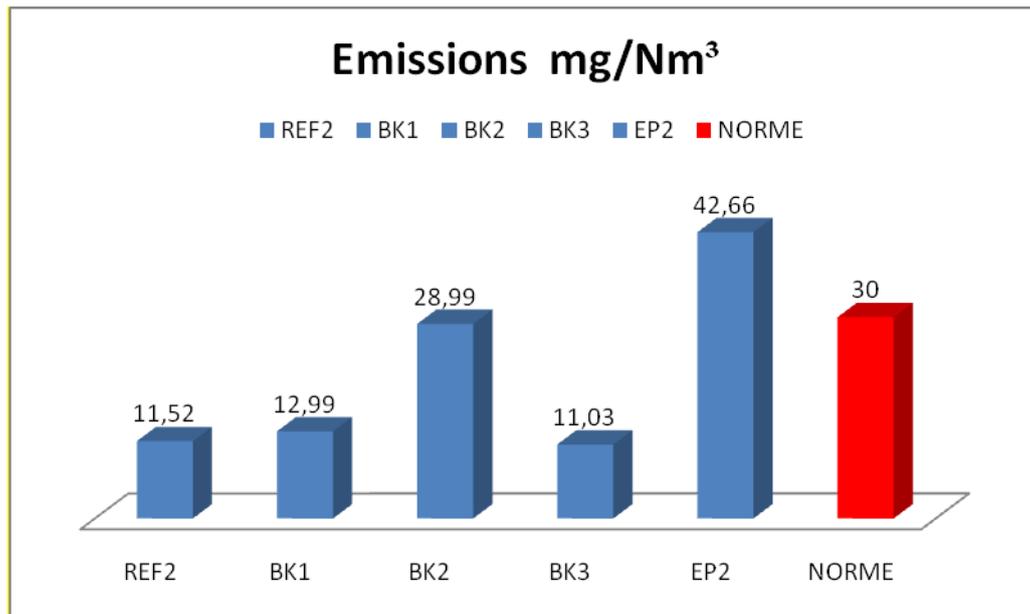


Figure 6.25: Evolution des émissions des poussières par l'opacimétrie CPM 500

La lecture du Tableau 6.5 nous permet de constater que la quantité de poussière émise varie de 1.52 à 28.99 mg/Nm³ pour les différents opacimètres utilisés. Ces résultats obtenus sont bien en dessous de la Norme Algérienne qui est de 30 mg/Nm³ [42]. Cependant, les opacimètres placés aux niveaux des filtres EP1 et EP2 ont enregistré des valeurs anormales, car l'opacimètre placé au niveau du filtre EP2 n'a été étalonné qu'au mois d'octobre, tandis que l'opacimètre d'EP1 (ligne 1) est hors service en attendant le remplacement de l'électro filtre par le filtre à manche qui sera opérationnel au début de l'année 2011.

Pendant la période des essais, la déficience de celui-ci est très importante (667,84 mg/Nm³ enregistré durant le mois de Juillet avant sa mise en hors service) qui peut atteindre 45 tonnes de poussière par heure [58], ce qui expliqua le fort niveau d'empoussièrement aux stations 1, 2 et 7 favorisé par le vent soufflant de Nord Est Nord Nord Ouest. Par ailleurs, les 7 plaquettes de prélèvement témoignent d'un niveau d'empoussièrement très élevé dépassant la norme de référence, ce qui mène à dire que les retombées de poussière recueillies ne proviennent pas seulement du processus de fabrication du ciment.

La station 5 a enregistré à chaque prélèvement le niveau d'empoussièrement le plus fort, alors que d'après les résultats des opacimètres se trouvant à proximité (voir figure 6.4), son niveau doit être le plus faible, ce qui confirme ce qui a été dit précédemment.

6.4 Caractérisation des retombées de poussière

Pour la caractérisation des particules de poussière prélevées des 7 points de surveillance, on a procédé à l'analyse chimique et la détermination de la taille des particules.

6.4.1 Analyse chimique

L'analyse chimique des échantillons recueillis au niveau de chaque station a été réalisée par la méthode d'analyse par fusion alcaline [66], adoptée par le laboratoire de la cimenterie pour les matières crues (calcaire pur, argile, farine crue, gypse...).



Figure 6.26 : Four à moufles [ECDE]

Etant donné que les échantillons sont composés de poussières et de vaseline, cette méthode est idéale car avant d'entamer les différentes étapes de l'analyse, celle-ci exige la calcination de l'échantillon dans un four à moufles (voir figure 6.26) ce qui provoque l'évaporation de la vaseline. Après calcination, l'analyse des échantillons est effectuée pour tous les points de prélèvement, à l'exception de l'échantillon recueillie à la station 3, dont la quantité est insuffisante pour l'analyse par fusion alcaline qui exige 0,5 g pour chaque échantillon. La composition chimique des poussières prélevées sur les plaquettes est donnée par le tableau 6.6.

Tableau 6.6 : Composition chimique des poussières prélevées

STATION	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	PAF %	So ₃
1	60,96	16,70	4,98	3,78	0,84	37	0,044
2	59,34	16,42	5,13	3,78	0,84	47	0,073
3	-	-	-	-	-	-	-
4	39,143	2,61	3,028	2,371	0,96	29	0,0483
5	49,63	1,65	3,634	3,085	0,96	27	0,83
6	37,88	16,35	3,32	2,60	1,91	34,52	0,06
7	39,87	15,94	3,02	2,36	1,19	39,05	0,024

Dans le but de comparer la composition obtenue pour la poussière étudiée, nous avons présenté le minimum et le maximum des composants pour les matières premières crues, clinker et ciment, adopté comme référence par le laboratoire de l'ECDE et sont illustrés dans le tableau 6.7.

Tableau 6.7 : Composants de cru et de ciment de l'E.C.D.E

COMPOSANTS	CRU	CLINKER	CIMENT
SiO ₂	12 – 16	19 – 25	17 – 23
Al ₂ O ₃	02 - 3,5	3,5 – 06	2,5 – 05
Fe ₂ O ₃	1,5 – 03	03 – 05	02 - 3,5
CaO	41,5 - 43,5	64 – 67	61 - 64,5
MgO	0,5 - 1,5	0,5 – 01	0,5 – 01
Na ₂ O	0,05 - 0,3	0,05 - 0,5	0,05 - 0,5
K ₂ O	0,6 – 01	0,6 – 01	0,3 – 02
SO ₃	0,05 - 0,08	0,08 - 0,05	01 – 02
cl-	0,002 - 0,006	0,002 - 0,006	0,005 - 0,1

La comparaison des valeurs des tableaux 6.6 et 6.7 montre une nette corrélation entre la composition chimique des échantillons des stations 1 et 2 et les composants de ciment : en effet 60% de CaO et 16.5% de SiO₂ en moyenne sont contenus dans la poussière, alors que la composition de référence varie de 61 à 64% pour le CaO et de 17 à 23% pour la SiO₂. Tandis que la composition des poussières des stations 4, 5, 6 et 7 montre une corrélation avec les composants du cru : 41% de CaO et 16% de SiO₂, alors que la composition de référence varie de 41.5 à 43.5% pour le CaO et de 12 à 16% pour la silice.

Ces résultats prouvent que les poussières recueillies sur les plaquettes proviennent effectivement de la zone d'activité de la cimenterie. De même, ces résultats viennent confirmer les résultats trouvés par l'étude d'impact de la cimenterie de Ain-touta, dont le suivi des retombées de poussière a été mené par l'utilisation des bacs [59].

6.4.2 Granulométrie des particules de poussière

La distribution en taille des particules de poussière recueillies a été déterminée par le granulomètre-laser (voir figure 6.27). Cette distribution est caractérisée par une granulométrie étalée, dont 80% en volume de particules ont des tailles supérieure à 10µm. Cette distribution classe ces particules comme des particules sédimentables[43]. Cette poussière est caractérisée par une surface spécifique de Blaine de 6080 cm²/g.



Figure 6.27 : granulomètre –laser [Laboratoire ECDE]

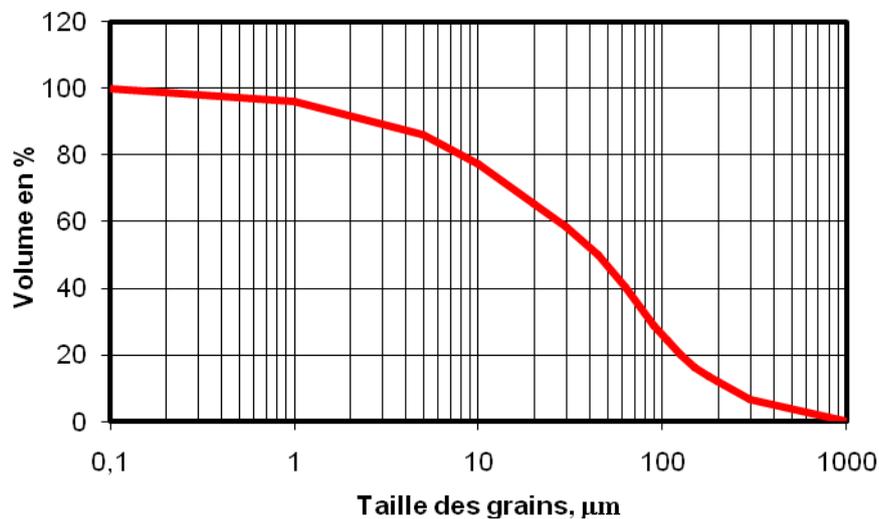


Figure 6.28 Distribution en taille des particules de poussière

6.6 Conclusion

La campagne de mesure des poussières sédimentables réalisée par la méthode des plaquettes décrite dans la norme AFNOR NFX43-007 [61], effectuée sur 7 points de prélèvements situés autour de la cimenterie de l'E.C.D.E, a donné des niveaux très forts d'empoussièremment au cours des 4 séries de prélèvements dépassant largement le seuil acceptable ($1000 \text{ mg/m}^2 \text{ jour}$) pour la station 5 et un niveau très faible d'empoussièremment pour la station 3. C'est au cours de la première série de prélèvements, dont l'exposition des plaquettes s'est déroulée en temps sec, que les plus forts niveaux d'empoussièremment ont été enregistrés, par contre c'est au cours de la quatrième série, dont l'exposition des plaquettes s'est déroulée en période humide et pluvieuse, que les niveaux les plus faibles d'empoussièremment ont été enregistrés sur la majorité des points de prélèvement, plus encore

les valeurs enregistrées aux stations 2, 3, 4, 6, et 7 sont en dessous de la valeur de référence fixée à 350 mg/ m² jour par la norme environnementale Allemande TA-Luft[64].

La quantification des poussières sédimentables autour de la cimenterie de l'E.C.D.E montre que, malgré les mesures draconiennes prises par celle-ci et qui lui ont permis de réduire ses émissions de poussières en dessous même du seuil fixé par la norme algérienne, (ceci est confirmé par les valeurs enregistrées par les opacimètres appareils de mesures des poussières placés aux niveaux de chaque source d'émission), les retombées de poussières sur les plaquettes au cours des 4 séries de prélèvement demeurent très élevées, donc celles-ci ne proviennent pas seulement du processus de fabrication.

On pense que la forte concentration trouvée au niveau de la station 5 est lié à la réception des ajouts et le concassage à ciel ouvert du gypse. Les stations 6 et 7 situées respectivement dans les zones trémie de réception du mélange et trémie du cru, d'où la majorité des poussières recueillies proviennent des fuites des bandes transporteuses (couvertures parfois détériorées) de la zone 5 et du filtre de la ligne 1 lorsque le vent souffle Nord Nord Ouest et Nord Est. Les stations 1 et 2 situées près de la zone commerciale ou le fort trafic des camions pour l'expédition du ciment empoussièrent tout le site surtout par temps sec. Les stations 3 et 4 mettent en évidence des niveaux d'empoussièrement nettement faibles, en effet peu influencées par les envols de poussières lorsque les vents soufflent du Nord Nord Ouest et Nord Est, protégées naturellement par les plantations d'arbres lorsque le vent souffle du Sud Ouest. L'analyse chimique des échantillons prélevés confirme une corrélation certaine avec les suppositions citées ci-dessus.

Pour réduire les retombées de poussières sédimentables, il est impératif pour l'E.C.D.E de :

- Délocaliser le concassage du gypse en l'installant au niveau de la carrière, réorganiser la réception des ajouts et la protéger des vents dominants afin d'éviter l'envol des poussières.
- Prévoir un programme d'arrosage intensif en période chaude et sèche dans les zones très sensibles, afin d'affaiblir les envols de poussières
- Rénover les parties détériorées des bandes transporteuses afin d'éviter les fuites et l'empoussièrement du site lorsque les vents dominants soufflent même à une vitesse faible.

- Prévoir un programme de nettoyage en continu au niveau des zones de réception du mélange, du hall de pré homogénéisation, de la zone de dosage du cru et de la zone de ciment.
- Poursuivre tout autour de la cimenterie le programme de plantation d'arbres entamé dans la zone du point de prélèvement 3.

Avec ces mesures le niveau d'empoussièrement sera probablement en dessous des seuils fixés par les normes AFNOR et TA-Luft. A partir des quantités de poussières recueillies au cours de la série N°4, nous pensons que ces deux normes sont probablement sévères pour les sites où le climat chaud et sec favorisant l'envol des poussières dure plus longtemps et où les périodes humides et pluvieuses sont très courtes. Ces normes environnementales favorisent les sites ou le climat est à longueur d'année humide et pluvieux.

La synthèse de l'étude bibliographique montre que la fabrication du ciment exige un savoir faire et une technologie très performante. Quatre procédés qui dépendent essentiellement des matériaux, sont utilisés à savoir : la voie humide (la plus ancienne), la voie semi-humide, la voie semi-sèche et la voie sèche. Cette dernière qui, grâce au progrès et aux nouvelles technologies reposant sur l'utilisation des chaleurs récupérées lors du processus, font d'elle la voie la plus privilégiée par la nouvelle industrie cimentière.

Le processus de fabrication du clinker fait de l'industrie du ciment une forte consommatrice en énergie calorifique, mais c'est aussi une grande génératrice de rejets polluants dans l'atmosphère : notamment le dioxyde d'azote (NO_x), l'oxyde de soufre (SO_2), le dioxyde de carbone (CO_2) gaz à effet de serre et les poussières en volume important. La réduction des émissions de CO_2 est le plus grand défi écologique que l'industrie cimentière doit relever et parallèlement les émissions des particules fines dont la forte et longue concentration dans l'air provoque des maladies respiratoires.

L'adoption des technologies de filtration de plus en plus efficaces telles que les filtres à manches pour capter les poussières générées par le traitement thermique ou le transfert des matières d'une part, et d'autre part la préservation des ressources naturelles par l'utilisation des déchets en valorisation énergétique et de la matière ont permis aux cimentiers d'atteindre un niveau performant en qualité du produit et en protection de l'environnement conformément aux exigences des normes élaborées par la plus grande Organisation Internationale de la Normalisation (I.S.O).

L'étude menée in situ à la cimenterie de l'E.C.D.E a permis de faire les recommandations suivantes :

- S'équiper d'un système robotique pour un contrôle en continu du cru afin de garantir une composition adéquate.
- Assurer la protection de l'environnement en continu et cela en étoffant le service de l'environnement en personnel qualifié et le doter de l'équipement utile à l'instar des cimenteries modernes.

- Créer une cellule de recherche au sein du laboratoire, celle-ci sera chargée d'exploiter les différents résultats d'études de valorisations des déchets industriels réalisées à leur niveau par les universitaires.

La campagne de mesure des poussières sédimentables réalisée par la méthode des plaquettes décrite dans la norme AFNOR [61], effectuée sur 7 points de prélèvements situés autour de la cimenterie de l'E.C.D.E, a enregistré des niveaux très forts d'empoussièremment au cours des 4 séries de prélèvements dépassant largement le seuil acceptable ($1 \text{ g/m}^2 \text{ jour}$) pour la station 5 de valeur variant de 20 à $5 \text{ g/m}^2 \text{ jour}$ et un niveau très faible d'empoussièremment pour la station 3 de valeur variant de 0.07 à $0.036 \text{ g/m}^2 \text{ jour}$.

C'est au cours de la première série de prélèvements, dont l'exposition des plaquettes s'est déroulée en période chaude et très sèche, que les plus forts niveaux d'empoussièremment ont été enregistrés, par contre les niveaux les plus faibles d'empoussièremment ont été enregistrés en période humide et pluvieuse sur la majorité des points de prélèvement, plus encore les valeurs enregistrées aux stations 2, 3, 4, 6, et 7 sont en dessous de la valeur de référence fixée à $0.35 \text{ g/m}^2 \text{ jour}$ par la norme TA-Luft [63].

Les niveaux d'empoussièremment affichés par les opacimètres placés aux niveaux de chaque source d'émission sont en dessous du seuil fixé par la norme algérienne (30 mg/N m^3) [42], cependant les retombées de poussières sur les plaquettes au cours des 4 séries de prélèvement demeurent très élevées selon la norme AFNOR. On pense que cette différence de niveau d'empoussièremment enregistrée par les deux méthodes ne provienne pas seulement du processus, mais d'autres facteurs tels que l'effet de l'éloignement par rapport à la source émettrice (la réception des ajouts et le concassage à ciel ouvert du gypse pour la station 5) et l'effet des vents dominants (Nord Nord Ouest et Nord Est pour les stations 6 et 7).

La caractérisation des particules de poussières des échantillons prélevés montre que ces particules proviennent du processus de fabrication du ciment, ce qui est démontré ci-dessus, confirmant ainsi les résultats de l'étude effectuée à la cimenterie de Ain touta. Cette dernière étude a recommandé de s'équiper de filtres performants. Cependant les résultats trouvés dans ce travail a montré que le niveau d'empoussièremment demeure élevé malgré l'utilisation des ces filtres.

Pour réduire les retombées de poussières sédimentables autour de la cimenterie, il est impératif pour l'E.C.D.E de :

- Délocaliser l'opération de concassage du gypse et la prévoir au niveau de la carrière, réorganiser la réception des ajouts et la protéger des vents dominants afin d'éviter l'envol des poussières.
- Prévoir un programme de nettoyage et d'arrosage intensif en période chaude et sèche dans les zones très sensibles, afin d'affaiblir les envols de poussières.
- Rénover les parties détériorées des bandes transporteuses afin d'éviter les fuites et l'empoussièrement du site lorsque les vents dominants soufflent même à une vitesse faible.

En se basant sur les résultats des niveaux d'empoussièrement obtenus lors de la quatrième série de prélèvement, il est constaté que les seuils définis par les normes AFNOR et Ta-Luft sont plus ou moins sévères pour les sites reconnus pour leur climat chaud et sec sur la plus grande partie de l'année et favorables pour les sites où le climat à longueur d'année humide et pluvieux, ce qui encourage à revoir les valeurs de référence fixées par ces normes particulièrement pour les sites de climat chaud.

Perspectives

Pour vérifier les résultats ci-dessus, il est recommandé d'orienter les futures recherches sur des campagnes de mesures s'étalant sur toute l'année et sur plusieurs sites dans différents endroits.

La recherche des matériaux écologiques permettant la production d'un éco-ciment pour protéger l'environnement et contribuer au développement durable.

Etude des émissions de CO₂ de l'industrie cimentière en Algérie et les mesures à prendre pour réduire son impact sur l'environnement.

Etude des causes entraînant les chutes fréquentes des briques réfractaires à l'intérieur du four de la cimenterie de l'E.C.D.E, responsable des arrêts fréquents dans la production.

Références bibliographiques

- [1] A.C.C : Atelier du Changement Climatique, Les enjeux du développement durable au sein de l'industrie du ciment : Réduction des émissions de CO₂, Rapport final, 2006-32 p.
- [2] JACQUES VECOVEN (HOLCIM) – L'industrie du ciment données générales, ATILH, Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques, Ecole thématique « Matériaux cimentaires » du 25 au 30 Septembre 2005 – 56 p
- [3] E.C.D.E, Rapport de gestion, Exercice 2009, Mai 2010, 112 p
- [4] Ciment Association of Canada, l'histoire du ciment portland, 2010 Terms of Use 5p
- [5] GUILLAUME FRANQUEVILLE (Lafarge) : La Technologie du Béton, chapitre 2 Les ciments, Degussa Construction chemicals 2006, 112 p.
- [6] PHOUMMAVONG VIMANE, Cours en ligne : matériaux de construction Chap.2 : Les ciments, université nationale de Laos, Editeur AUF, Agence Universitaire de la Francophonie Montréal Canada 2006, 10 p.
- [7] JACQUES ANDRE HERTIG, Etudes d'impact sur l'environnement, Traité de Génie Civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Vol.23, deuxième Edition 2006 , Pages 175 à 180.
- [8] GEORGES DREUX – JEAN FESTA : Nouveau guide du béton et ses constituants, huitième édition, première partie 110 p, 1998.
- [9] Commission Européenne Direction Générale Jrc, Document de référence sur les Meilleurs Techniques Disponibles dans l'industrie du ciment et de la chaux, Bureau Européen PRIP, Espagne (Séville), 2001, 153p
- [10] LAFARGE, Du déchet à la ressource : créer un système industriel durable, Dossier de presse Mai 2008, 13 p.
- [11] FRANCOIS AUDIBERT : Les huiles usagées raffinage et valorisation énergétique, Edition technip, Collection : Institut français du pétrole, 2002 336 p.
- [12] PATRIK ROUSSEAU – TIBERIU APOSTOL, Valeur environnementale de l'énergie ,collection des sciences appliquées de l'I.N.S.A de Lyon , 2000 presse polytechnique et universitaire romandes 172 p
- [13] PIERRE MASSLET, Environnement, Pollution atmosphérique : Causes, conséquences, solutions, perspectives, chapitre VII :effet de serre et changement climatique 21 p, Technosup, les filières technologiques des enseignements supérieurs, Ellipses édition 2005.
- [14] SVANTE ARRHENIUS, THOMAS C, CHAMBERLIN, JAMES CROLL,JOSEPH

- FOURIER , CLAUDE POUILLET, JHON TYNDALL : Sur les origines de l'effet de serre et du changement climatique, Edition Ville brule(la), 2010 , 280 p.
- [15] La production de ciment : « Guide pour l'estimation des gaz à effet de serre ». Division des gaz à effet de serre – Environnement CANADA Mars 2004 (Dans le cadre du plan d'action 2000 du gouvernement du CANADA sur le changement climatique).
- [16] C.I.T.E.P.A. (Centre Interprofessionnel Technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique), Inventaire des émissions de gaz à effet de serre de la région Aquitaine et ses départements pour les années 1990 et 2005 Rapport final octobre 2007, 161 p
- [17] CAROLINE GALLEZ AURORE MORON, Le ménager et l'environnement, Outils d'aide à la décision stratégique et opérationnelle, Collection Gérer l'environnement, 2003 , 260 p
- [18] B.I.M. (Belgium Institute of Management). « Evaluation des nuisances qui pourraient résulter du fonctionnement de la cimenterie de CHLEF ». Etude faite pour le projet Plastiques SONATRACH – 1976 -68 p
- [19] INFO CETIM, note trimestrielle d'information du centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de construction, industrie du ciment prévention et réduction de la pollution, N°05 Janvier 2002 8 p
- [20] Prevalence and Correlates Of Hearing loss in a cement factory, Les ouvriers des cimenteries risquent leur audition . Etude publiée dans le journal SALUD PUBLICA de MEXICO Vol 42 en Mars – Avril 2000.
- [21] W.B.C.S.D.: Conseil mondial des entreprises pour le développement durable,Cement, toward a sustainable cement industry revue 2002.
- [22] INFO-CIMENT – Magazine Comprendre N°2 “La contribution de l'industrie cimentière à la réduction des émissions de CO₂ .2005 7 p
- [23] Document publié par la Commission Européenne, au sujet des meilleures techniques disponibles (M.T.D.), relatives à La prévention et la réduction intégrées de la pollution, Article 16 paragraphe 2, de la directive N° 96/67/05
- [24] CEM BUREAU – Association Européenne du Ciment : L'industrie cimentière européenne et sa contribution dans la réduction des émissions, Rapport publié en 1988, 15 p.
- [25] HOLCIM : Production de ciment, priorité à la qualité, Recours aux combustibles et matières premières de substitutions,2004, 16 p
- [26] Jacques BARON et Raymond SAUTERREY : Le béton hydraulique connaissance et pratique, Chap.13 : l'activation hydraulique des laitiers pouzzolanes et cendres volantes 10 p, Presse Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1982.

- [27] M.VENUAT : La pratique des ciments mortiers et béton : Tome I- Caractéristiques des liants et béton, mise en œuvre des coulis et mortiers, chapitre 1 : les liants, 26 p, 2^{ème} Edition, Collection Moniteur 1989.
- [28] ASTM 618-94 « Cool fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete » ASTM Standard, 3 pages.
- [29] ENV 206, « Concrete performance, production, placing and compliance criteria » 1989
- [30] LAFARGE, Rapport de développement durable :2006 61 p
- [31] Pierre MASCLET: Pollution atmosphérique, causes conséquences, solutions, perspectives, Chapitre XII De Pollution industrielle 10 p, édition 2005.
- [32] R.FEURTET, ATILH, Association technique de l'industrie du liants hydrauliques, Réduction des poussières en cimenteries, revue N°3 2000, 148p
- [33] Martin RAYNAUD : L'INSA DE LYON Rapport sur l'environnement Département de Génie Energétique et Environnement –Juin 2004, 46 p
- [34] INFO-CIMENT : Base documentaire de référence sur les ciments et les bétons – Documentation Technique : « Normalisation des ciments » 2005
- [35] AFNOR : « Ciment et chaux » Recueil normes bâtiment et travaux publics, 2003 540p.
- [36] I.S.O : Organisation International de Normalisation, les normes internationales pour les entreprises, les gouvernements et la société, comment sont élaborées les normes, historique, 2009 5 p.
- [37] E.P.E : Association Française des entreprises pour l'environnement, partenaire du (W.B.C.S.D) Conseil mondial des entreprises pour le développement durable, Vade mecum sur le management environnemental 1997, 24p
- [38] EUROPA : Action de l'union européenne, L'environnement, magazine de la direction générale de l'environnement Mai – 2008 N°36 – 16 p
- [39] Norme Tunisienne homologuée par Arrêté du Ministre de l'Industrie du 03 Avril 1997 6 p
- [40] Décret Exécutif N°06 – 02 du 7 Dhou El Hidja 1426 correspond au 07 Janvier 2005 J.O.R.A N°01 de l'année 2005.
- [41] Commission Européenne, Direction général (centre commun de recherche), Techniques à prendre en comptes pour déterminer les M.T.D (Meilleures Techniques Disponibles), Décembre – 2001, 12 p.
- [42] Décret Exécutif N° 06- 138 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 Avril 2006 J.O.R.A. N°24 de l'année 2006

- [43] AIRFOBEP/ Association pour la Surveillance de la Qualité de l’Air de la Région de l’Etang de Berne, Les particules sédimentables sur la zone de l’étang de Berne, rapport technique, Février 2004, 33 p .
- [44] AIRFOBEP Etude 2008 – 23 Rapport annuel « Enrobés – Toulouse(2007) 18 pages
- [45] ISSeP: Service social des services du gouvernement Wallon, Environnement , Réseau poussières sédimentables, Fiche d’activités 2002 3 p(Norme AFNOR NFX43 – 014 jauges OWEN).
- [46] AIDQ : Agence international pour le développement de la qualité et l’environnement, Etude d’impact de la cimenterie de CHLEF, chapitre 3 : Effet du site sur l’environnement et mesures pour limiter, supprimer ou compenser les effets de l’installation, 2005, 25 p.
- [47] Florent PRATIONG : «Le management du risque carbone, Vie et sciences économiques, revue de l’association nationale des directeurs es sciences économiques et es sciences de gestion, 2006, 11 p
- [48] AFNOR SECURITE : Norme NF EN 197-1 conforme au Décret du 03/12/1992 modifié par le Décret du 01/03/1994.
- [49] HOLCIM : Fiches de données de sécurité des ciments courants, Ciment, version du 1/01/2009 10 p
- [50] BENDIB Abdelhamid : PDG du Groupe ERCE / GIC Historique du ciment et situation de la production du ciment en Algérie de 1962 à 2005, 2005 – 40 p .
- [51] E.C.D.E, Rapport de gestion exercice 2008, Mars 2009, 109 p
- [52] CETIM : Rapport contrôle N°01 – 2009 – « Analyses chimiques des matériaux ».
- [53] Norme algérienne NA 442 – Plan travail qualité. Version 2000,arrêté interministériel portant les spécifications techniques et les règles applicables aux ciments, Juin 2003, 4p
- [54] I.E.P.I : Institut de l’énergie et de l’environnement, Diagnostique énergétique d’une cimenterie, Fiche Technique Prisme N° 1, 9 p
- [55] POYRY – DRIRE en partenariat avec ADEME (agence de l’environnement et la maîtrise de l’énergie, Etude émissions chaudière biomasse, rapport Juin 2008 52 p
- [56] BOUBEKER Toufik « Evaluation des performances des ciments Portland au calcaire, exemple de la cimenterie de CHLEF », Mémoire de Magister, Université de Chlef, 2010, 92 p.

- [57] GONZAGUE-PILLET, ECOSY CENOBLE, KARIM ZEIN «Tableau de bord méso – économique des coûts et bénéfices environnementaux de l’industrie du ciment en Algérie » Résultats et guide méthodologique
- [58] RICAL KHELIFA NABIL RAHIM SAMI SEKIOU : » Impact des cimenteries sur l’environnement : le cas de la cimenterie de Ain touta. SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009
- [59] AIDEQ : Agence internationale pour le développement de la qualité et l’environnement « Etude d’impact de la cimenterie de l’E.C.D.E, 2005 92 p
- [60] Norme AFNOR NFX43 – 007 : Pollution atmosphérique mesure des retombées par la méthode des plaquettes de dépôt, Décembre 1973, Révisée en Décembre 2008 .Détermination de la masse des retombées atmosphériques sèches prélèvement sur plaquettes de dépôts préparation et traitement .
- [61] INTERCHIMIE, Fiche de données de sécurité, version du 28/03/06 3 p
- [62] Office National de la Météorologie, Direction Régionale Météorologique centre, Bureau assistance météorologique de CHLEF, Etude Fréquentiel du vent et nombre jours de pluie de la région de CHLEF, période du 17/07/2010 au 08/11/2010, Décembre 2010 , 1 p
- [6 3] Norme TA-LUFT – Loi fédérale allemande sur la protection de l’environnement contre les nuisances ; cette loi est précisée par 21 ordonnances et les instructions techniques sur la qualité de l’air.
- [64] ORAMIP : Observatoire Régional de l’Air en Midi – Pyrénées « Etude 2004 – 018 bilan annuel 2003 suivi des retombées de poussières en Midi –Pyrénées.
- [65] E.C.D.E : Management de la Qualité et de l’Environnement, Etats des valeurs d’émission de poussières du 17/07/2010 au 08/11/2010, 117 p.
- [66] Normes algériennes Ciment – conditions générales des essais chimiques, NA-237 2005 5 p et NA-5042(norme enregistrée) 2^{ème} Edition 2000 24 p (Edition et diffusion IANOR).

Résumé

L'industrie du ciment a évolué en fonction des innovations enregistrées dans différents domaines lui permettant d'intégrer des technologies modernes dans les différentes étapes de la fabrication, mais cela n'empêche pas la production d'engendrer des nuisances sur l'environnement telle que les émissions de poussières, responsables des maladies respiratoires et de dioxyde de carbone (CO₂), gaz à effet de serre responsable du réchauffement climatique. L'objectif du travail présenté est d'étudier la complexité du processus de fabrication du ciment et la démarche volontariste en matière d'environnement que poursuit l'industrie cimentière pour réduire les émissions atmosphériques et diminuer la consommation d'énergie fossiles et de matières premières. La présente étude mène une campagne de surveillance des poussières au sein de la cimenterie de Chlef en en utilisant la méthode des plaquettes métalliques. Des séries de prélèvements ont été effectuées pour mesurer de façon continue l'évolution de la quantité des particules sédimentables autour de la cimenterie et les résultats obtenus sont comparés avec ceux obtenues au moyen des opacimètres. Les niveaux d'empoussièrement affichés sont très élevés selon la norme AFNOR. On pense que le niveau d'empoussièrement enregistré ne provienne pas seulement du processus, mais d'autres facteurs tels que l'effet de l'éloignement par rapport à la source émettrice et l'effet des vents dominants. Pour réduire les émissions de poussières, il est impératif d'imposer des mesures draconiennes telles que prévoir l'opération de concassage du gypse au niveau de la carrière, réorganiser la réception des ajouts et la protéger des vents dominants pour éviter l'envol des poussières.

Abstract

The cement industry has developed in function of the realized in different fields enabling the introduction of modern technologies in various stages of the manufacture of the cement, but this does not avoid harmful effects on the environment such as dust emissions responsible for serious problems and greenhouse gas emissions responsible for global warming. The aim of the present work is to study the complexity of the manufacturing process of cement and the environmental efforts provided to reduce air emissions and decrease the consumption of fossil energy and raw materials. The present study conducts a campaign of monitoring dust in the cement plant of Chlef by using the method of metal plates. Sets of samples were performed to measure continuously the evolution of the amount of sedimentable particles around the cement plant and the results are compared with those obtained using opacimeters. Dust levels are very high according to AFNOR norms. It is believed that the dust level recorded is not produced by only the process, but other factors such as the effect of distance from the emission source and the effect of prevailing. To reduce dust emissions, it is suggested to impose serious measures such as planning the operation of crushing the gypsum at the quarry, reorder receiving admixtures and protecting them from prevailing winds to avoid unnecessary dust hazard.

ملخص

تطورت صناعة الاسمنت تماشيا مع الابتكارات المسجلة في ميادين مختلفة تمكنها من دمج تقنيات حديثة في مختلف مراحل التصنيع، لكن هذا لا يمنع الإنتاج من إلحاق أضرار على البيئة كانبعاثات الغبار، المسؤولة عن أمراض الجهاز التنفسي وثاني أكسيد الكربون (CO₂) غاز الاحتباس الحراري المسؤول عن ارتفاع درجة حرارة الأرض. الهدف من هذا العمل هو دراسة مدى تعقيد عملية صناعة الإسمنت والخطوات الإرادية على البيئة التي تسببها صناعة الاسمنت للحد من انبعاثات الهواء و التقليل من استهلاك الطاقة والمواد الأولية. هذه الدراسة هي رصد الغبار في مصنع الاسمنت بالشلف باستخدام طريقة اللوحات المعدنية. تم تنفيذ سلسلة من العينات لقياس مستمر لكمية الجزيئات المترسبة حول المصنع وتتم مقارنة النتائج مع تلك التي تم الحصول عليها باستخدام جهاز opacimétrie. مستويات الغبار المسجلة مرتفعة جدا حسب التصنيف AFNOR. نعتقد أن عوامل أخرى مثل البعد عن مصدر التأثير وتأثير الرياح السائدة . للحد من انبعاثات الغبار، لا بد من فرض تدابير صارمة لتوفير عملية سحق الجبس في المحجر، وإعادة ترتيب استقبال الإضافات وحمايتها من الرياح السائدة لتجنب تطاير الغبار.