

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Benbouali de Chlef

Faculté Génie Civil et d'Architecture

Département de Génie Civil



THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité : Génie Civil

Par

Khadidja ZOUAI épouse HENNI-CHEBRA

Thème :

**ETUDE DE L'EMPOUSSIEREMENT ENGENDRE PAR LA
FABRICATION DU CIMENT SUR LA REGION DE CHLEF**

Soutenue le 07/03./2017, devant le jury composé de :

Abdelkader KADRI	Professeur	Université .H.B.B de Chlef	Président
Abdelkader BOUGARA	Professeur	Université .H.B.B de Chlef	Rapporteur
Nadia BELAS BELARBI	Professeur	Université de Mostaganem	Examinatrice
Nasreddine BOUHAMOU	Professeur	Université de Mostaganem	Examineur
Karim EZZIANE	Professeur	Université .H.B.B de Chlef	Examineur
Ali MAKHLOUF	Professeur	Université U.H.B.B de Chlef	Examineur

Remerciements

Tout d'abord, j'exprime mes remerciements à **ALLAH, Le Tout Puissant**, pour m'avoir accordé la foi, la volonté, le dynamisme et le courage pour mener à bien ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance et tous mes remerciements à mon Directeur de thèse le Professeur **BOUGARA Abdelkader**, pour son aide permanente et son suivi durant toute la graduation et l'intérêt qu'il a porté à ce travail, pour ses suggestions constructives, ses propositions et remarques, pour ses grandes qualités pédagogiques, ainsi que pour la rigueur scientifique qu'il a su me communiquer pour mener au mieux ce travail. Présent dans mes débuts incertains, dans les moments de découragements, il a su me faire découvrir la patience nécessaire dans la recherche.

Mes remerciements à monsieur **KADRI Abdelkader** Professeur à l'Université de Chlef d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Je tiens également à remercier les examinateurs de ce travail, Madame **BELAS BELARBI Nadia** Professeur à l'Université de Mostaganem, Monsieur **BOUHAMOU Nasreddine** Professeur à l'Université de Mostaganem, Monsieur **MAKHLOUF Ali** Professeur à l'Université de Chlef et Monsieur **EZZIANE Karim** Professeur à l'Université de Chlef. Je les remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury.

Je remercie aussi vivement **Mme BENACEUR Khadidja** du service formation de l'ECDE et **Mme KAROUZI Nassima** responsable du Laboratoire de l'ECDE ainsi que toute son équipe du laboratoire physique Messieurs **Tahar, Touil et Bacha** et l'équipe du laboratoire chimique **Mm Amel C** et son équipe pour leur accueil et leur aide permanente et leur intégration au sein du laboratoire.

J'exprime mes sincères remerciements à **Mme ARHAB Fatma** Enseignante au Département d'Architecture, au **Dr SAID-MANSOUR Mohamed** Chef du Département d'Architecture, au **Dr MEZIANE Hadj** Chef du Département de Génie civil, au **Dr ADJOUJ Mohamed** Université de Tissemsilt et à Messieurs **Guidoune Berkane** du Département de Génie Civil et **Toutaoui** du Département d'Architecture pour leur aide et soutien.

Je remercie aussi Mlle **Zouai Ghoulane** pour son aide précieux et sa disponibilité

Arrivant au terme de ce travail, je souhaite exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à l'élaboration de ce travail et m'ont apporté leur soutien. Aussi je remercie vivement tous ceux qui par la volonté d'ALLAH m'ont permit d'entamer ce long parcours.

Table des matières

Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Résumé	
Introduction générale	1
Chapitre I :	
Généralités sur la pollution atmosphérique	
1.1. Introduction	5
1.2. Définition de la pollution atmosphérique	5
1.3. Structure de l'atmosphère terrestre	6
1.4. Composition de l'air	7
1.5. Emetteurs de la pollution atmosphérique	8
1.5.1. Emissions anthropiques	8
1.5.1.1 Polluants primaires	8
1.5.1.3 Polluants secondaires	9
1.5.2 Emissions naturelles	10
1.6 Cas du dioxyde de carbone et du méthane	10
1.7 Différentes échelles de la pollution de l'air	10
1.7.1 Echelle locale	11
1.7.2 Echelle régionale	11
1.7.3 Echelle globale	11
1.8. Influence météorologique sur la qualité de l'air	11
1.8.1 Influence du vent	12
1.8.2. Influence de la chaleur et de la lumière	12
1.8.3. Influence des pluies	12
1.8.4. Influence de la couche d'inversion	12
1.9. Effet des polluants sur la santé	13
1.9.1. Types d'exposition	13
1.9.2. Principaux polluants	14
1.10. Effet des polluants sur la faune et la flore	14

1.11. Réglementation.....	15
1.11.1 Normes Européennes.....	16
1.11.2. Recommandations de l’O.M.S.	17
1.11.3. Normes de qualité de l’air en Algérie.	17
1.12. Conclusion.....	19

Chapitre II :

Généralités sur les Poussières

2.1. Introduction	21
2.2. Définition et origine des aérosols.....	21
2.3. Nature des poussières	22
2.3.1. Poussières naturelles	22
2.3.2. Poussières anthropiques	23
2.4. Tailles des particules	23
2.4.1 Poussières fines	26
2.4.2 Poussières sédimentables	26
2.5. Impact des poussières sur la santé.....	27
2.6 Normes et mode d’application	29
2.6.1 Réglementations françaises et européennes	29
2.6.2. Réglementation algérienne.....	31
2.7. Poussières de ciment	31
2.8. Effet des poussières sédimentables sur l’écosystème	32
2.8.1. Effets sur le cadre bâti.....	33
2.8.2. Effets sur la végétation.....	34
2.9. Procédés de réduction.....	34
2.9.1. Cyclones	35
2.9.2. Laveurs	35
2.9.3. Electrofiltre.....	35
2.9.4. Filtres à manche	35
2.10. Matériels et méthodes de surveillance	35
2.11. Conclusion.....	38

Chapitre III :

Empoussièrèment au sein de la cimenterie

3.1. Introduction	41
3.2. Présentation des méthodes	42
3.2.1. Appareillage	43
3.2.2. Programme de surveillance	44
3.2.3. Détermination du niveau d'empoussièrèment.....	45
3.3. Résultats et discussion.....	46
3.3.1. Caractérisation des particules de poussières	46
3.3.2. Niveau d'empoussièrèment de la série 1	47
3.3.3. Niveau d'empoussièrèment de la série 2.....	48
3.3.4. Niveau d'empoussièrèment de la série 3	49
3.3.5 Niveau d'empoussièrèment de la série 4.....	50
3.3.6. Comparaison du niveau d'empoussièrèment pour les 4 séries	51
3.4. Résultats de l'opacimétrie	53
3.5. Conclusion.....	55

Chapitre IV :

Empoussièrèment aux alentours de la cimenterie

4.1. Introduction	57
4.2. Partie expérimentale	57
4.2.1. Matériels utilisés	57
4.2.2 Réseau de prélèvement.....	58
4.3 Présentation et discussion des résultats.....	59
4.3.1. Situation météorologique	60
4.3.2. Niveau d'empoussièrèment	63
4.3.2.1. Evolution du niveau d'empoussièrèment de la station 1	65
4.3. 2.2. Evolution du niveau d'empoussièrèment de la station 2.....	66
4.3.2.3 Evolution du niveau d'empoussièrèment de la station 3.....	67
4.3.2.4. Evolution du niveau d'empoussièrèment de la station 4.....	68
4.3.2.5. Evolution du niveau d'empoussièrèment de la station 5.....	68
4.3.2.6. Comparaison des prélèvements mensuels	69
4.3.2.7 Comparaison des prélèvements annuels.....	70
4.3.2.8. Variation de la poussière en fonction des données climatiques	72

4.4. Analyse chimique des poussières	75
4.5 Conclusion.....	76

Chapitre V :

Valorisation des poussières de ciment

5.1 Introduction	80
5.2. Estimation de la quantité de poussière	81
5.3. Valorisation de la poussière de ciment.....	82
5.4. Expérimentation	84
5.4.1. Matériaux utilisés	84
5.4.1.1 Poussières	84
5.4.1.2. Ciment	86
5.4.1.3. Sable	87
5.4.1.4. Eau de gâchage :.....	87
5.4.1.5. Confection des éprouvettes	87
5.4.2. Procédure expérimentale	87
5.4.2.1. Essais mécaniques	87
5.4.2.2 Essais physiques	88
5.5. Résultats et analyse	89
5.5.1. Analyse chimique	89
5.5.2 Caractéristiques physiques	89
5.5.3 Caractéristiques mécaniques	91
5.6. Avantages de la valorisation	96
5.7 Conclusion.....	97
Conclusion générale	98

Liste des figures

Figure 1.1 : Structure atmosphère terrestre	7
Figure 2.1 : Repère de tailles des particules PM 10 et PM 2,5 (source AIRPARIF)	24
En les comparant à la section de cheveu de 60 µm	24
Figure 2.2 : Taille des particules échelles et ordre de grandeur (source CITEPA)	25
Figure 2.3 : Emissions de poussières par procédés industriels (source CETEPA)	27
Figure 2.4 : Pénétration des particules selon leurs tailles (source CITEPA)	28
Figure 2.5 : Effets de la pollution sur le bâti, présence de croûtes noires (source AIRPARIF)	34
Figure 2.6 : Poussière de ciment recouvrant les feuilles et les fruits d'un pommier, la poussière a empêché un traitement de pré récolte d'agir	35
Figure 2.6 : Plaquette métallique fixée sur un support à 1,50 m du sol (source ORAMIB) ...	38
Figure 2.7 : Jauge Owen	38
Figure 3. 1 : Dimensions de la plaquette métallique	43
Figure 3.2 : Appareil d'Opacimétrie CPM 5003 source [59]	44
Figure 3.3 : Réseau de surveillance	44
Figure 3.4 : Séries de prélèvement	45
Figure 3.5 : Distribution en taille des particules de poussière	47
Figure 3.6: Evolution du niveau d'empoussièremment : Série 1	48
Figure 3.7 Niveau d'empoussièremment Série 2	49
Figure 3.8 Evolution de l'empoussièremment de la série 3	50
Figure 3.9 : Evolution de l'empoussièremment de la série 4	51
Figure 3.9 : Courbe d'évolution des moyennes des retombés totales sur la période des 4 séries	52
Figure 3.10 : Évolution des émissions de poussières au moyen des opacimètres CPM 500	54
Figure 4.1 : Disposition des stations	59
Figure 4.2 : Station 5	59
Figure 4.3 : Plaquette Métallique	59
Figure 4.4. : Variation de la moyenne mensuelle de la température	61
Figure 4.5. : Précipitation moyenne mensuelle	62
Figure 4.6. : Humidité relative moyenne	62
Figure 4.7 Rose des vents	63

Liste des figures

Figure 4.9. : Pesée des filtres à blanc	64
Figure 4.10. : Montage dissolution du fixateur	64
Figure 4.11. : Particules retenues par le filtre	64
Figure 4.12. : Dissolution du Fixateur.....	64
Figure 4.13 : Plaquettes métalliques	64
Figure 4.14 : Filtres chargé	64
Figure 4.15: Evolution des retombées de poussières de la station 1 d'avril 2014 à mars 2015	67
Figure 4.16: Evolution de l'empoussièremment de la station 2 d'avril 2014 à mars 2015.....	68
Figure 4.17. : Evolution de l'empoussièremment de la station 3 d'avril 2014 à mai 2015.....	69
Figure 4.18 : Evolution de l'empoussièremment de la station 4 d'avril 2014 à mars 2015.....	69
Figure 4.19 : Evolution de l'empoussièremment de la station 5 d'avril 2014 à mars 2015.....	70
Figure 4.20 Comparaison des 12 prélèvements.....	71
Figure 4.21 Evolution des valeurs moyennes et médianes des retombées de poussières	72
Figure 4.22 Evolution du niveau d'empoussièremment en fonction des températures.....	74
Figure 4.23 Evolution du niveau d'empoussièremment en fonction des précipitations	75
Figure 4.24 Evolution du niveau d'empoussièremment en fonction de l'humidité	75
Figure 4.25 Evolution du niveau d'empoussièremment en fonction de la vitesse du vent	76
Figure 5.1 : Courbe granulométrique de la poussière de ciment.....	86
Figure 5.2 : Mesure du retrait par le Retractomètre	88
Figure 5.2 : Variation de la Résistance à la compression des mortiers	92
Figure 5.3 : Variation de la Résistance à la Flexion des mortiers	93
Figure 5.4 : Variation de la Résistance à la compression des mortiers de ciment de poussière à 28 jours.....	94
Figure 5.5 : Evolution du retrait des mortiers avec des taux croissants de poussières.....	95

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Seuil d'information des principaux polluants	16
Tableau 1.2 : Valeurs recommandées par l'O.M.S	17
Tableau 1.3 : Valeurs limites et seuils d'alerte des polluants	18
Tableau 2.1 : Organes exposés aux particules fines (Wichman et Peters) source	28
Tableau 2.1 : Effets des particules à court et à long terme (source RISE).....	28
Tableau 2.2 : Normes françaises et européennes	29
Tableau 2.3 : Normes de l'US-EPA	30
Tableau 2.4. : Recommandations O.M.S.	30
Tableau 2.5 : Les types de poussières engendrées par la production du ciment	32
Tableau 3.1 : Analyse chimique des poussières	46
Tableau 4.1 : Catégories définies par l'ISSEP pour les poussières sédimentables	60
Tableau 4.2 : Niveaux d'empoussièrement des 14 prélèvements pour les cinq stations	64
Tableau 4.3 : Moyenne des retombées des études antérieures et celle de cette étude	72
Tableau 4.4 : Composition chimique des poussières	75
Tableau 5.1 : Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes.....	83
Tableau 5.2 : Caractéristiques physiques de la poussière	85
Tableau 5.3 : Composition chimique de la poussière.....	85
Tableau 5.4 : Analyse granulométrique de la poussière.....	85
Tableau 5.5 : Composition chimique du ciment utilisé.....	86
Tableau 5.6 : Composition minéralogique du ciment	87
Tableau 5.7 : Caractéristiques mécaniques	87
Tableau 5.8 : Taux de substitution du ciment par la poussière	88
Tableau 5.9 : Analyse chimique de la poussière collectée.....	89
Tableau 5.10 : Refus des échantillons (ciment-poussières)	90
Tableau 5.11 : Caractéristique physique des échantillons.....	90
Tableau 5.12 : Résistance à la compression.....	91
Tableau 5.13 : Résistance à la flexion des échantillons	94
Tableau 5.14 : le retrait des mortiers à 7, 14, 21 et 28 jours	96

Résumé

L'industrie du ciment est considérée comme une des importantes sources d'émission des polluants atmosphériques comme le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, les oxydes d'azotes et les particules en suspension. Ces dernières représentent le principal polluant des cimenteries algériennes. C'est dans ce contexte que l'objectif du travail présenté est basé ; c'est l'étude de l'empoussièrement engendré par la cimenterie de Chlef qui compte parmi les plus grandes en Algérie. Une campagne de surveillance des retombées de poussières a été réalisée au sein et aux environs de la cimenterie en tenant compte des différents facteurs qui peuvent intervenir et amplifier son action. La méthode des plaquettes métalliques a été utilisée pour mesurer les niveaux d'empoussièrement. Les valeurs enregistrées seront comparées à la valeur seuil de plusieurs normes dont la norme française pour indiquer si la zone est faiblement ou fortement polluée. Etant donné l'importance de la quantité de particules de ciment collectée, il a été procédé à sa valorisation pour une utilisation bénéfique et judicieuse.

Les résultats obtenus font constater que la forte concentration des poussières provient en majeure partie des fuites au niveau du broyage clinker, produit fini et expédition ciment. La quantité de retombées de poussières diminue à mesure que les précipitations augmentent. Ceci suggère que les seuils définis par les normes Françaises et Britanniques conviennent pour des périodes humides et pluvieuses. Il est montré dans cette étude que ce ciment peut être exploité partiellement ou totalement dans la confection des matériaux cimentaires destinés aux travaux de constructions. L'utilisation de ces poussières permettra à la cimenterie d'économiser ses ressources énergétiques ainsi que ses ressources naturelles.

Mots clés : Pollution d'air, environnement, poussière, conditions climatiques, ciment, valorisation

ملخص

تعتبر صناعة الإسمنت مصدرا هاما من مصادر انبعاث ملوثات الهواء مثل ثاني أكسيد الكبريت وأول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والجسيمات المعلقة في الهواء، تعتبر هاته الجسيمات الملوث الرئيسي لمصانع الاسمنت الجزائري. وفي هذا المجال يهدف البحث المقدم إلى دراسة انبعاث الغبار من مصنع الاسمنت بالشلف الذي يعتبر من بين المصانع الأكثر إنتاجا في الجزائر. أجريت حملة مراقبة تساقط الغبار داخل وحول مصنع الاسمنت مع الأخذ بعين الاعتبار العوامل المختلفة التي قد تتدخل وتضخم من تأثير الغبار المتساقط. تم استخدام طريقة اللوحات المعدنية لقياس مستويات الغبار. يتم مقارنة القيم المسجلة بالقيمة المحددة للعديد من المواصفات بما في ذلك المواصفة الفرنسية لتبيان ما إذا كانت منطقة ضعيفة أو قوية التلوث. ونظرا لأهمية كميات جزيئات الإسمنت المتحصل عليها عن طريق حملة مراقبة تساقط الغبار، سيتم في المرحلة الثانية من هذا البحث، تثمينها لاستخدام مفيد وفعال.

توضح النتائج أن نسبة عالية من الغبار المتحصل عليها عن طريق حملة مراقبة تساقط هي ناتجة عن عمليتي طحن الكلنكر و شحن المنتج النهائي (الاسمنت). لاحظنا أيضا أن كمية الغبار المتساقط تتناقص عند زيادة هطول الأمطار. وهذا يوحي بأن العتبات المحددة وفقا للمواصفة الفرنسية والبريطانية مناسبة للفترات الرطبة والممطرة. وتبين في هذه الدراسة أن الإسمنت الملتقط يمكن استعماله جزئيا أو كليا في أشغال البناء و هذا بعد إعادة تثمينه

استعمال هذا الغبار سوف يسمح لمصانع الاسمنت باقتصاد الطاقة والموارد الطبيعية.

كلمات البحث: تلوث الهواء والبيئة، الغبار، الطقس، الأسمنت، إعادة التدوير

Abstract

The cement industry is considered as a major source of emissions of air pollutants such as sulfur dioxide, carbon monoxide, oxides of nitrogen and particulates. These latter represent the major pollutant in the Algerian cement industry. In this context, the objective of this work focuses on the study of the level of dust generated by the cement of Chlef, as being one of the largest in Algeria. A dust fallout monitoring campaign was conducted in and around the cement plant taking into account the favor factors that may intervene and boost its action. The method of the metal plates was used to measure levels of dust. The recorded values will be compared to the threshold value of several standards including the French standard to indicate if the zone is weakly or strongly polluted. Given the importance of the collected amount of cement particles, it was valorized for a beneficial and effective use.

The obtained results make it clear that the high concentration of dust resulted mostly from leaks in the clinker grinding, finished product and shipping cement. A decrease in dust fallout by reason of the increase in rainfalls. This suggests that the thresholds defined by the French and British standards suitable for wet and rainy periods. It is shown in this study that cement can be operated partly or wholly in the manufacture of cementitious materials for work constructions. The use of this dust will allow the cement to save energy resources and natural resources.

Key words : Air pollution , environment, dust, climate conditions, cement, valorization

Introduction générale

La pollution atmosphérique est un sujet qui touche de près la qualité de vie de la population. L'activité humaine avec ses développements et ses progrès industriels génère de plus en plus de polluants dans l'air que nous respirons, ce qui endommage la santé humaine, l'environnement et à long terme les ressources nécessaires au développement durable de notre planète. La pollution de l'air devient le sujet constant d'inquiétude qui préoccupe les environnementalistes, les citoyens, les politiciens ainsi que les gouvernements. Selon les normes actuelles, une grande partie de la population ne vit donc pas dans un environnement sain [1]. Pour faire face à ce fléau dont la menace pèse sur la santé des êtres humains, des luttes acharnées sont engagées pour épurer l'air des agglomérations, ce qui est devenu le plus grand défi de beaucoup de pays du monde.

Malgré son évolution en fonction des innovations enregistrées dans différents domaines lui permettant d'intégrer des technologies modernes dans les différentes étapes de la fabrication, l'industrie cimentière est considérée comme une des principales sources d'émissions de polluants atmosphériques comme les poussières, le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote.

En Algérie, l'état a consenti de très importants investissements pour le développement de cette industrie de base qui compte quatorze cimenteries dont deux appartiennent au secteur privé. Mais en raison de la forte demande toujours croissante accentuée par le programme de relance économique (autoroutes, un million de logements, autres équipements publics) leurs capacités demeurent insuffisantes pour la consommation présente et encore plus pour la consommation des années à venir. Pour remédier à cela, l'industrie cimentière a décidé d'investir en réalisant de nouvelles cimenteries d'ici 2022 [2].

Mais malheureusement, les cimenteries algériennes sont les plus grandes productrices de poussières, 10% environ de la quantité de ciment produite étant rejetée dans l'atmosphère sous forme de poussière générant ainsi une pollution [3]. 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. Ainsi tous les sites sont aujourd'hui équipés des meilleures techniques disponibles en matière de systèmes de dépoussiérage des fumées. Cette politique a-t-elle permis aux cimenteries algériennes de réduire drastiquement leurs émissions de poussière et relever ainsi leurs défis.

Dans ce contexte, une étude est envisagée sur l'industrie cimentière de Chlef qui compte parmi l'une des plus importantes cimenteries en Algérie d'une part et dont tout son système de dépoussiérage a été renouvelé par des techniques des plus performantes d'autre part. L'objectif de cette étude est basé tout d'abord sur la mesure de l'empoussièrment à l'intérieur et à l'extérieur de la cimenterie en tenant compte des différents facteurs qui peuvent intervenir et amplifier son action. Les résultats obtenus serviront à évaluer les effets nocifs de l'empoussièrment en considérant les différentes réglementations sur l'environnement et proposer certaines recommandations et solutions susceptibles de réduire les conséquences graves de cette pollution.

L'étude est composée tout d'abord par le chapitre **1** consacré au constat général sur la pollution atmosphérique et son impact sur l'environnement, plus exactement ces conséquences sur la santé humaine, la faune et la flore. Déterminer les différentes sources de pollution tout en identifiant les polluants émis et de spécifier leur niveau d'action ainsi que les législations les concernant.

Le chapitre **2** sera consacré à une synthèse des connaissances acquises concernant les particules atmosphériques qui constituent la part majeure de la pollution de l'air. Leurs pires impacts environnementaux sont subis par les humains, les animaux et les végétations. Prendre aussi connaissance des méthodes et les nouvelles technologies adoptées pour réduire leurs émissions dans l'atmosphère ainsi que la réglementation et les normes et méthodes de quantification permettant de déterminer les niveaux d'empoussièrment atteints.

Le chapitre **3** est dédié à la mesure du niveau d'empoussièrment engendré par le processus de fabrication du ciment au sein de la cimenterie de Chlef en utilisant la méthode des plaquettes métalliques décrite par la norme Française NFX 43-007 [4] dans le but de déterminer les différentes sources d'émission. L'étude prendra en compte les éléments climatiques de la région. Les résultats enregistrés seront confrontés aux valeurs seuils admissibles par la norme. L'analyse des résultats obtenus tiendra compte aussi des résultats obtenus par les opacimètres dont les valeurs seuils sont définies par la norme Algérienne [5]

Le chapitre **4** est ciblé sur les particules sédimentables, plus précisément sur l'impact de leur concentration sur l'ensemble de la zone environnante de la cimenterie (balayage de la région de Chlef), la période de prélèvement s'étalera sur toute l'année et englobera ainsi la saison sèche et humide. Les valeurs enregistrées seront comparées bien sûr à la valeur seuil de

la norme française dont la méthode de prélèvement de celle-ci est adoptée par cette étude, aux valeurs seuils de la norme allemande TA-LUFT[6], de la norme belge ISSEP [7] et de la norme environnementale britannique 1747-1(BSI, 196955) [8].

Dans le chapitre 5, on procédera à la valorisation des poussières sédimentées au sein de la cimenterie (à tous les niveaux de la fabrication et dont les provenances majoritaires sont les fuites), afin de les utiliser comme un ciment ou matériaux de remplacement et réduire ainsi leurs incidences sur l'environnement. Les propriétés de cet ajout cimentaire seront déterminées à la base des essais physiques et mécaniques effectués sur des mortiers à base de ciment de poussières avec des différents taux de remplacement conformément aux exigences de la Norme Algérienne NA 442 [9]. Les résultats trouvés serviront à apprécier la qualité du produit et déterminer le domaine d'utilisation. Cette étude sera suivie à la fin par des recommandations et suggestions pour les futures recherches.

Chapitre 1
Généralités sur la pollution
atmosphérique

1.1 Introduction

Le problème de la pollution atmosphérique est devenu pour les environmentalistes un sujet constant d'inquiétude, son impact sur la santé humaine et les écosystèmes indispensables à la vie est très alarmant. En effet une grande partie de la population ne vit pas dans un environnement sain [10]. La qualité de l'environnement est le garant d'une meilleure santé. Mais dégradée, elle représente un risque voire un danger sanitaire pour les populations.

L'air que nous respirons a connu des modifications importantes dues essentiellement à l'introduction par l'homme directement ou indirectement dans l'atmosphère d'éléments nuisibles qui endommagent la santé humaine, l'environnement et à long terme les ressources nécessaires au développement durable de la planète.

Dans ce chapitre seront présentées les généralités concernant le constat écologique sous l'influence des phénomènes de pollution atmosphérique.

1.2. Définition de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est définie comme l'introduction par l'homme, directement ou indirectement dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques à détériorer les biens naturels et à provoquer des nuisances objectives [11].

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

On entend par pollution atmosphérique, l'émission dans l'atmosphère de gaz, de fumées ou de particules, solides ou liquides, corrosifs, toxiques ou odorants de nature à incommoder la population, à compromettre la santé ou la sécurité publique, ou à nuire aux végétations, à la production agricole et aux produits agro-alimentaires, à la conservation des constructions et monuments ou au caractères des sites [12].

La pollution résulte d'une dégradation de la qualité de l'air causée par la présence de certains éléments qui ne sont naturellement pas présents dans l'air et dont les degrés de concentrations sont suffisants pour un effet toxique sur l'environnement et la santé humaine même à des concentrations faibles. L'atmosphère est un milieu complexe dans lequel coexistent de nombreuses espèces chimiques en phase gazeuse, liquide ou solide [13].

1.3. Structure de l'atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est composée de plusieurs couches concentriques et superposées qui diffèrent par leur composition et leur température. En partant du sol, on trouve successivement :

La biosphère comprise entre le sol et une centaine de mètres d'altitude. En zone urbaine la biosphère s'étend jusqu'au sommet des cheminées et en milieu naturel jusqu'au sommet des arbres c'est donc dans la biosphère que vivent les hommes, les animaux et les plantes terrestres et c'est dans celle-ci que sont émis les polluants atmosphériques.

La troposphère qui s'étend de la surface terrestre jusqu'à 12 km d'altitude environ. La température décroît en moyenne de $6,5^{\circ}\text{C}$ quand l'altitude croit de 1000 m. C'est la zone où les composés chimiques se mélangent entre eux. Elle est le site de la grande majorité des réactions atmosphériques. La pollution atmosphérique concerne surtout cette zone où il y a excès d'ozone.

La stratosphère elle est comprise en moyenne entre 12 et 50 km d'altitude. Dans cette zone les polluants sont rares mais très destructeurs. C'est dans la stratosphère qu'on trouve la couche d'ozone, cette dernière est essentielle à la vie sur terre car elle absorbe la majorité des rayons solaires ultraviolets qui sont extrêmes nocifs pour tout être vivant. A certaine époque de l'année, elle présente un déficit de la concentration d'ozone appelé le trou d'ozone. Les causes de ce trou d'ozone sont liées principalement aux émissions, dans la troposphère, de polluants comme les chlorofluorocarbures (CFC). Les deux couches troposphère et stratosphère sont séparées par une zone tampon difficilement franchissable : la stratopause à 10 km environ, et entre 50 et 85 km c'est la mésosphère et entre 85 à 500 km la thermosphère. La figure 1.1 illustre les différentes couches composant la structure de l'atmosphère avec leur altitude en partant de la surface terrestre ainsi que les températures au sommet de chaque couche.

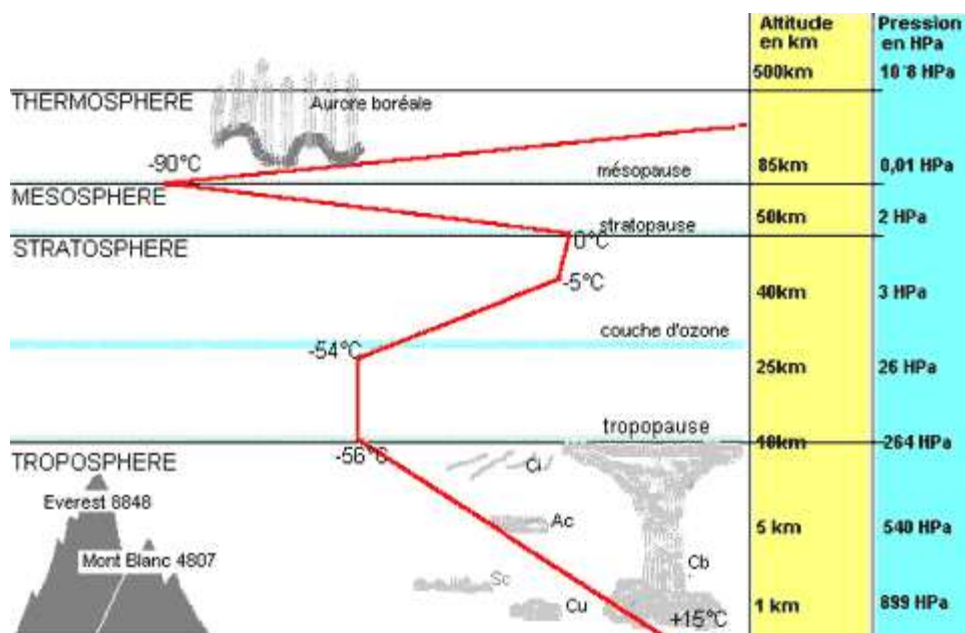


Figure 1.1 : Structure atmosphère terrestre[13']

1.4. Composition de l'air

De tous les milieux avec lesquels l'homme est en contact, l'air est le seul auquel il ne peut pas se soustraire ; il faut en effet respirer pour vivre, l'air constitue le premier des éléments nécessaire à la vie. Pour chaque individu, environ 14 kg d'air transitent tous les jours par les voies respiratoires. Principalement concentré dans la troposphère, l'air est composé essentiellement d'azote et d'oxygène. L'air propre et sec est constitué de 78% d'azote, 21% d'oxygène, 1% d'argon et de 0,33% de dioxyde de carbone s'ajoute à cela la vapeur.

On dit que l'air est pollué lorsque des éléments nuisibles à la santé humaine et à l'environnement modifient la composition normale de l'air. Les effets de la pollution de l'air dépendent de la quantité de polluants avec lequel l'organisme est en contact, on parle alors de « dose », cette dose varie en fonction de trois facteurs :

- 1- La concentration des polluants dans l'atmosphère.
- 2- La durée de l'exposition.
- 3- L'intensité de l'activité physique.

1.5. Emetteurs de la pollution atmosphérique

Les polluants sont émis par de nombreuses sources, aussi bien naturelles que liées à l'activité humaine. On distingue donc deux types de sources d'émissions : Les émissions anthropiques et les émissions naturelles.

1.5.1. Emissions anthropiques

Les deux tiers de la pollution atmosphérique résultant d'un apport de gaz et de particules sont émis par des activités humaines [14]. Ces émissions sont dites anthropiques, elles sont réparties en cinq secteurs d'activités :

- Le transport : essentiellement le trafic routier.
- La production de l'énergie.
- L'industrie, dont l'incinération des déchets.
- Le résidentiel tertiaire (chauffage).
- L'agriculture.

1.5.1.1 Polluants primaires

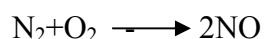
Les polluants primaires sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission. Ils sont considérés comme indicateurs de la pollution et font l'objet d'une réglementation.

Oxyde de soufre SO₂

L'oxyde de soufre SO₂ est une des principales sources de pollution, par la combustion des combustibles fossiles, tels que le charbon et les fiouls lourds. 60% du SO₂ est émis par le charbon, 30% par les fiouls lourds et 10% par d'autres sources. Tous les pays industrialisés émettent du SO₂, mais les pays en voie de développement, comme l'Inde et la Chine, sont maintenant les principaux pollueurs depuis que les pays fortement industrialisés sont équipés en techniques performantes de dépollution du SO₂.

Oxyde d'azote NO_x(NO et NO₂)

Le monoxyde d'azote NO est produit lors des combustions à haute température (1200°K) par la combinaison des deux principaux éléments de l'air.



Les émissions globales de NO_x (NO +NO₂) sont proches du SO₂ mais en constante augmentation, en raison de la forte augmentation du parc automobile. Dans tous les pays, les véhicules automobiles constituent la principale source d'oxydes.

Monoxyde de carbone CO

Particules en suspension PM (Particulate Matter)

Toutes les sources de pollution émettent des particules. Il est actuellement incontestable que l'augmentation des particules en suspension a un grand nombre de conséquences sur la santé humaine, mais également sur l'environnement. Les tailles de ces particules sont très variables, leur diamètre est compris de 1 à 150 μm . Les grosses particules de tailles supérieures à 2,5 μm ne sont pas dangereuses pour la santé car elles sont éliminées dans le système respiratoire. Les particules fines de tailles inférieures à 2,5 μm , appelées particules respirables, celles-ci sont dangereuses car elles contiennent souvent des substances toxiques ou cancérigènes et se fixent dans les bronches, provoquant des maladies respiratoires et des cancers du poumon.

Hydrocarbures non méthaniques dits NMHC (non methanic hydrocarbons)

Plus de 40% des hydrocarbures proviennent des véhicules, 25% sont produits lors du raffinage du pétrole et 25% sont constitués par les industries. Le reste 10% provient des activités agricoles. Ces composés primaires sont aussi appelés composés organiques volatiles (COV). Ils sont à l'origine de la plupart des réactions atmosphériques et des fortes teneurs en ozone troposphérique.

Tous les polluants primaires sont réglementés, il existe des normes françaises, européennes ou mondiales limitant leurs rejets [15].

1.5.1.3 Polluants secondaires

Les polluants secondaires sont des polluants qui ont la particularité de ne pas être émis directement par une source mais qui résultent de la transformation physico chimique de polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère.

L'ozone O_3 appelé aussi « mauvais » ozone, ce gaz qui n'est pas directement émis mais qui résulte de réactions photochimiques de certains polluants, notamment les oxydes d'azote NO_x et les composés organiques volatiles (COV) sous l'effet des rayonnements solaires. On le trouve principalement en été, en périphérie des agglomérations.

1.5.2 Emissions naturelles

Les polluants provenant de sources naturelles :

- Eruption volcanique
- Pollen
- Feux de forêts

Suivant les composés, la perturbation du système atmosphérique est importante ou non. Pour certains composés, comme les oxydes de soufre ou d'azote, la quantité émise par l'homme est de même ordre de grandeur que la quantité émise naturellement [15]. Les composés soufrés proviennent de trois sources : l'activité volcanique, le pétillage marin, les émissions biogéniques (marines et terrestres). Cependant, les composés azotés proviennent des sources suivantes : combustion de la biomasse, éclairs durant les orages, dénitrification des sols. Par ailleurs, les matières particulaires proviennent essentiellement : de l'érosion éolienne des sols, des océans, des volcans, des feux de forêts et de la respiration des plantes.

1.6 Cas du dioxyde de carbone et du méthane

Ces deux gaz ne sont pas toxiques mais leur concentration dans l'atmosphère constitue un problème majeur, l'effet de serre responsable du réchauffement de la planète dont les conséquences sont très alarmantes. Le dioxyde de carbone CO_2 est produit lors de toutes combustions. Comme l'activité économique et industrielle est croissante et que la population augmente sans cesse, la production de CO_2 est exponentielle. Il en est de même du CH_4 dont les émissions augmentent régulièrement. Celui-ci est émis naturellement par les marais, les digesteurs des stations d'épurations, les cultures de riz et les rejets des animaux domestiques.

1.7 Différentes échelles de la pollution de l'air

La pollution atmosphérique ne connaît pas de frontières. Après leurs émissions, les polluants primaires sont transportés sur des distances variables par les mouvements des masses d'air. Les polluants secondaires sont produits pendant ce transport. Les polluants retombent au sol par déposition sèche ou humide. Certains polluants à longue durée de vie (supérieure à 5- 7ans) peuvent atteindre la stratosphère [16].

Les différentes substances ont donc des durées de vie dans l'atmosphère extrêmement variable, d'où le problème de pollution se situe sur différentes échelles de temps et d'espace. On distingue alors trois échelles de pollution.

1.7.1 Echelle locale

Elle concerne les émissions de polluants produites le plus souvent en milieu urbain comme les foyers industriels de combustion, les axes de circulation, le chauffage domestique, l'incinération des déchets. Elles participent donc à une pollution urbaine de fond, en affectant en premier lieu la population par son action directe à court terme mais exerce aussi une toxicité à plus long terme pour certaines pathologies. Elle participe aussi à la dégradation du patrimoine bâti (corrosion, salissure).

1.7.2 Echelle régionale

La pollution régionale concerne les zones distantes de quelques kilomètres à un millier de kilomètre des sources d'émissions de polluants. Elle regroupe souvent deux phénomènes de pollution qui sont :

- L'acidification, provoquée par la transformation des oxydes de soufre et d'azote en acides sulfuriques et nitriques. Elles se déposent en retombées sèches ou humides (pluies acides).

- La pollution photochimique : elle touche les zones urbaines et rurales notamment les jours de fort ensoleillement (été). La plupart des polluants participent à la formation d'ozone troposphérique, principal représentant de la pollution photochimique.

1.7.3 Echelle globale

Elle concerne la pollution planétaire, celle-ci se manifeste par deux phénomènes qui sont la diminution de la couche d'ozone stratosphérique et l'augmentation de l'effet de serre. Ces phénomènes sont dus essentiellement du fait du développement des activités humaines, celles-ci en sont responsables.

1.8. Influence météorologique sur la qualité de l'air

Les polluants ne sont pas seulement déterminés par les sources et les transformations physico-chimiques mais elles le sont aussi par des paramètres physiques qui relèvent de la dynamique atmosphérique. Cette dernière est responsable dans le transport et la diffusion de polluants. La pollution est aggravée par quatre situations météorologiques. L'influence de ces

situations dont le classement par ordre décroissant d'importance est souvent le suivant : Présence de pluies, vent, hauteur de la couche d'inversion, lumière et chaleur [15].

1.8.1 Influence du vent

Le vent est l'un des paramètres météorologiques les plus importants par le transport et la dispersion des polluants, il intervient à toutes les échelles tant par sa direction que par sa vitesse. En dispersant la pollution, il devient donc un bon allié de la lutte antipollution, la dispersion est efficace à partir d'un vent de 20 km/h ou plus [14]. Mais parfois en les déplaçant il déplace le problème. En zone montagneuse, si les polluants rencontrent une barrière montagneuse, la pollution peut alors retourner en arrière et revenir sur son site d'origine. C'est le cas des villes situées dans des cuvettes en montagne. Son absence favorise donc une accumulation des polluants mais sa forte présence peut provoquer une pollution localisée.

1.8.2. Influence de la chaleur et de la lumière

Les températures élevées peuvent favoriser la production de certains polluants qui dégradent la qualité de l'air. Comme l'ozone, dont on sait que les épisodes de celui-ci sont le plus souvent en été. Le soleil intervient directement sur la pollution en transformant les oxydes d'azote en ozone, c'est la pollution photochimique.

1 8.3. Influence des pluies

La présence des pluies et de la neige conduit à une diminution de la pollution. En effet, la pluie permet de lessiver l'air en dissolvant les molécules de dioxyde de soufre et d'oxyde d'azote présentes dans l'air. Donc, lorsqu'il pleut l'atmosphère est purifiée, mais les pluies deviennent acides ce qui entraîne le transfert de la pollution de l'air vers les sols ou les eaux de surfaces.

1.8.4. Influence de la couche d'inversion

Dans certaines conditions météorologiques, il se produit en altitude une inversion de température et la masse d'air est bloquée par une couche d'inversion qui agit comme un couvercle empêchant la dispersion des polluants. L'air sous la couche d'inversion est plus froid et plus dense et ne peut se mélanger, la hauteur de la couche étant faible, la concentration des polluants augmente.

En hiver les différences de températures entre le jour et la nuit provoquent des inversions thermiques et des dômes de pollutions. En effet le sol est refroidi de façon importante pendant la nuit (hiver par temps clair). La température à quelques centaines de mètre d'altitude est supérieure à celle mesurée au niveau du sol, les polluants se trouvent ainsi bloqués sous un couvercle d'air chaud appelé couche d'inversion.

1.9. Effet des polluants sur la santé

La pollution de l'air est responsable de la majeure partie des maladies, elle est désormais le principal risque environnemental pour la santé dans le monde. Chaque jour, une vingtaine de m³ d'air passe par nos poumons, faisant de l'inhalation une voie d'absorption importante d'une série de substances volatiles ou de particules en suspension dont certaines ne sont pas sans danger pour la santé.

La pollution de l'air est dorénavant le facteur environnemental le plus important touchant la santé, aucun pays n'est épargné qu'il soit riche ou pauvre [17]. La condition essentielle de la santé et du bien être de la population, c'est le fait de respirer de l'air pur, cependant la pollution de l'air continue de faire peser une menace importante sur le plan sanitaire partout dans le monde, plus de 7 millions de personnes sont mortes en 2012 à cause des effets de la pollution de l'air [18].

1.9.1. Types d'exposition

On subit tous la pollution atmosphérique, le degré d'exposition dépend de nos cadres de vie, de nos habitudes et de l'activité professionnelle. On distingue deux types d'exposition : l'exposition à court terme et l'exposition à long terme. L'exposition à court terme appelée exposition aiguë, allant de quelques heures à quelques jours. Les pics d'ozone estivaux en sont un exemple type. Par contre, l'exposition à long terme, appelée aussi exposition chronique, il s'agit d'une exposition persistante qui se produit sur une longue période comprise entre une et plusieurs années et la vie entière.

1.9.2. Principaux polluants

L'effet des principaux polluants sur la santé comme l'ozone et les polluants acidifiants NO₂ et SO₂ se présente comme suit :

A concentrations très élevées, l'ozone a des effets marqués sur la santé humaine, baisse de la fonction pulmonaire, il causerait chaque année en Europe plus de 21 000 décès et

14 000 hospitalisations pour causes respiratoires [18]. Selon leurs concentrations et le degré d'exposition, les polluants acides (NO_2 et SO_2) provoquent des irritations et inflammations des yeux, des muqueuses et du système respiratoire.

1.10. Effet des polluants sur la faune et la flore

L'impact de la pollution atmosphérique sur les végétaux résulte essentiellement de trois polluants : oxydes d'azotes (NO_x), dioxydes de soufre (SO_2) et ozone (O_3). Les dommages causés par ces derniers peuvent se manifester de plusieurs façons. Ils peuvent aller de marques visibles sur le feuillage sous formes de lésions nécrotiques (tissus morts) et cela en cas de fortes concentrations de polluants. Pour les cultures agricoles, les dommages peuvent aller de marques visibles à la mort du plant en passant par un ralentissement de croissance et une baisse de rendement. L'apparition et la gravité dépendent non seulement de la concentration du polluant en cause, mais aussi d'un certain nombre de facteurs dont la durée de l'exposition au polluant.

Les pluies acides, formées par l'acide sulfurique et l'acide nitrique contribuent au dépérissement des forêts et à la dégradation des sols. Tandis que l'ozone altère la physiologie des arbres forestiers.

Les animaux, ou la faune ne sont pas immunisés contre l'effet de la pollution atmosphérique qui peut être préjudiciable à la faune de deux principales façons :

-Ils détériorent la qualité de l'environnement ou de l'habitat où les animaux vivent.

-Ils diminuent la disponibilité de la qualité de l'approvisionnement alimentaire. Les animaux herbivores sont concernés au travers d'une contamination des fourrages. Les polluants préoccupants sont les toxiques qui peuvent s'accumuler dans les parties comestibles.

Les effets de la pollution atmosphérique sur la faune et la flore doivent être considérés dans leur dimension globale, à l'échelle des écosystèmes, on parle alors de la démarche systémique [16]. Bien qu'elles ne soient pas aussi connues, d'autres formes de pollution atmosphérique, comme le Smog, les particules et l'ozone Troposphérique pour n'en mentionner que quelques unes, détériorent la santé de la faune de la même façon que la santé humaine et produisent des effets sur les poumons et le système cardiovasculaire [19].

1.11. Réglementation

L'événement le plus marquant de la pollution atmosphérique au cours du 20^{ème} siècle a eu lieu en décembre 1952 à Londres où l'on déplora 4 000 décès suite à l'apparition du Smog [20]. C'est à partir de cette période que l'on a commencé à mesurer sérieusement la pollution atmosphérique [21]. Depuis, l'étude de la pollution atmosphérique s'est largement diversifiée.

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, ensuite les identifier. Cette connaissance permet alors de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité d'air [22]. L'inventaire d'émission est défini comme une évaluation de la quantité d'une substance polluante émise par un émetteur donné pour une zone géographique et une période donnée.

La composition chimique de l'air est perturbée par des éléments nuisibles dont la concentration peut constituer un danger immédiat pour la santé humaine, mais également pour l'environnement. Pour faire face à ce phénomène très complexe, compte tenu de la diversité des polluants et des quantités croissantes émises dans l'atmosphère, la réglementation définit pour certains indicateurs de la pollution, les concentrations de références. Celles-ci peuvent être des valeurs limites qui doivent être obligatoirement respectées, et dont le dépassement implique le déclenchement de mesures d'urgences visant à diminuer la pollution.

Il existe également des valeurs cibles appelées aussi valeurs guides qui sont indicatives, ainsi que des seuils d'alerte, seuils d'information, seuils de protection de la santé et seuils de protection de la végétation. Si l'on veut que les mesures de luttés puissent, avec efficacité, non seulement mettre un terme à la pollution atmosphérique actuelle, mais encore l'empêcher à l'avenir il faut leur donner un caractère légal [23].

Tableau 1.1 : Seuil d'information des principaux polluants [22]

Polluants	Seuil d'information	Seuil d'alerte
Ozone	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$
NO ₂	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pendant 3 heures consécutives
SO ₂	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pendant 3 heures consécutives
PM ₁₀	70 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pendant 2 jours consécutifs	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pendant 2 jours consécutifs

La concentration de courte durée d'un polluant au-delà du seuil d'information présente un risque pour la santé humaine. A partir de ce seuil, des mesures doivent être prises par les autorités locales.

1.11.1 Normes Européennes

Pour parvenir à l'amélioration de la qualité de l'air, le Conseil de l'Union Européenne a adopté la Loi du 28 Juin 1984 [24] relative à la lutte contre la pollution atmosphérique en provenance des installations industrielles. Ces actions se traduisent par :

- L'adoption de règlements pour contrôler la production et l'utilisation des substances appauvrissant la couche d'ozone.
- L'adoption de directives visant à maintenir ou à améliorer la qualité de l'air en fixant des objectifs de la qualité de l'air.
- Une incitation à des accords volontaires entre industriels et autorités

Les polluants concernés sont les particules de certaines tailles, l'ozone, le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, le plomb ainsi que d'autres polluants susceptibles d'avoir un impact négatif sur la santé humaine et les écosystèmes. L'Union Européenne a fixé des limites juridiquement contraignantes et non contraignantes dans la Directive 2008/50/CE [25] l'objectif de cette directive est de définir des mesures ambitieuses et efficaces pour améliorer la santé humaine et la qualité environnementale d'ici 2020 tout en définissant la façon d'évaluer les mesures.

1.11.2. Recommandations de l'O.M.S.

L'objectif des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) est de permettre aux états d'établir leurs propres normes en matière de qualité de l'air. Elles fournissent également des bases pour la protection de la santé ainsi que pour l'élimination ou la réduction au minimum des polluants dangereux pour la santé.

L'O.M.S. invite les gouvernements à l'échelle mondiale à améliorer la qualité de l'air des villes pour protéger la santé des populations et à appliquer des valeurs seuils beaucoup plus faibles pour les polluants. L'O.M.S. déclare que la réduction des niveaux d'un polluant en particulier, connu comme le PM 10, pourrait entraîner la diminution de la mortalité dans les villes polluées, jusqu'à 15% par an [26].

L'OMS recommande des niveaux d'exposition (concentrations et durées) au dessous desquels il n'a pas été observé d'effets nuisibles sur la santé humaine ou sur la végétation.

Tableau 1.2 : Valeurs recommandées par l'O.M.S

NO₂	SO₂
40 µg / m ³ en moyenne annuelle	20 µg / m ³ en moyenne annuelle
200 µg / m ³ en moyenne horaire	500 µg / m ³ en moyenne horaire

1.11.3. Normes de qualité de l'air en Algérie.

Les pays en voie de développement sont aujourd'hui confrontés à une détérioration de la qualité de l'air en raison de nombreux facteurs comme l'industrialisation rapide, l'exode rural et le développement du parc automobile [27]. L'Algérie est un bon modèle en raison d'une croissance démographique, la population a triplé depuis 1962, d'une urbanisation accélérée et d'une industrialisation rapide principalement dans la zone littorale où sont situées plus de la moitié des usines industrielles et où résident plus de 44% de la population.

En Algérie les principaux polluants de l'air causant la détérioration de l'air proviennent essentiellement [28] :

- 1- Activités humaines, en particulier le trafic routier.
- 2- Emissions des installations industrielles vieillissantes (sources fixes) et toutes activités utilisant la combustion.
- 3- Les installations thermiques.
- 4- Le chauffage domestique.
- 5- L'incinération des déchets à l'air libre.

L'Algérie dispose d'un arsenal juridique important qui s'articule autour de la Loi Cadre 83-03 du 5 Février 1983 et du 20 Juillet 2003 [29] sur la protection de l'environnement, qui a été suivie par toute une série de textes d'application, et dont le chapitre 2 est consacré aux descriptions de la protection de l'air et l'atmosphère et le chapitre 3 est consacré aux sanctions relatives à la protection de l'air et de l'atmosphère.

Mais l'état a jugé nécessaire de créer des normes Algériennes relatives aux seuils limites en cas de pollution de l'air à respecter. Ainsi le décret exécutif N° 06-02 du 7 Janvier 2006 [30] définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique. Les polluants concernés sont : le dioxyde d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO₃), l'ozone (O₃) et les particules fines en suspension (PM 2,5), les valeurs sont représentées dans le tableau 1.3.

Tableau 1.3 : Valeurs limites et seuils d'alerte des polluants

Polluants	NO _x (µg/Nm ³)	SO ₃ (µg/Nm ³)	O ₃ (µg/Nm ³)	PM2,5 (µg/Nm ³)
Objectif qualité	135	150	110	50
Valeurs limites	200	350	200	80
Seuil d'information	400	350	180	*
Seuil d'alerte	600	600	360	*

* Les seuils d'alerte sont fixés selon les caractéristiques physiques et chimiques des particules.

Objective qualité : est de réduire les effets nocifs des substances polluantes dans l'atmosphère, sur la santé humaine ou sur l'environnement.

Valeur limite : un niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base de connaissances scientifiques.

Seuil d'information : au delà duquel une exposition de courte durée a des effets limités et transitoires sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles.

Seuil d'alerte : au delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou pour l'environnement.

Afin de suivre la qualité de l'air, quatre réseaux de surveillance et de contrôle de la qualité de l'air sont implantés dans les grandes agglomérations comme Alger, Annaba, Oran, Skikda. L'état prévoit de multiplier ces réseaux dans toutes les agglomérations dont la densité de la population dépasse les 500.000 habitants. Ces stations sont constituées d'un ensemble d'analyseurs dont le rôle est de mesurer les teneurs dans l'air des gaz ou de particules néfastes pour la santé humaine et pour l'environnement et alerter les autorités concernées lorsque les seuils limites sont dépassés. Les mesures recueillies sont traitées informatiquement afin de calculer un indice de qualité de l'air (IQA). Cet indice permet d'informer les autorités locales.

Niveau 1 : qualité de l'air excellent Niveau 10 : qualité de l'air exécration.

1.12. Conclusion

L'air que nous respirons est modifié par des éléments nuisibles qui endommagent la santé humaine et l'écosystème indispensable à la vie, comme les forêts et les masses d'eaux douces. La pollution de l'air est en réalité un mélange de gaz et de particules qui sont émis par deux catégories d'émetteurs : sources naturelles (comme éruptions volcaniques, pollen....) et sources anthropiques (comme les industries, les véhicules...), ou qui résulte de réactions chimiques (Ozone).

La pollution est aggravée par quatre facteurs météorologiques. L'influence de ces facteurs dont le classement par ordre décroissant d'importance est souvent le suivant : Présence de pluies, vent, hauteur de la couche d'inversion, lumière et chaleur.

La pollution atmosphérique ne connaît pas de frontière, les polluants sont transportés sur des distances variables par des mouvements de masses d'air. Avec la menace pesant sur la santé des êtres humains, des plantes et des animaux, la réduction de la visibilité dans les villes ainsi que la corrosion et la dégradation du patrimoine bâti, la lutte pour épurer l'air des agglomérations est devenue le plus grand défi de beaucoup de pays du monde moderne. A cet effet et pour mettre terme à la pollution atmosphérique actuelle et l'empêcher à l'avenir, des normes, des réglementations ainsi que des recommandations de l'O.M.S. sont établies.

Chapitre 2
Généralités sur les Poussières

2.1. Introduction

La pollution atmosphérique est directement responsable d'une mortalité et d'une morbidité toujours croissante dans les grandes agglomérations ou les sites industriels [31]. Elle est définie comme une altération de la composition de l'air par un ou plusieurs éléments nuisibles. Ces éléments peuvent être classés en deux grandes catégories : les gaz et les aérosols. Ces derniers, composés de particules solides ou liquides en suspension dans un milieu gazeux, restent un sujet d'actualité de par leur complexité, des phénomènes mis en jeu et de par leurs pires impacts environnementaux subis par les humains, les animaux et les végétations [32]. Les poussières constituent l'une des composantes majeures de la pollution urbaine. Mais celle-ci est variable dans le temps et dans l'espace.

Ce chapitre sera consacré à une synthèse des connaissances acquises concernant les particules atmosphériques. Enfin, ces connaissances seront transportables sur les particules grossières appelées particules sédimentables générées par l'activité industrielle et plus précisément par la fabrication du ciment objet de notre étude.

2.2. Définition et origine des aérosols

Par définition, un aérosol est une particule liquide ou solide en suspension dans un milieu gazeux (atmosphère). Dans les études atmosphériques, l'aérosol est rarement considéré de façon unitaire mais plutôt comme un ensemble appelé population d'aérosols. Au sein de cette population, les aérosols ont des tailles et des morphologies très variables.

Quatre vocables sont presque équivalents pour parler des entités solides dans l'atmosphère [33] : particules, aérosols, poussières et fumées. Le premier terme est plutôt employé par les physiciens, le second par les chimistes, le troisième par les géologues et le dernier par les industriels.

En fait ces termes ne correspondent pas exactement à la même chose :

- les particules sont des entités solides.
- les aérosols sont des entités solides ou liquides.
- les poussières sont des débris de sol.
- les fumées sont constituées de l'ensemble des polluants gazeux et particulaires. Elles sont engendrées par la combustion des matériaux carbonatés et sont considérées comme dangereuses dans l'atmosphère urbaine.

Mais l'habitude est d'employer un terme ou un autre pour désigner les entités différentes formant une famille de polluants qui peut se regrouper sous le terme générique de poussières.

2.3. Nature des poussières

Selon qu'elles soient créées par dispersion ou condensation, les poussières peuvent être réparties en deux catégories mélangées dans l'atmosphère :

- Les poussières d'origines naturelles.
- Les poussières anthropiques (liées aux activités humaines).

La part de chacun des deux types de poussières dépend de l'éloignement des centres d'activités humaines et industrielles d'une part et de l'éloignement des zones désertiques et marines de l'autre. En zone marine, polaire et désertique, la poussière est très majoritairement naturelle. En revanche, en zone urbaine, la poussière de pollution est toujours mélangée avec la poussière naturelle car cette dernière peut être transportée sur de longues distances.

2.3.1. Poussières naturelles

Parmi les poussières naturelles, on distingue :

Poussières terrigènes : (terre) ou cru stal (de croûte terrestre) est arrachée du sol sous l'action du vent, puis elle est dispersée dans l'atmosphère (envol des poussières provenant des sols notamment désertiques).

Poussières marines : Elles sont produites par l'éclatement des bulles dans les vagues déferlantes (phénomène de pétilllement). Les poussières marines sont produites lors de la formation des gouttelettes d'eau chargées de sels marins. Celles-ci, par évaporation, conduisent à la formation de cristaux solides.

Poussières biogéniques : Elles sont émises par les plantes et les arbres. Il peut aussi s'agir de débris de végétaux (humus). Elles comportent surtout des composés organiques.

Poussières de combustion : Elles sont produites par les feux de biomasse (feux de forêts et feux de savane) et sont aussi constituées essentiellement de matière carbonée.

Poussières volcaniques : celles-ci sont projetées dans l'atmosphère, non pas de façon continue comme dans les deux cas précédents, mais par bouffées. Elles sont constituées de nombreux métaux et de dioxyde de soufre gazeux qui se transforment en sulfates particuliers.

2.3.2. Poussières anthropiques

Chaque année, les activités humaines (industries, transport...) ne produisent pas moins de 300 millions de tonnes de poussières. Bref les poussières sont partout, et en quantités [34]. Il existe deux types de poussières émises par les activités humaines : les poussières détritiques et les poussières formées par la conversion des gaz.

Poussières de conversion : Elles sont produites par la condensation des vapeurs polluantes quand la vapeur du composé excède le point de saturation. Les poussières sont formées par un processus appelé conversion gaz/particule. Elles sont constituées principalement de matières organiques et de sulfates formés par la conversion du dioxyde de soufre gazeux en particules solides.

Poussières détritiques : Ces types de poussières sont directement émis sous forme solide. Elles sont mises en suspension dans l'atmosphère sous l'action du vent. C'est le cas des débris de pneus, des poussières provenant des extractions minières, des carrières, des cimenteries, des poussières de charbon, des poussières émises par les incinérateurs de déchets ... Ces poussières sont plus grossières et souvent de taille supérieure au micron.

Les poussières transportent aussi de l'eau laquelle, lorsque le taux d'humidité augmente, se condense sur les poussières. Celles-ci grossissent et forment des nuages ou des brouillards. Les poussières sont évacuées de l'atmosphère par dépôts secs et humides. En fonction de la taille des poussières, le dépôt sec se fera soit par diffusion (tailles fines) soit par sédimentation (taille grossière). Le dépôt humide a lieu sous forme de précipitations au travers des processus de lessivage.

2.4. Tailles des particules

Les particules totales en suspension (appelées TSP pour Total Suspended Part) en français (T.S.P n'est pas utilisé) regroupent l'ensemble des particules quelles que soient leurs tailles [35].

Les particules ont diverses tailles et des morphologies très variables. Elles peuvent être grossières ou fines ou même ultra fines. De façon théorique, les particules sont décrites sous formes sphériques permettant de ne considérer qu'un seul paramètre pour les décrire : leur diamètre aérodynamique moyen appelé D. Ce dernier est une grandeur qui se prête à la

description d'une poussière, il correspond au diamètre qu'une particule sphérique d'une densité 1 g / cm^3 devrait avoir pour présenter la même vitesse de chute dans l'air que la particule concernée. La taille des particules s'étale sur plusieurs ordres de grandeur : de $0,001 \mu\text{m}$ à $100 \mu\text{m}$ (voir figure 2.2).

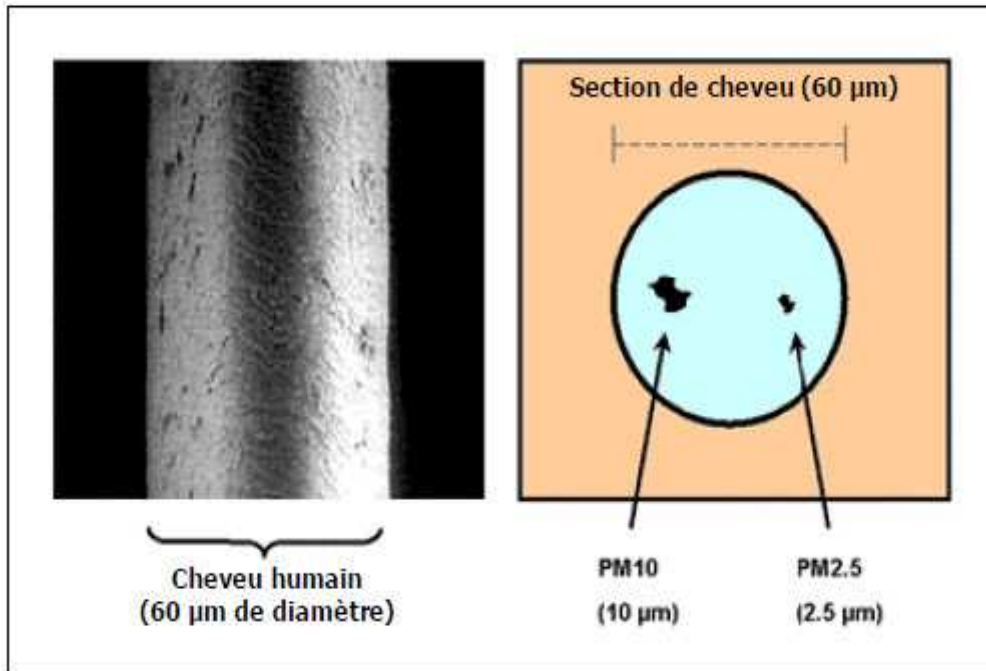


Figure 2.1 : Repère de tailles des particules PM 10 et PM 2,5 [42]
En les comparant à la section de cheveu de $60 \mu\text{m}$

On distingue trois classes de particules :

- PM 10 : (Particulate matter) particules d'un diamètre aérodynamique $< 10 \mu\text{m}$ (plus précisément, particules passant un orifice qui présente un degré de 50% d'efficacité de séparation des particules d'un diamètre aérodynamique de $10 \mu\text{m}$) [36]
- PM 2,5 : particule d'un diamètre aérodynamique $< 2,5 \mu\text{m}$ (plus précisément, particules passant un orifice qui présente un degré de 50% d'efficacité de séparation des particules d'un diamètre aérodynamique de $2,5 \mu\text{m}$, voir figure 2.1).
- PM 0,1 : Particules d'un diamètre aérodynamique $< 0,1 \mu\text{m}$ (plus précisément, particules passant un orifice qui présente un degré de 50% d'efficacité de séparation des particules d'un diamètre aérodynamique de $0,1$).

Les trois classes sont cumulatives, c'est-à-dire les TPS incluent les PM 10 et que les PM 10 incluent les PM 2,5 [33]. La figure 2.2 présente la taille des particules en fonction des diverses sources d'émission.

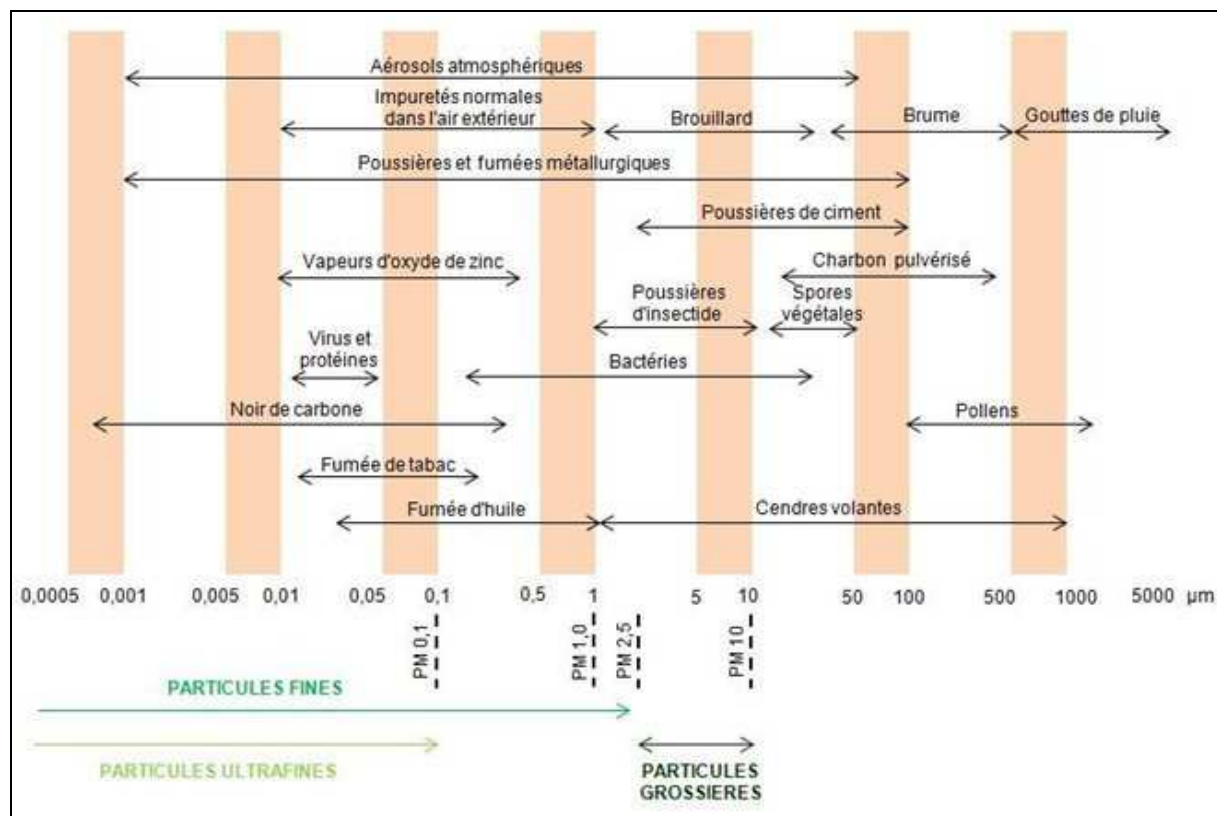


Figure 2.2 : Taille des particules échelles et ordre de grandeur [35]

La durée pendant laquelle ces particules demeurent dans l'air en fonction de leur taille (de quelques jours pour les plus grosses à quelques semaines pour les plus fines). Elles retombent ensuite au sol grâce aux précipitations, les plus légères d'entre elles peuvent être transportées à des milliers de kilomètres de leur lieu d'émission.

Ainsi donc les particules peuvent être éliminées de l'atmosphère soit par sédimentation pour les plus lourdes d'entre elles, soit par le lessivage de l'atmosphère par les précipitations. Lorsqu'elles ont atteint le sol, ces particules peuvent être remises en suspension par le vent, avant de tomber à nouveau. La pluviométrie conditionne le temps de résidence des particules dans l'atmosphère et l'assèchement des sols favorise leur mise en suspension [37].

Ces particules peuvent être divisées en deux catégories par rapport à leur durée de vie dans l'air ambiant. Ainsi les particules en suspension et les particules sédimentaires se distinguent par le facteur principal de la taille.

2.4.1 Poussières fines

Les particules fines sont insédimentables, leur vitesse de chute est presque nulle, elles constituent un mélange complexe de : particules primaires, qui sont issues directement des processus de combustion ou proviennent du frottement mécanique des pneus sur les routes et les tourbillons de poussières naturels et de particules secondaires, qui se forment dans l'air à partir de gaz précurseurs (dioxyde de soufre, oxyde d'azote, composés organiques volatiles).

2.4.2 Poussières sédimentables

Les poussières sédimentables se différencient des particules en suspension (PM10) par leur taille, alors que les particules en suspension ont un diamètre inférieur à 10 μm , celui des poussières sédimentables possèdent un diamètre supérieur à 10 μm . Elles se localisent toujours dans les basses couches de la troposphère (en dessous de 3 000 m) et retombent rapidement à proximité de leurs sources d'émission, du fait de leur taille et de leur poids important. Leur vitesse de chute est par conséquent plus élevée que celle des particules en suspension : elle est au minimum de 30 cm/s [38]. Malgré les phénomènes météorologiques perturbant l'évolution des particules dans l'air ambiant (pluviométrie, vent, etc.) ces particules finissent par retomber par gravité. Elles prédominent dans l'atmosphère des agglomérations fortement industrialisées. Les industries sont les principales sources de ces poussières sédimentables, mais ces industries n'émettent pas la même quantité, ainsi les cimenteries sont considérées comme industries à émission moyenne. (Voir figure 2.3).

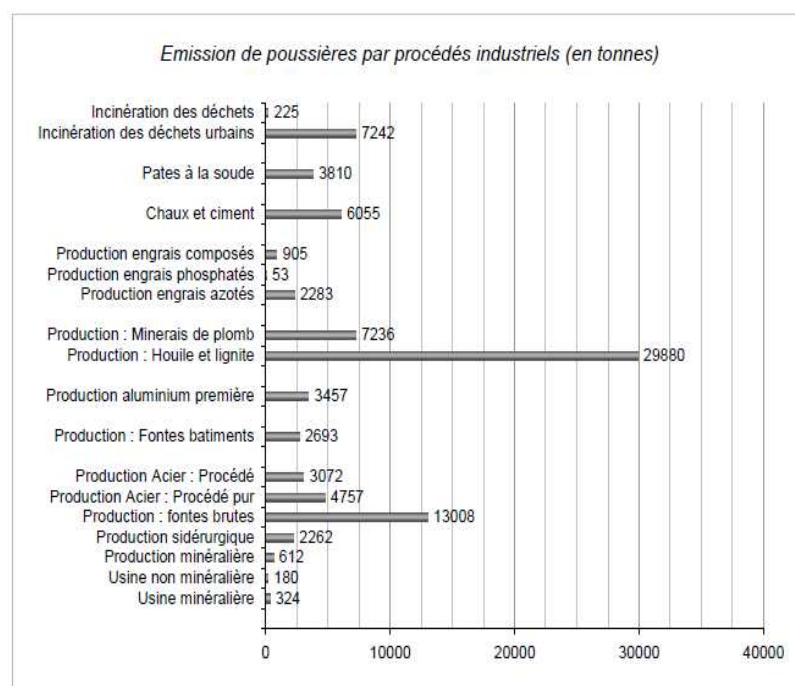


Figure 2.3 : Emissions de poussières par procédés industriels [38]

A ces industries, différents facteurs d'émission et de propagation sont à ajouter. Le facteur anthropique routier peut créer ces particules avec l'usure des pièces et répandre celles qui sont retombées sur la chaussée.

2.5. Impact des poussières sur la santé

La concentration de particules dans l'air que nous respirons contribue au développement des maladies respiratoires et cardio-vasculaires. Respirer tue, déclare l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.). Elles sont suspectées d'être à l'origine d'un large éventail de problèmes de santé ce qui provoque une augmentation des décès. Chaque fois que nous respirons, des milliers de particules pénètrent dans nos voies respiratoires, une partie des poussières sont immédiatement ré-expirées, le reste suivant leur taille va s'accumuler et provoquer des symptômes et des impacts sur la santé.

Selon les études américaines, les PM 2,5 constituent le meilleur indicateur du risque de décès à long terme du aux poussières en suspension. Un accroissement de l'exposition annuelle de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ augmenterait le risque de décès de 6% environ [39]. Plus les particules sont fines, plus elles pénètrent profondément dans les poumons (comme illustré dans la figure 2.4 et le tableau 2.2).

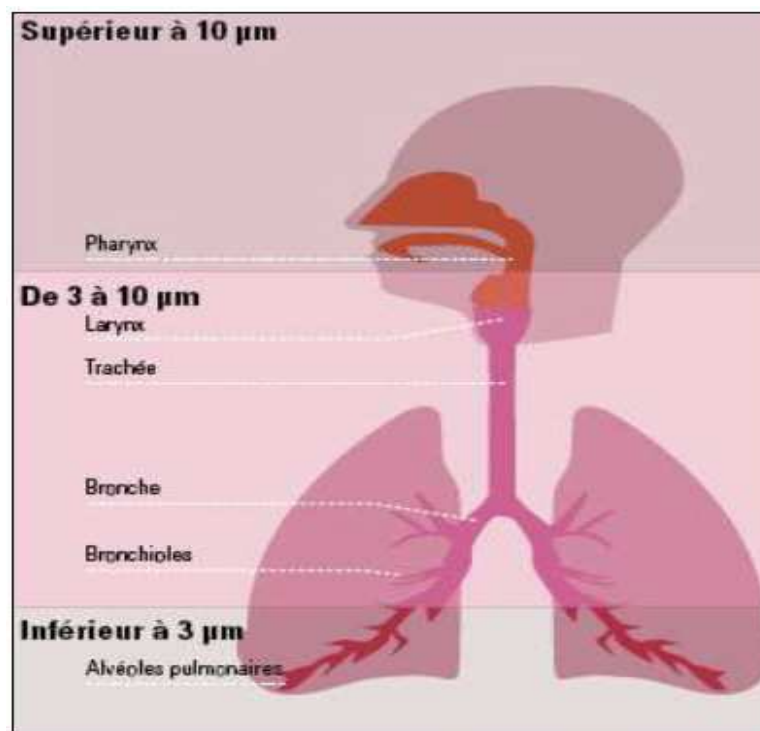


Figure 2.4 : Pénétration des particules selon leurs tailles [40]

D'un diamètre supérieur à 10 µm elles sont expulsées des voies respiratoires, de 3 à 10 µm elles se déposent au niveau de la trachée et des bronches, moins de 3 µm, elles atteignent les alvéoles pulmonaires et peuvent même pénétrer dans la circulation sanguine [40].

Tableau 2.1 : Organes exposés aux particules fines (Wichman et Peters) source [41]

Organes exposés	Dimensions des particules
Nez et gorge	5 - 10 µm
Trachée - artère	3 - 5 µm
Bronches	2 - 3 µm
Bronchioles	1 - 2 µm
Alvéoles (vésicules pulmonaires)	0,1 - 1 µm

Les particules sont donc suspectées d'être à l'origine de divers problèmes, elles exercent sur le système respiratoire et cardiovasculaire un potentiel de nuisance élevé. Mais l'effet de la concentration des particules sur la santé dépend de la durée de l'exposition, le tableau 2.2 illustre les effets à court et à long terme. Une exposition de longue durée à des niveaux moyens de particules fines est nettement préjudiciable pour la santé qu'une exposition passagère à des niveaux élevés.

Tableau 2.1 : Effets des particules à court et à long terme [40]

Effets à court terme	Effets à long terme
Réactions inflammatoires au niveau des poumons	Accroissement des affections des voies respiratoires inférieures
Symptômes respiratoires	Réduction des fonctions pulmonaires chez l'enfant et l'adulte
Affections du système cardio – vasculaire	Augmentation des maladies pulmonaires obstructives chroniques
Augmentation de la prise des médicaments	Diminution de l'espérance de vie, principalement par mortalité lié aux affections cardio-pulmonaires et probablement par mortalité liée au cancer du poumon
Augmentation du nombre d'hospitalisations	
Accroissement de la mortalité	

A ce jour, les effets des aérosols sur la santé ont fait l'objet de nombreuses études et il est aujourd'hui admis que les particules jouent un rôle important dans les effets sanitaires engendrés par la pollution atmosphérique [42]. Mais en ce qui concerne les particules de diamètre supérieur à 10 μm , dites poussières sédimentables, elles sont donc expulsées des voies respiratoires. Ces poussières sont théoriquement peu dangereuses pour la santé humaine, elles sont essentiellement gênantes pour la qualité de vie des riverains et sont responsables des salissures [43].

2.6 Normes et mode d'application

Parmi les dangers que les procédés industriels font peser sur la santé humaine, l'exposition aux poussières et autres particules en suspension dans l'air, revêt une importance particulière car il s'agit d'éléments à peu près constants. Les poussières sont devenues donc un sujet préoccupant qui se traduit par l'instauration de mesures efficaces visant à réduire au minimum les atteintes à la santé. Il est apparu donc nécessaire au niveau international d'établir une législation efficace qui impose des mesures préventives appropriées et qui fixe la concentration maximale admissible des divers polluants [44].

2.6.1 Réglementations françaises et européennes

Les normes européennes et françaises de qualité de l'air relatives aux particules portent sur les particules PM 10 et PM 2.5. Les particules PM 10 dans l'air ambiant sont fixées par la Directive Européenne N°1999/30/CE du 22 avril 1999 [45]

Tableau 2.2 : Normes françaises et européennes

	Période de référence	
	Année	24 heures
Valeurs limites pour la protection de la santé	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an
Objectif de qualité français	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

En revanche la réglementation internationale en matière de particules dans l'air ambiant est plus stricte que la réglementation européenne.

Tableau 2.3 : Normes de l'US-EPA

PM 10	Durée d'exposition	
	Année	24 heures
US-EPA	Retirée en 2006	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus d'une fois par an en moyenne sur 3 ans
California ARB	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PM2.5	Durée d'exposition	
	Année	24 heures
US-EPA	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (percentile 98 des moyennes horaires en moyenne sur 3 ans)
California ARB	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Le seuil de concentration en dessous duquel il n'existe pas d'effets sur la santé n'a pu être défini. Aucune étude épidémiologique à large échelle n'indique qu'il existerait des seuils en deçà desquels tout risque serait exclu [45], l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) préconise une valeur annuelle de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules PM 10 et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules PM 2.5.

Tableau 2.4. : Recommandations O.M.S.

	Durée d'exposition	
	Année	24 heures
Particules PM10	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an
California ARB	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an

D'autres pays préconisent des seuils encore plus bas. C'est par exemple le cas de l'Australie, qui préconise une valeur annuelle de 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM 2.5 [46]. En ce qui concerne les poussières sédimentables (grosses particules), celles-ci ne présentent qu'un faible risque pour la santé humaine mais par contre elles ont une portée éco toxicologique, car les éléments toxiques qu'elles contiennent éventuellement s'accumulent dans le sol et contaminent l'écosystème. Aussi elles constituent une pollution visible et fortement ressentie par la population.

Les poussières sédimentables ne font l'objet d'aucune réglementation française ou européenne [47]. La norme AFNOR NFX43-007 [4] indique le seuil entre « zone faiblement polluée et zone fortement polluée ». Cette valeur est de 30 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{mois}$ soit 1 $\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$. La norme allemande dans l'environnement TA-LUFT [6] mentionne comme « limite dans l'air ambiant pour éviter une pollution importante » la teneur de 350 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{jour}$ en moyenne annuelle. La Norme ISSeP [7] : l'ISSeP s'est basée sur la réglementation allemande pour la qualité de l'air (TA-LUFT).

Pour la norme allemande, la valeur limite acceptable est $350 \text{ mg/m}^2/\text{jour}$ pour la moyenne de 4 stations formant 1 carré de 1 km de coté. Cependant les points de prélèvement ne constituent pas un maillage régulier mais surveillent plus particulièrement les sites pollués. Pour diminuer l'impact de la surreprésentation de ces derniers, il sera fait appel, non plus à la moyenne annuelle du groupe de stations, mais à la médiane [7]. La norme environnementale britannique (UK BSI, 1969) elle aussi s'est basée sur la norme TA-LUFT en prenant le seuil 350 mg/m^2 jour de celle-ci comme seuil de la valeur moyenne des retombées [8].

2.6.2. Réglementation algérienne

Les normes de qualité de l'air pour les aérosols sont basées sur les concentrations de masse pour les particules dont le diamètre est inférieur à $10 \mu\text{m}$ (PM10). Les valeurs limites algériennes pour les effets sanitaires correspondants aux particules fines (PM 2,5) en suspension identifie un objectif de qualité de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec une valeur limite de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [30]. Mais en ce qui concerne les seuils d'information et les seuils d'alerte ceux-ci seront fixés selon les caractéristiques physiques et chimiques des particules.

Mais selon l'étude [48] effectuée dans l'agglomération d'Alger il a été constaté qu'en milieu urbain et en site station trafic routier, les teneurs en PM-10 et PM-2,5 sont excessives et dépassent les normes internationales et OMS. Les niveaux de pollution dans les sites périurbains sont certes réduits de moitié, mais atteignent en ampleur les niveaux mesurés en sites urbains dans les grandes villes européennes. Les textes actuels qui définissent les seuils ne sont ils pas aussi exigeant en matière de rejets dans l'atmosphère ? En ce qui concerne la réglementation algérienne la question reste posée.

2.7. Poussières de ciment

La fabrication de ciment est l'une des industries qui génère de la poussière tout au long de son processus, et à chaque étape de la production (voir tableau 2.5). Ces types de poussières sont directement émises sous forme solide de taille souvent supérieure au micron, elles sont classées poussières grossières (voir tableau 2.2). Ce qui rend leurs émissions la partie la plus visible de l'impact environnemental, ou encore, le principal problème résultant de l'émission de poussière est la visibilité réduite et la qualité de l'air ambiant détérioré.

Pour des raisons physiologiques et psychologiques, les poussières de ciment ont été historiquement sources de troubles de voisinage entre les cimenteries et les habitants des

alentours [49]. Les propriétés physiques de ces particules décident du degré de leur effet sur la santé humaine et sur l'environnement. Certaines études montrent que la poussière de ciment (particules fines inférieures à PM10 – PM 2,5) peut causer des maladies respiratoires et des voies respiratoires.

Mais les particules dont le diamètre est supérieur à PM 10 non aucun effet sur la santé mais en revanche en se sédimentant elles causent une nuisance locale. La poussière de ciment affecte également la productivité des plantes en raison de la réduction de la teneur en chlorophylle des feuilles qui obstruent le processus de la photosynthèse, son impact est donc négatif sur l'agriculture dans les zones à proximité [50].

Tableau 2.5 : Les types de poussières engendrées par la production du ciment [50]

Types	Etapes du processus de production
Poussière des matières premières	Extraction, concassage et mélange des matières premières
Poussière du cru	Réception du mélange (argile calcaire), Préhomogénéisation, broyage du cru
Poussière du four CKD	Emissions des gaz du four
Poussière du clinker	Refroidissement du clinker et stockage
Poussière du produit fini (ciment)	Broyage du clinker, stockage ciment, ensachage et expédition du ciment

On constate, d'après le tableau 2.5, que tout le long du processus de la fabrication du ciment la poussière est engendrée de l'extraction de la matière première jusqu'au produit fini et son expédition.

2.8. Effet des poussières sédimentables sur l'écosystème

Contrairement aux particules en suspension, les poussières sédimentables occasionnent directement peu d'effets sur la santé. Mais lorsque ces poussières sédimentent, elles engendrent des salissures sur la plupart des supports extérieurs, elles constituent une nuisance par les dégradations qu'elles provoquent sur le cadre de vie en général : impact visuel et psychologique négatif. A ce titre elles font souvent l'objet de plaintes. Cependant ces particules peuvent être d'origines très différentes, de ce fait, elles peuvent venir infecter l'eau ou les sols et contaminent l'écosystème.

2.8.1. Effets sur le cadre bâti

Les poussières sont principalement responsables du noircissement des façades, en se déposant à la surface des édifices et conduisent à leur empoussièrément et à la formation de croûtes noires.

L'observation des bâtiments révèle l'ampleur de cette dégradation physique et esthétique attribuée au dépôt des poussières et à l'accrochage de poussières noirâtres. Elles peuvent également être porteuses de soufre et de métaux catalyseurs de certaines réactions qui ont pour effet de modifier la couleur, la texture, la composition ou la forme des édifices qui y sont exposés, donnant ainsi à ces bâtiments un aspect inesthétique (voir figure 2.5).

Les nettoyages et ravalements successifs mis en œuvre pour la préservation du patrimoine bâti représentent un coût important pour la société et entraînent une perte de matière sur les édifices. Outre la mise en péril du patrimoine, les effets des particules sur le bâti constituent donc un enjeu économique important [35].



Figure 2.5 : Effets de la pollution sur le bâti, présence de croûtes noires [42]

2.8.2. Effets sur la végétation

Les particules, comme la poussière de ciment, la chaux dolomitique en poudre et la suie carbonique qui se déposent sur la végétation peuvent avoir des effets directs sur son fonctionnement, nuire à la respiration normale et aux mécanismes de la photosynthèse à l'intérieur de la feuille. En se déposant sur les plantes, la poussière de ciment peut provoquer la chlorose et la mort des tissus foliaires par la combinaison d'une croûte épaisse et d'une toxicité alcaline produite par temps humide (comme illustré figure 2.6)[51].



Figure 2.6 : Poussière de ciment recouvrant les feuilles et les fruits d'un pommier, la poussière a empêché un traitement de pré récolte d'agir [51]

L'enduit de poussière (figure 2.6) peut aussi nuire à l'action normale des pesticides et autres produits chimiques agricoles qu'on pulvérise sur le feuillage. L'accumulation de poussières alcalines dans le sol peut élever le PH du sol à des niveaux dommageables pour la croissance des cultures.

2.9. Procédés de réduction

La préoccupation constante au sujet de l'impact des poussières sur la santé humaine et l'écosystème se traduit au niveau international par la signature de nombreux textes en matière de rejets dans l'atmosphère. Afin de respecter les seuils de plus en plus exigeants imposés par ces textes, les industries grosses émettrices de poussières sont contraintes de passer par la mise en œuvre des techniques de traitement de plus en plus performantes. Plusieurs techniques de dépoussiérage sont utilisées dans le milieu industriel, celles-ci peuvent être très différentes en fonction de l'établissement. Cependant quatre procédés sont souvent les plus utilisés, les cyclones, les laveurs, les électro filtres et les filtres à manche.

2.9.1. Cyclones

Très efficaces sur les grosses particules supérieures à 15 μm , ils mettent en jeu une force mécanique pour faire migrer les poussières hors du gaz porteur et assurer leur séparation. Ce matériel peut garantir des rejets de 250 à 120 mg/m^3 et il est souvent utilisé en pré-dépoussiérage.

2.9.2. Laveurs

Ils ont l'inconvénient de transférer l'émission gazeuse vers une phase liquide. Un dépoussiéreur humide produit une boue qu'il faut traiter et au moins décanter. L'efficacité des laveurs est dépendante du niveau d'énergie mis en jeu.

2.9.3. Electrofiltre

Les poussières se trouvent piégées par l'action d'un champ électrique élevé créé entre une électrode collective et une électrode émissive. Cette technologie présente une bonne efficacité pour toutes les particules et permet de respecter 50 mg/m^3 de poussières en rejet, voire 30 mg/m^3 en adoptant le nombre de champ nécessaire.

2.9.4. Filtres à manche

Ce type de filtre permet de garantir des rejets de 10 à 5 mg/m^3 et présente une excellente efficacité pour toutes les poussières même très fines. Mais ce matériel exige le renouvellement périodique des médias filtrants ce qui rend le coût d'exploitation très élevé. Cette technologie très performante devient la recommandation de plusieurs études sur l'impact des cimenteries sur l'environnement. Pour réduire leurs émissions de poussières et respecter les seuils exigés par les normes en vigueur toutes les nouvelles cimenteries sont équipées au niveau de toutes les sources émettrices par des filtres à manches ultra performants. Et les plus anciennes sont contraintes à remplacer les électro filtres par les filtres à manche.

2.10. Matériels et méthodes de surveillance

En plus de l'adoption des techniques de dépoussiérage les plus performantes, les industries installées en zone périurbaine doivent contrôler en continu l'impact de leurs activités sur l'environnement. Ces contrôles sont assurés par des réseaux de surveillance qui peuvent être soit télémétriques, c'est-à-dire la mesure en temps réel avec transmission des

résultats par voie téléphonique à un centre de traitement de données et soit non téléométriques ou l'échantillon est prélevé sur terrain puis analysé en laboratoire.

Le réseau téléométrique est la méthode de surveillance automatique pour les particules (PM 2,5- PM 10) en suspension dans l'air, elle permet un suivi des niveaux de particules en temps quasi réel et très court. Le prélèvement est effectué par aspiration d'un volume d'air qui sera transmis automatiquement à l'analyseur lequel transmet les résultats de l'analyse au centre de traitement. Ce dernier a pour rôle d'exploiter les résultats et d'informer les autorités concernées.

Les réseaux de surveillance non téléométriques sont des réseaux destinés pour quantifier les poussières dont le diamètre est supérieur à 10 μm et qui se sédimentent près des sources émettrices. L'inconvénient de cette méthode avec ses prélèvements passifs nécessite des temps d'échantillonnage très longs (1 à 2 mois) pour recueillir suffisamment de matière. Les points de prélèvement sont fixes situés dans les zones les plus impactées par les activités industrielles. Les niveaux d'empoussièrement enregistrés peuvent être comparés d'une année sur l'autre mais ne peuvent en aucun cas être comparés entre plusieurs sites [52].

Les instruments normalisés les plus utilisés pour surveiller les retombées des poussières sédimentables autour d'une industrie, sont les jauges Owen [7] et les plaquettes métalliques [4]. La Norme Française NFX43- 07 [4] utilise des plaquettes métalliques pour mesurer les retombées, dispositif destiné à recueillir les poussières présentes dans l'air ambiant et susceptibles de se déposer sur une surface horizontale en acier inoxydable de dimensions 5 x 10 cm (voir figure 2.7). La norme NFX43-014 quant à elle, utilise la jauge Owen, la durée d'exposition du collecteur (20 litres) est de 2 mois. Son contenu est ensuite analysé en laboratoire.



Figure 2.7 : Plaque métallique fixée sur un support à 1,50 m du sol [52]

Les jauges Owen sont des instruments normalisés en Grande-Bretagne (B.S 1747 part 1-1969) [8]. Elles sont composées d'un récipient cylindrique en polypropylène muni d'un entonnoir et placé dans un support métallique qui est fixé suivant les cas sur un support en béton ou sur un piquet planté au sol (comme illustré sur figure 2.8).

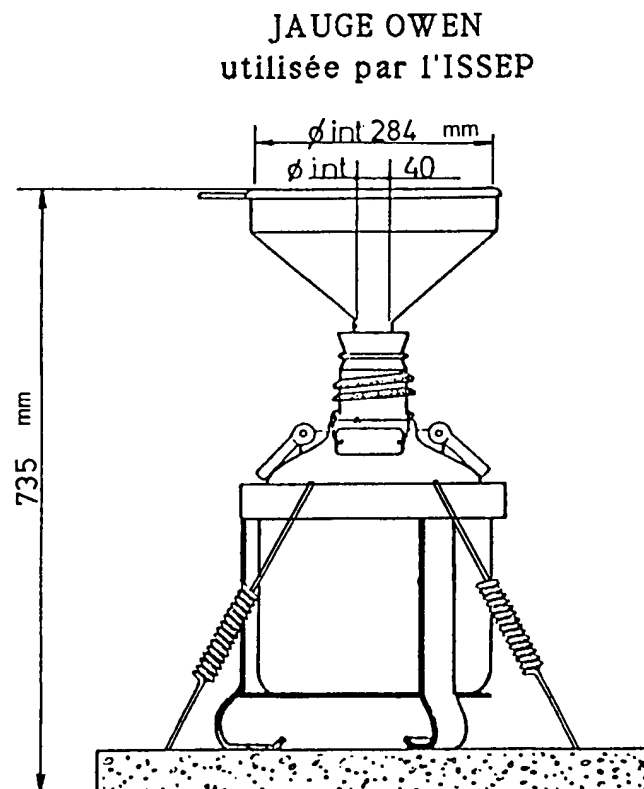


Figure 2.8 : Jauge Owen [7]

Il existe d'autres méthodes de détermination de la concentration massique en particules moins utilisées dans les réseaux de surveillance. Parmi elles on peut citer le néphélomètre et l'opacimètre dont le principe est basé sur les propriétés optiques des particules. La télédétection, Lidar particule est aussi un système de mesure optique, son avantage est l'observation à distance permettant de s'affranchir de la phase d'échantillonnage. Ce type d'instrument donne accès à l'altitude des couches diffusantes ou absorbantes et au suivi de leurs évolutions. L'étude menée à Tamanrasset utilisant le Lidar pour estimer la concentration massique des aérosols [53] a conclu que le Lidar s'avère être d'une part un moyen intéressant pour la surveillance et la caractérisation des propriétés des aérosols et d'autre part un outil incontournable pour les observations locales et régionales.

2.11. Conclusion

Les aérosols constituent la part majeure de la pollution atmosphérique. Ces particules liquides ou solides en suspension dans l'air que nous respirons endommagent la santé humaine. Elles sont d'origine naturelle ou anthropique. Elles sont principalement caractérisées par leur diamètre aérodynamique variant de 0,02 μm à 100 μm .

Il est admis que les particules en suspension sont celles dont la taille est inférieure à 10 μm et ce sont elles qui sont suspectées d'être à l'origine d'un large éventail de problèmes de santé provoquant une augmentation des décès. Pour réduire cet impact très alarmant, des normes sévères sont établies par l'Union Européenne et l'O.M.S.

Au delà de 10 μm ces poussières se sédimentent, et sont théoriquement peu dangereuses pour la santé humaine, cependant elles provoquent un impact visuel et psychologique négatif, elles peuvent avoir une portée éco toxicologique car les éléments toxiques qu'elles contiennent s'accumulent dans le sol et contaminent l'écosystème. Les poussières sédimentables ne font l'objet d'aucune réglementation, les normes AFNOR NFX43-O7(Française), TA-LUFT(Allemande) et ISSeP (Belge) indiquent seulement le seuil entre lequel une zone est faiblement ou fortement polluée.

Des techniques de dépoussièrément très performantes sont adoptées dans le milieu industriel afin de réduire les rejets de particules dans l'atmosphère. Et des réseaux de surveillance qui peuvent être télémétriques ou non télémétriques sont installés afin de contrôler le respect, par les industriels, des normes en vigueur.

Chapitre 3

Empoussièremment à l'intérieure de la
cimenterie

3.1. Introduction

En Algérie les besoins en ciment augmentent de plus en plus et pour répondre à ces besoins l'Etat a consenti de très importants investissements pour développer cette filière qui compte douze cimenteries dont la production est de 11,5 Million tonnes/an demeure très insuffisante. Ce qui pousse le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA) propriétaire de ces cimenteries à se fixer l'objectif d'atteindre une production de 26 M de tonnes/an à l'horizon 2022 [52]. « Le ciment est considéré comme un produit stratégique par l'Etat car il est l'élément clé au niveau de la construction et cette augmentation de la production constitue une sécurité pour la réalisation des projets à venir » déclaration du directeur du partenariat GICA [53].

Mais en revanche la fabrication de ce matériau très convoité et irremplaçable engendre des nuisances sur l'environnement dont les principaux sont les rejets vers l'atmosphère 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. 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 (PILLET G et al, 2006) [54].

Pour réduire leur impact sur l'environnement, les cimentiers doivent adopter les nouvelles technologies plus efficaces telles que les filtres à manches afin de réduire les émissions de poussières engendrées par le processus de fabrication [55]. Donc 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. C'est la un grand défi que doivent relever les cimenteries algériennes pour produire propre.

Dans ce contexte deux études ont été réalisées, la première, menée par l'université de Constantine sur la cimenterie de Ain-Touta (KELIFAR et Al 2005) [56] et, la seconde, réalisée par l'Agence Internationale pour le Développement de la Qualité et l'Environnement (AIDEQ, 2005)[57] sur la cimenterie de Chlef certifiée depuis 2003 en ISO 9001 qualité [58] et se prépare à la certification en ISO 14001[59]. Toutes deux ont recommandé la rénovation de tous les filtres par des filtres très performants et obéissants à la norme Algérienne (30

mg/Nm³) ainsi que la surveillance en continu des émissions des poussières par des jauges Owen et des appareils d'opacimétrie.

L'objectif de cette étude est de mesurer le niveau d'empoussièrément engendré par le processus de fabrication du ciment au sein de la cimenterie de Chlef en utilisant la méthode des plaquettes métalliques décrite par la norme Française NFX 43-007 (AFNOR, 1973) [41]. Les résultats enregistrés seront confrontés aux valeurs seuils admissibles par la norme française. L'analyse des résultats obtenus tiendra compte aussi des résultats obtenus par les opacimètres dont les valeurs seuils sont définies par la norme algérienne (Décret Exécutif) [60], cette confrontation identifiera les sources d'émission.

Un autre facteur très important à prendre en considération et qui peut fortement augmenter ou réduire le taux d'empoussièrément enregistré est fourni par les conditions climatiques. Le suivi de la direction et de la vitesse du vent ainsi que la pluviométrie permettent de mieux interpréter les résultats d'analyse des essais réalisés. Ce paramètre doit donc être pris en considération dans l'analyse de l'évolution de l'empoussièrément pour toutes les stations de prélèvements.

Dans le présent travail, le niveau d'empoussièrément engendré par le processus de fabrication du ciment est mesuré en utilisant deux méthodes de suivi : celle des plaquettes métalliques et celle des appareils de mesure de l'opacimétrie.

3.2. Présentation des méthodes

La méthode des plaquettes métalliques est celle décrite par la norme Française NFX 43-007 [41] (AFNOR, 2008). Ces plaquettes en acier inoxydable enduites d'un fixateur hydrophobe sont des dispositifs destinés à recueillir les poussières présentes dans l'air ambiant et qui se sédimentent près des sources émettrices. Le dépôt est ensuite prélevé et transféré sur un filtre pour la pesée et l'analyse en vue d'estimer l'importance des retombées de poussières.

Aussi, pour le suivi en continu des émissions de poussières au niveau des cheminées, la cimenterie est équipée d'appareils de mesure de l'opacimétrie de type CPM 5003. Le CPM 5003 est un outil de surveillance d'émissions particulaires avancé, conçu pour fournir des résultats pendant des années de service sans panne et avec un entretien minimal.

3.2.1. Appareillage

Plaquettes métalliques

Les plaquettes métalliques sont disposées horizontalement à 1,5 m du sol. Elles sont de dimensions 50 x 100 mm fixées sur des supports de longueur 2 m avec un ancrage au sol de 50 cm et répondant à la norme AFNOR (voir figure 3.1). Les particules qui se déposent sur la plaquette par gravitation sont retenues ou stabilisées par l'enduit qui recouvre la plaquette. L'enduit est défini par la norme AFNOR comme un fixateur hydrophobe, ayant la propriété de fixer les poussières déposées (dans cette étude, c'est de la vaseline pure qui a été utilisée).

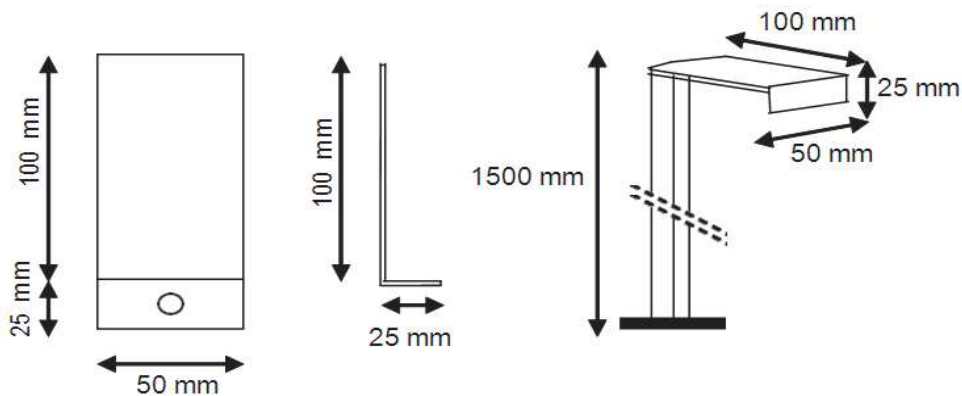


Figure 3. 1 : Dimensions de la plaquette métallique

Appareils de mesure de l'opacimétrie (CPM 5003)

Le système de CPM 5003 inclut une unité de commande de microprocesseur, un émetteur et un récepteur duels comme indique la figure 3.2. Lorsque la poussière passe entre l'émetteur et le récepteur, le colmatage momentané de la lumière par les particules provoque un signal et le convertit en concentration de poussière avec le microprocesseur.

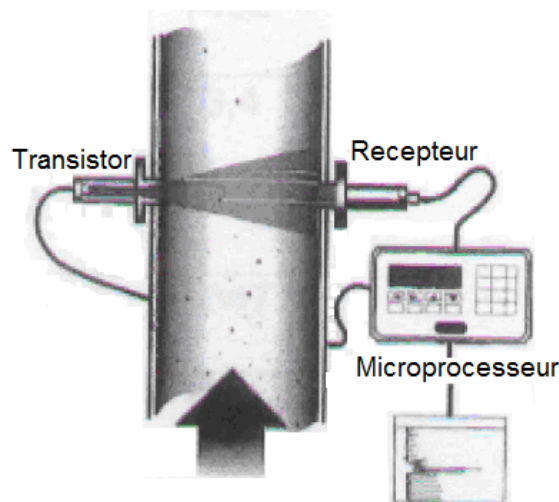


Figure 3.2 : Appareil d'Opacimétrie CPM 5003 source [55]

3.2.2. Programme de surveillance

Le réseau de surveillance est composé de sept stations pour prélèvement disposées de manière à balayer tout le champ de la cimenterie (illustré à la figure 3.3), à savoir l'atelier de broyage du cru (station S1) la zone d'expédition (station S2), la base de vie (station S3), la zone ciment (station S4), la zone de réception des ajouts (station S5), la zone de réception de la matière première (station S6) et enfin la trémie de dosage du cru (station S7). Le réseau de suivi a été mis en place à la mi-juin et a été maintenu jusqu'à la fin décembre 2011, couvrant ainsi la période sèche et humide.

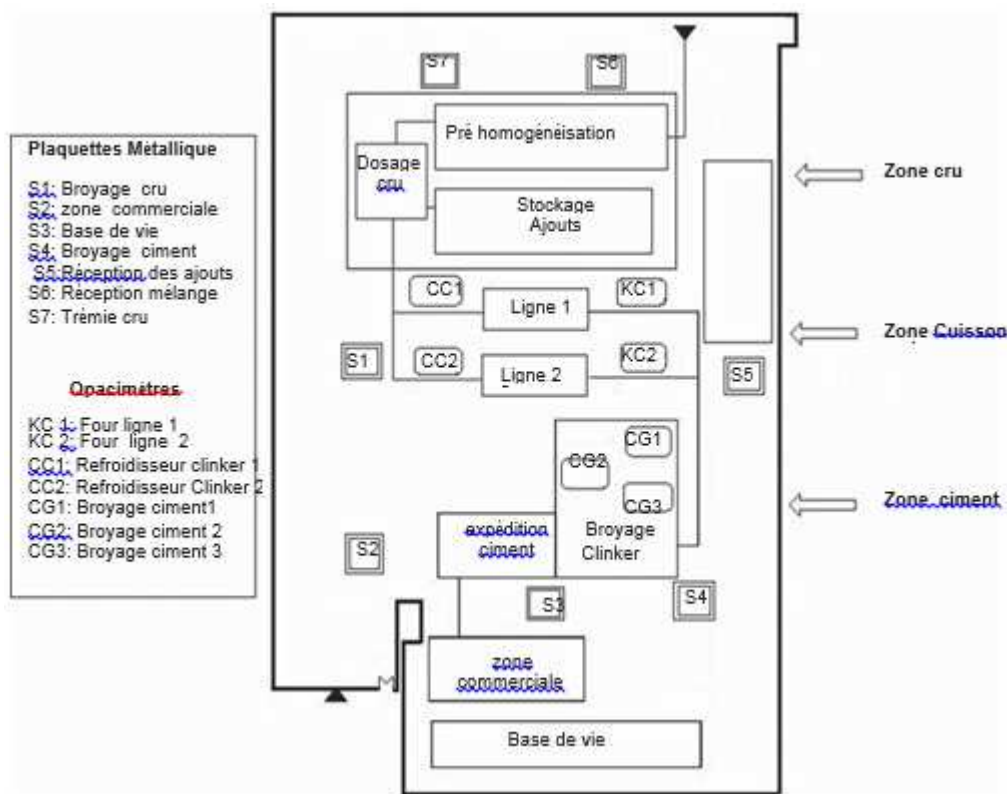


Figure 3.3 : Réseau de surveillance

Les prélèvements des poussières ont eu lieu tous les 21 jours pendant les 63 premiers jours (série 1), puis chaque 14 jours pour les 42 jours suivants (série 2), ensuite tous les 7 jours (série 3) et tous les 28 jours (série 4). La fréquence des prélèvements au cours de la période de surveillance est illustrée à la figure 3.4. Les temps d'exposition des quatre séries sont conformes aux temps indiqués par la norme NFX43-07 [41]. L'évolution de l'empoussièrement pour chaque série est déterminée par la valeur moyenne des trois prélèvements.

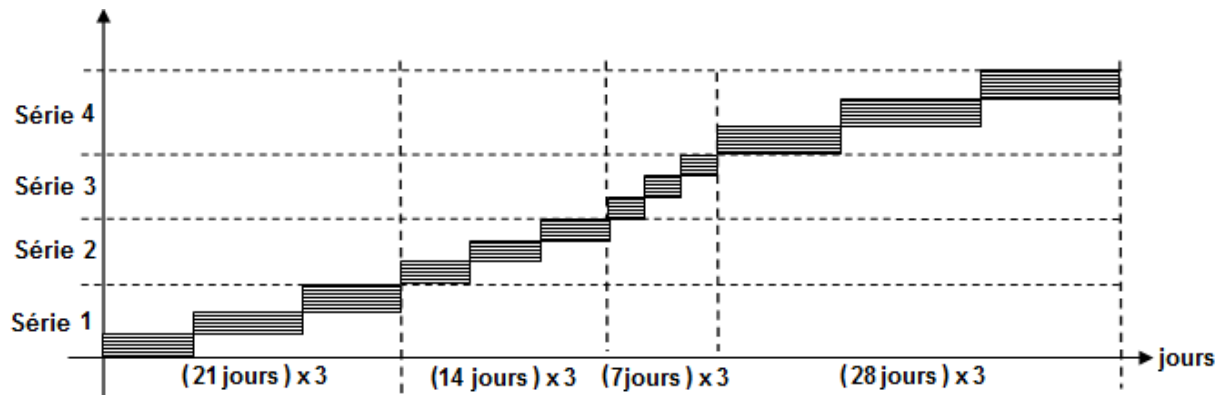


Figure 3.4 : Séries de prélèvement

Pour les mesures de l'opacimétrie, la cimenterie dispose de sept appareils de mesure, positionnés au droit des différentes sources d'émission de poussières. Chaque appareil d'opacimétrie est installé au niveau des filtres à manches, à savoir, filtres cru (EP1 et EP2), filtres refroidisseurs (RF1 et RF2), et des broyeurs ciment (BK1, BK2 et BK3), ainsi illustrés dans la figure 3.3. Les mesures enregistrées par les appareils d'opacimétrie ont eu lieu au cours de la période d'exposition des plaquettes métalliques. Elles représentent la valeur moyenne des valeurs enregistrées toutes les heures pendant les quatre séries.

3.2.3. Détermination du niveau d'empoussièremet

Après expiration du temps d'exposition, nous avons procédé au prélèvement des dépôts de poussière recueillis sur les plaquettes pour la pesée. Le poids des poussières de chaque prélèvement est déterminé comme la différence de poids avant et après le dépôt. Une fois le poids des poussières de chaque prélèvement déterminé, il a été procédé au calcul de la teneur majeure des poussières selon la relation donnée par la norme AFNOR [41].

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

Avec :

P : la teneur majeure des poussières

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.

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

3.3. Résultats et discussion

3.3.1. Caractérisation des particules de poussières

L'analyse chimique des poussières prélevées des stations S1 et S2 montre que la teneur en CaO est approximativement de 60%, ceci confirme une corrélation avec les composants de ciment adopté comme référence par le laboratoire de l'usine. 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 [56] (Khelifa et al, 2005).

Tableau 3.1 : Analyse chimique des poussières

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
Réf.ciment	61 - 64,5	17 - 23	2,5-05	02-3,5	0,5-01		01-02
Réf.cru	41,5-43,5	12-16	02-3,5	1,5-03	0,5-1,5		0,05-0,08

La distribution en taille des particules de poussière recueillies a été déterminée par le granulomètre-laser. Cette distribution est caractérisée par une granulométrie étalée, dont 80% en volume de particules ont des tailles supérieures à 10 µm (voir figure 3.5). Cette distribution classe ces particules comme des particules sédimentables [61]. Cette poussière est caractérisée par une surface spécifique de Blaine de 6080 cm²/g.

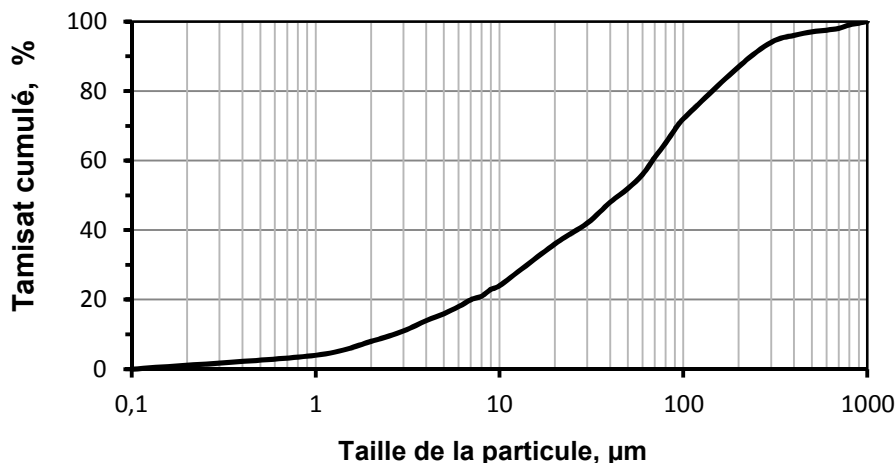


Figure 3.5 : Distribution en taille des particules de poussière

3.3.2. Niveau d'empoussièremet de la série 1

L'évolution du niveau d'empoussièremet de la série 1 pour les 7 stations est illustré sur la figure 3.6, où on a remarqué que la station 3 enregistre un niveau d'empoussièremet 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'empoussièremet moyen du à l'arrêt temporaire du four de la ligne 1 de la cimenterie. Une surélévation peu significative du niveau d'empoussièremet est remarquée pour la station 2 qui peut être expliqué par l'emplacement de cette station au niveau de l'accès des camions. Les stations restantes (5, 6 et 7) ont affiché un niveau d'empoussièremet très considérable de l'ordre de 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.

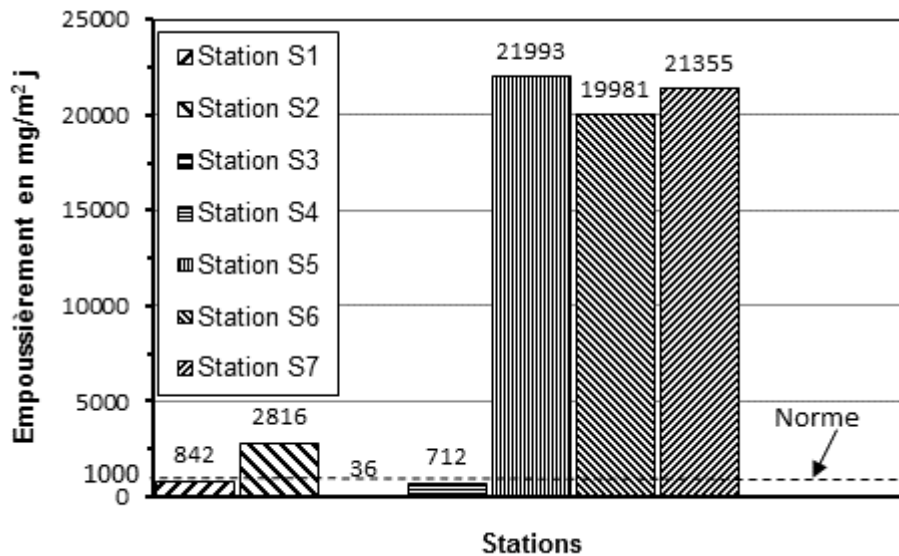


Figure 3 .6: Evolution du niveau d'empoussièremet : Série 1

3 .3.3. Niveau d'empoussièremet de la série 2

Le niveau d'empoussièremet de la série 2 pour les 7 stations est illustré sur la Figure 3.7 ou il est remarqué qu'au cours de cette série de mesures dont la période d'exposition des plaquettes est de 14 jours, les niveaux d'empoussièremet sont inférieurs à ceux de la série 1 (figure 3.6). 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 (voir bulletin météo), par contre les stations 5 et 6 dépassent largement la valeur de référence 1000 mg/ m²/jour fixée par la norme [41] bien que le niveau d'empoussièremet par rapport au prélèvement de la série précédente a baissé pour la même raison citée précédemment. La station S6 dans cette série a enregistré le niveau d'empoussièremet le plus élevé, qui est principalement imputable à son emplacement sur l'axe des vents dominants Nord et au Nord-Ouest. En outre, la station S 1 a recueilli les particules de poussière émises par l'électro filtre de la ligne 1 dont l'activité a repris au cours de cette série. Il est à noter que les quantités de retombées recueillies sur la station 3 sont en dessous même de la valeur de référence de la norme Britannique jugée plus sévère [62] que la norme AFNOR et caractérisant un environnement peu polluant.

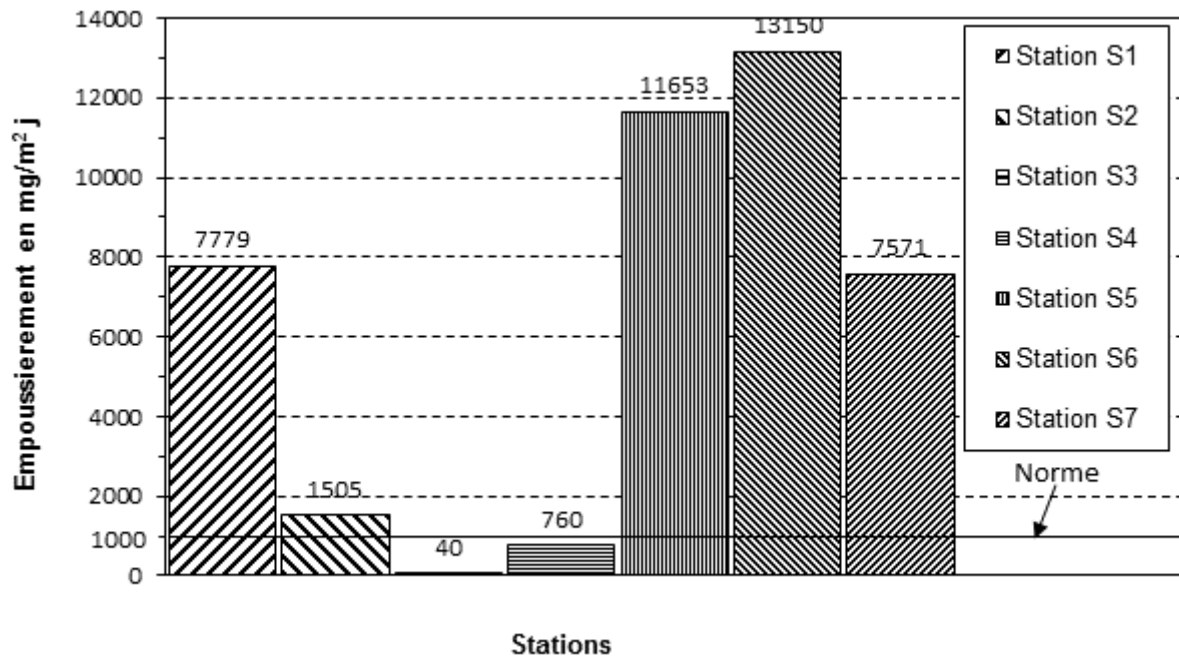


Figure 3.7 Niveau d'empoussièremet Série 2

3.3.4. Niveau d'empoussièremet de la série 3

La figure 3.8 illustre l'évolution de l'empoussièremet 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 [41], par contre les stations 1, 5 et 6 enregistrent un niveau d'empoussièremet 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'empoussièrment toujours élevées et n'ont pas été affectées 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 des deux jours de pluie.

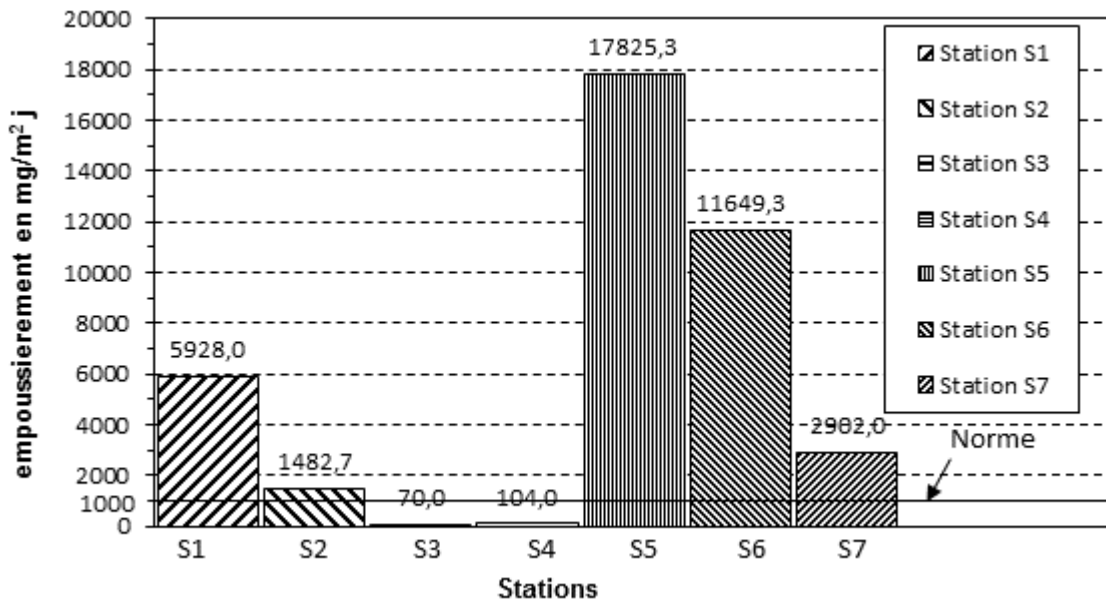


Figure 3 8 Evolution de l'empoussièrment de la série 3

3.3.5 Niveau d'empoussièrment de la série 4

La figure 3.9 représente l'évolution de l'empoussièrment de la série 4 qui comprend elle aussi 3 séries de prélèvement avec un temps d'exposition de 28 jours. Durant cette période d'exposition, le niveau d'empoussièrment constaté pour la majorité des stations est faible même en le comparant à la norme UK [44] dont la valeur seuil de la moyenne est de 200 mg/m² jour. Seule la station 5 enregistre un niveau fort, en effet la quantité de poussières récupérée dépasse toujours le seuil de 1000 mg/m²/jour fixé par la norme AFNOR [41], 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.

Dans une étude réalisé par ORAMIP sur les retombées de poussière dans le Midi Pyrénées (France), le niveau d'empoussièrment obtenu varie entre 35 et 123 mg/m² jour durant le mois d'Octobre [61]. Dans notre cas, toutes les valeurs obtenues varient de 15 à 107 mg/m² jour à l'exception de 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 obtenus dans cette étude est comparable à celui de l'étude réalisée dans le Midi-Pyrénées en utilisant la méthode des plaquettes métalliques [41].

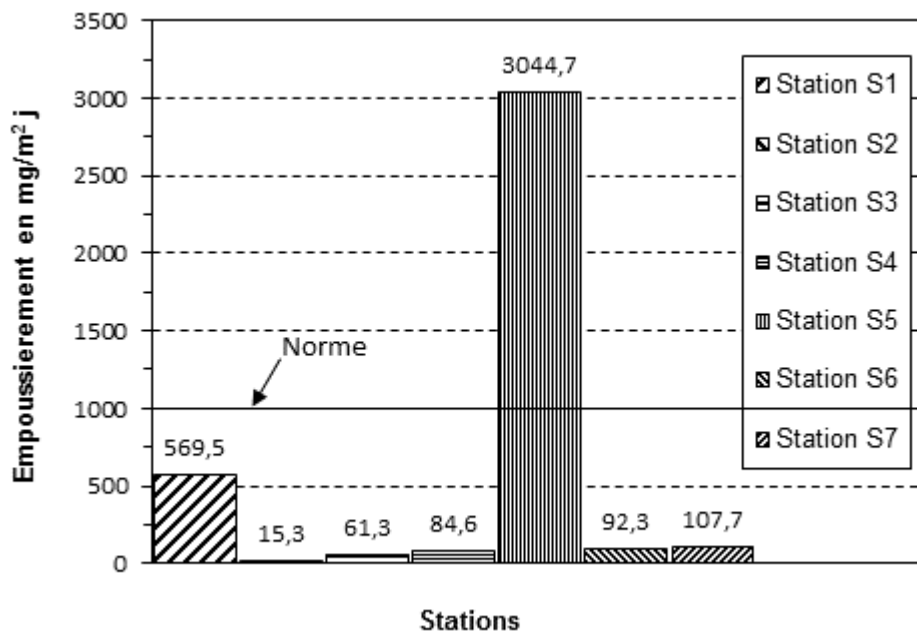


Figure 3.9 : Evolution de l'empoussièrément de la série 4

3.3.6. Comparaison du niveau d'empoussièrément pour les 4 séries

La figure 3.9 illustre la courbe d'évolution des moyennes des retombées totales sur la période des quatre séries où il est constaté que les trois premières séries de prélèvement enregistrent sur la majorité des stations des concentrations en retombées très élevées dépassant de loin le seuil fixé par la norme Afnor NFX43-007 [41] et par la norme britannique [44] (BSI,1969). Par contre la quatrième série de prélèvement présente des concentrations de poussières bien en dessous du seuil toléré par la norme en vigueur.

Les niveaux entre les périodes de prélèvements sont très contrastés. Les niveaux très élevés ont été enregistrés au cours des mois de Juin, Juillet, Aout, Septembre et les niveaux faibles ont été relevés en Octobre, Novembre et Décembre. 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 (1000 mg/m² jour). Elle affiche une valeur de 20 g/m²/jour au

cours des séries 1, 2, 3 et une valeur de 3 g/m²/jour au cours de la série 4 soit une baisse remarquable de 17 g/m²/jour. On pense que ceci est attribué à une variation saisonnière avec un empoussièrément plus marqué en été, ce constat est à relier aux conditions de sécheresse, facteur très favorable à l'envol des particules sédimentables, et à un faible empoussièrément causé par une pluviométrie de 115 mm de précipitation affaiblissant ainsi l'envol des poussières.

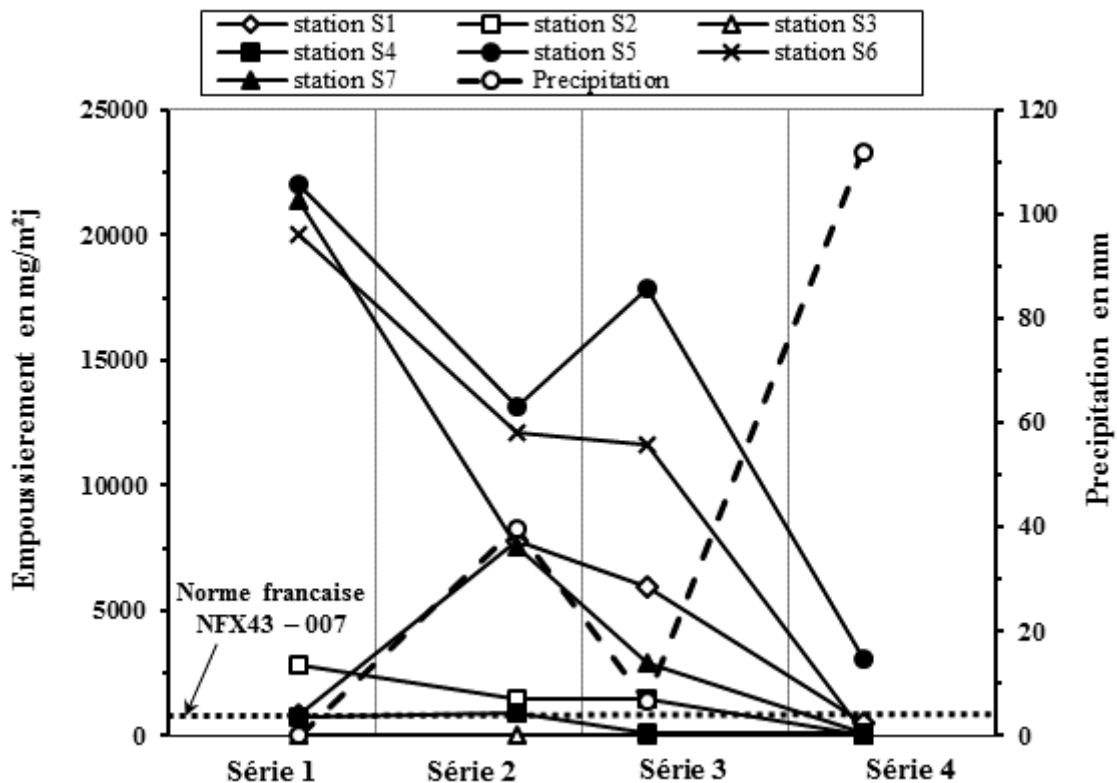


Figure 3.9 : Courbe d'évolution des moyennes des retombés totales sur la période des 4 séries
N.B : Les valeurs prélevées de la station 3 n'apparaissent pas sur le graphe car elles sont insignifiantes.

Durant la période d'exposition des plaquettes de la série 4, la pluviométrie sur la zone était importante, 16 jours de pluie comme indiqué par le bulletin météo [63]. 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.

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 [41] et aucun dépassement de la valeur de référence fixée à 350 mg/m²/jour par la norme environnementale britannique (BSI 1969) [44] 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 [41].

C'est au cours de la série 1 que les niveaux d'empoussièrèment les plus forts ont été relevés. Bien que les séries de prélèvement 2 et 3 se sont déroulées en saison chaude et sèche nous constatons une légère baisse des quantités de poussières par rapport à la série 1. En effet, la station la plus sensible affiche une baisse d'environ 8 mg/m²/jour au cours de la série 2 et 4 mg/m²/jour au cours de la série 3, on pense que cette baisse est due aux trois jours de pluie (40 mm de précipitations) au cours de la série 2 et aux deux jours de pluie (6,6 mm de précipitations) au cours de la série 3.

En revanche durant la série 4 les quantités obtenues varient de 15 à 107 mg/m²/jour à l'exception de celles des stations 1 et 5. En effet les valeurs de ces stations sont anormalement élevées par rapport aux autres stations à cause de la déficience du filtre de la ligne 1 et le mauvais emplacement du concasseur du gypse. Par conséquent, l'ordre de grandeur des niveaux d'empoussièrèment déterminé dans la série 4 de notre étude est comparable à celui de l'étude réalisée dans le Midi-Pyrénées. Ceci suggère que les seuils définis par les normes française (Afnor) et britannique (UK) conviennent pour des périodes humides et pluvieuses, cependant ces normes peuvent ne pas être appropriées pendant les périodes chaudes et sèches, indiquant que ces seuils de référence devraient être passés en revue pour les sites de climat chaud et sec.

3.4. Résultats de l'opacimétrie

La Figure 3.10 indique les quantités de poussières enregistrées au niveau des appareils de surveillance pendant l'étude. Selon cette figure, la quantité de poussière émise varie de 1.52 à 28.99 mg/Nm³ pour les différents opacimètres utilisés à l'exception des opacimètres placés aux niveaux des filtres EP1 et EP2. Les résultats obtenus sont bien en dessous de la norme algérienne qui est de 30 mg/Nm³ (Décret Exécutif) [56] témoignant ainsi du bon fonctionnement des filtres à manches. Cependant, les opacimètres placés au niveau des filtres

EP1 et EP2 ont enregistré des valeurs anormales, car l'opacimètre EP1 (ligne 1) est hors service en attendant le remplacement de l'électro filtre par le filtre à manches, tandis que l'opacimètre EP2 n'a pas été étalonné pendant la période des essais. On constate que l'opacimètre BK2 enregistre le niveau le plus élevé en dessous du seuil (30 mg/Nm³) par rapport aux autres opacimètres (BK1 et BK3), soit 28,99 mg/Nm³. Cet écart est causé probablement par le problème d'étanchéité des filtres dont souffrait le dispositif de filtration en cette période. En ce qui concerne l'écart entre les deux autres opacimètres BK1 et BK3, on pense que cela est lié au processus de chaque atelier et aussi à la bonne maîtrise du fonctionnement des filtres nouvellement installés.

En se basant sur les résultats d'opacimétrie, on constate que les dégagements de poussière enregistrés étaient bien en dessous de ceux recommandés par les normes algériennes (Décret Exécutif) [60], tandis que la quantité de poussière recueillie sur les sept stations de prélèvement des plaques dépasse le seuil fixé par la norme NFX43-007 [41]. Ces résultats prouvent clairement que les particules de poussières recueillies au sein de la cimenterie sont engendrées par le processus de fabrication du ciment tout entier comme le stockage des matières premières et les ajouts, l'atelier de concassage du gypse, les bandes transporteuses dont les couvertures sont détériorées et aussi l'influence des vents dominants qui favorisent le transport des poussières.

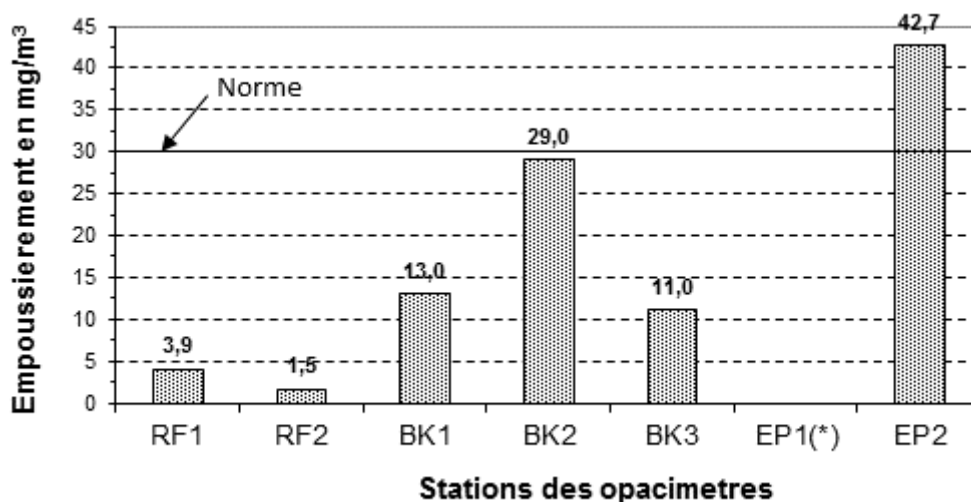


Figure 3.10 : Évolution des émissions de poussières au moyen des opacimètres CPM 500.

EP1(*) : L'opacimètre de la station EP1 n'est pas fonctionnel à cause de l'arrêt temporaire de la ligne 1.

3.5. Conclusion

Les niveaux d'empoussièrément affichés par les opacimètres placés au niveau de chaque source d'émission sont en dessous du seuil fixé par la norme algérienne (30 mg/N m^3) [60], prouvant ainsi l'efficacité des filtres à manches introduits. Par ailleurs, les retombées de poussières sur les plaquettes demeurent très élevées selon la norme AFNOR [41]. Cette différence est vraisemblablement due à la technique de mesure, en effet l'opacimètre enregistre les niveaux d'empoussièrément à la source émettrice alors que les plaquettes métalliques sont situées tout autour de la cimenterie, captant ainsi toutes les poussières provenant des différentes activités de l'usine.4

On suggère de délocaliser l'opération de concassage du gypse et de la prévoir au niveau de la carrière, de réorganiser la réception des ajouts et la protéger des vents dominants afin d'éviter l'envol des poussières. De plus, 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.

En se basant sur les résultats des niveaux d'empoussièrément obtenus lors de la quatrième série de prélèvement, il est constaté que la quantité de retombées de poussières diminue à mesure que les précipitations augmentent. Ceci suggère que les seuils définis par les normes française (Afnor) [41] et britannique (UK) [44] conviennent pour des périodes humides et pluvieuses, cependant ces normes peuvent ne pas être appropriées pendant les périodes chaudes et sèches, indiquant que ces seuils de référence devraient être passés en revue pour les sites de climat chaud et sec. En effet la variation saisonnière est un facteur important dans la détermination du niveau d'empoussièrément qui est plus marqué en saison chaude.

Les caractéristiques du climat comme les précipitations, les températures, l'humidité, la vitesse et la direction du vent sont des facteurs à prendre en considération dans l'évaluation de l'empoussièrément.

Chapitre 4

Empoussièrement à l'extérieure de la
cimenterie

4.1. Introduction

L'industrie du ciment présente de nombreux avantages à la société locale comme des possibilités d'emploi et contribue à l'amélioration du développement économique, mais en revanche elle engendre des impacts négatifs sur les humains et leur environnement [66]. Les cimenteries et les carrières situées en zone périurbaines, contribuent de façon relativement importante à la diffusion des poussières sur l'ensemble de la zone et dans l'atmosphère [67]. En effet dans les pays dont le climat est chaud et sec à longueur d'année avec de faibles précipitations, ces émissions de poussières deviennent l'impact le plus important et le plus visible sur l'environnement. Les nouvelles technologies de filtration les plus performantes adoptées par les cimentiers pour relever le défi demeurent insuffisantes, certes elles assurent la réduction des émissions de poussières au niveau des sources émettrices et permettent ainsi aux cimentiers d'être en règle avec la réglementation en vigueur, mais pour les zones à climat chaud et sec, l'envol des poussières demeure aussi un impact important sur l'environnement.

L'étude précédente, réalisée à l'intérieur de la cimenterie, a permis de mettre en évidence que les fractions de particules les plus impactées par l'activité de la cimenterie sont celles dont le diamètre est supérieur à 10 μm . L'objectif de ce chapitre est donc ciblé sur ce type de particules sédimentables, plus précisément sur l'impact de leur concentration sur l'ensemble de la zone environnante de la cimenterie. Les valeurs enregistrées seront comparées bien sur à la valeur seuil de la norme française Afnor NFX43-007 [4] dont la méthode de prélèvement de celle-ci est adoptée par cette étude, aux valeurs seuils de la norme allemande Ta-Luft [6], de la norme belge ISSEP [7] et de la norme environnementale britannique (UK BSI, 1969) [8].

4.2. Partie expérimentale

4.2.1. Matériels utilisés

Comme pour l'étude précédente, le matériel utilisé pour cette campagne de prélèvement est la plaquette métallique qui est un dispositif destiné à recueillir les poussières présentes dans l'air ambiant (Afnor) [4]. Les dimensions de celle-ci ainsi que la présentation de la méthode de prélèvement sont décrites dans le chapitre précédent.

4.2.2 Réseau de prélèvement

L'implantation des stations est déterminée pour avoir une vue générale de l'impact potentiel de la cimenterie et de sa carrière et notamment par vents de secteur Nord, Nord-Ouest et Nord-Est où les nuisances en terme d'émissions de poussières sédimentables se font le plus ressentir. Les stations sont implantées tout autour de la cimenterie afin que tout l'environnement soit balayé. Le réseau de surveillance est ainsi composé de 5 stations situées tout autour de la cimenterie comme illustré dans la figure 4.1.

- Station 1 au Nord-Est à environ 5 km
- Station 2 au Nord Nord-Est à environ 5,5 km
- Station 3 au Nord Nord-Ouest à environ 5,8 km
- Station 4 au Sud-Ouest à environ 5 km
- Station 5 à Ouest Sud-Ouest à environ 900 m

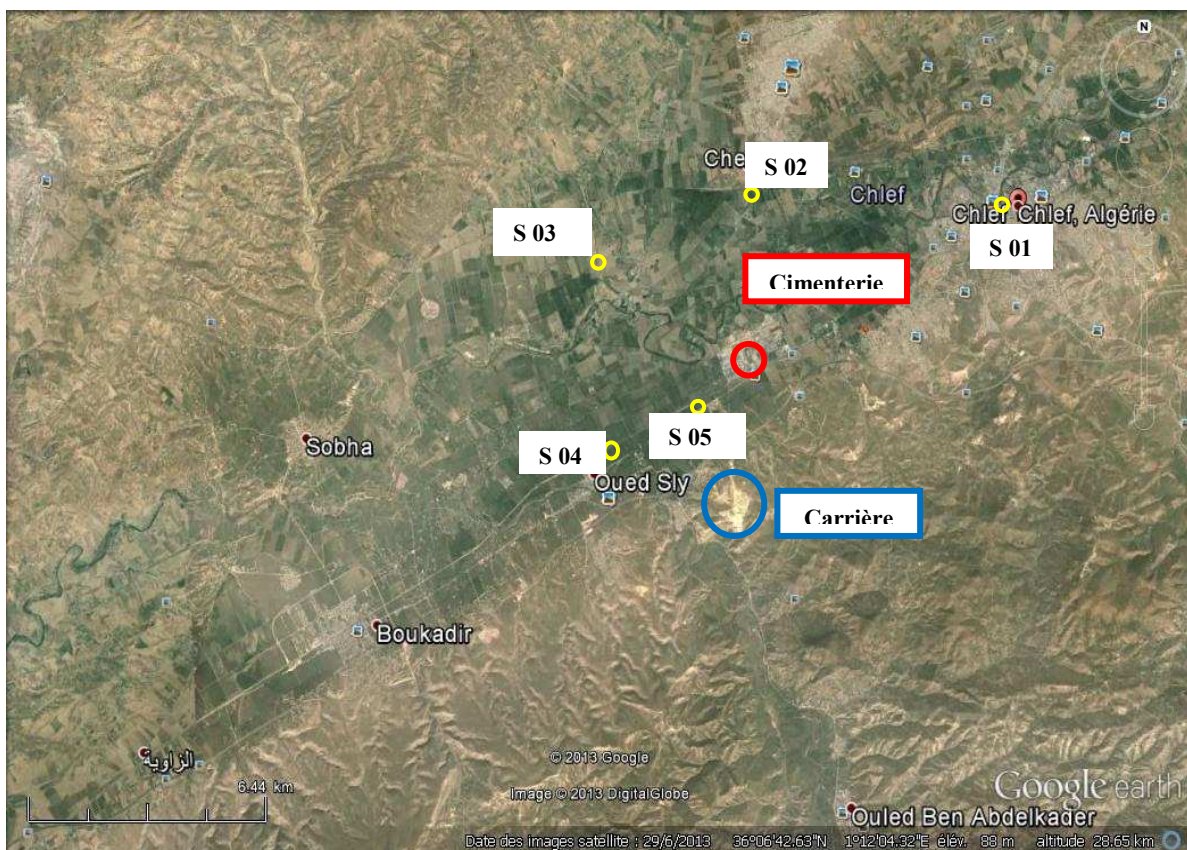


Figure 4.1 : Disposition des stations

L'étude du niveau d'empoussièrément dans l'enceinte de la cimenterie a démontré que, la zone dégagant les concentrations de poussières les plus importantes, est la zone englobant la réception du mélange (mélange + calcaire), la réception et le stockage des ajouts

et le broyage du gypse. Aussi pour ce réseau de surveillance à l'extérieur de la cimenterie et pour mettre en évidence ces sources émettrices de poussières, la station 5 est placée de manière qu'elle soit directement exposée à ces sources ponctuelles qui rejettent des quantités importantes de poussières.



Figure 4.2 : Station 5



Figure 4.3 : Plaquette Métallique

Les points de mesure 1, 4 et 5 sont, de par leurs positions, influencés par les points ponctuels de la cimenterie ainsi que de la carrière. Par contre les stations 2 et 3 sont positionnées loin de l'influence des sources émettrices.

Programme des prélèvements

Le réseau de surveillance composée de 5 stations a été mis en place à la fin du mois de Mars 2014, le temps d'exposition des plaquettes pour chaque prélèvement était de 28 à 30 jours. La série de prélèvement s'est déroulée jusqu'à la fin du mois de Mars 2015, d'où le nombre de prélèvement était de 12 pour chaque station. A la fin de chaque mois, les plaquettes sont remplacées par de nouvelles; les plaquettes récupérées sont stockées dans des boîtes avant d'être envoyées en laboratoire.

4.3 Présentation et discussion des résultats

Les niveaux d'empoussièrément enregistrés au cours de chaque prélèvement seront comparés bien entendu au niveau d'empoussièrément désigné comme seuil entre une zone faiblement polluée et une zone fortement polluée de la norme française Afnor NFX43 – 007 [4], mais aussi de la norme allemande Ta-Luft [6] citée comme référence, de la norme belge ISSEP [7] et de la norme britannique [8] vu que les prélèvements se font tous les 28 jours en utilisant comme matériels de prélèvement les jauges Owen.

Rappelons que la norme française NFX43–007 indique la limite entre une zone faiblement polluée et une zone fortement polluée et cette limite est $1000 \text{ mg/m}^2 \text{ jour}$. Pour la norme allemande Ta–Luft, au delà de $350 \text{ mg/m}^2/\text{jour}$ l'air est pollué. La norme belge ISSEP s'est basée sur la réglementation allemande pour la protection de la qualité de l'air (Ta–Luft 2002) [6] qui fait appel à la médiane des valeurs annuelles du groupe (voir tableau 4.1). C'est à dire que dans notre cas le groupe représente les cinq stations et la médiane sera calculée en considérant l'ensemble des données de l'ensemble des stations du groupe pour la période étudiée c'est-à-dire les 12 prélèvements.

Tableau 4.1 : Catégories définies par l'ISSEP pour les poussières sédimentables [7]

Valeurs faibles	Valeurs élevées	Valeurs très élevées
Médiane annuelle des valeurs du groupe $< 200 \text{ mg/m}^2/\text{j}$	$200 \leq$ Médiane annuelle des valeurs du groupe $< 350 \text{ mg/m}^2/\text{j}$	Médiane annuelle des valeurs du groupe $\geq 350 \text{ mg/m}^2/\text{j}$

La norme britannique, elle aussi s'est basée sur la norme Ta-Luft en prenant le seuil $350 \text{ mg/m}^2/\text{jour}$ de celle-ci comme seuil de la valeur moyenne des retombées [8].

4.3.1. Situation météorologique

Avant d'aborder les résultats issus de l'analyse des plaquettes de dépôt, nous allons dans un premier temps nous intéresser aux phénomènes météorologiques qui se sont produits sur la zone d'étude durant la période d'exposition des plaquettes. Les vents dominants, la pluviométrie, la température et l'humidité sont des paramètres à prendre en considération pour examiner les résultats obtenus au cours de chaque prélèvement durant la série de prélèvements dont la période s'étale du mois d'Avril 2014 au mois de Mars 2015. Tous ces paramètres (vent, précipitations, humidité et température) ont une influence sur la dispersion des poussières sédimentables, sur leur retombées mais également sur leur impaction et leur adhérence au niveau des plaquettes.

A partir des données délivrées par le Bureau Assistance Météo de Chlef [68], nous avons établi les figures représentant ces paramètres durant toute la période de prélèvement (voir figure 4.4, 4.5, 4.6 et 4.7).

4.3.1.1 Variation de la moyenne mensuelle de la température

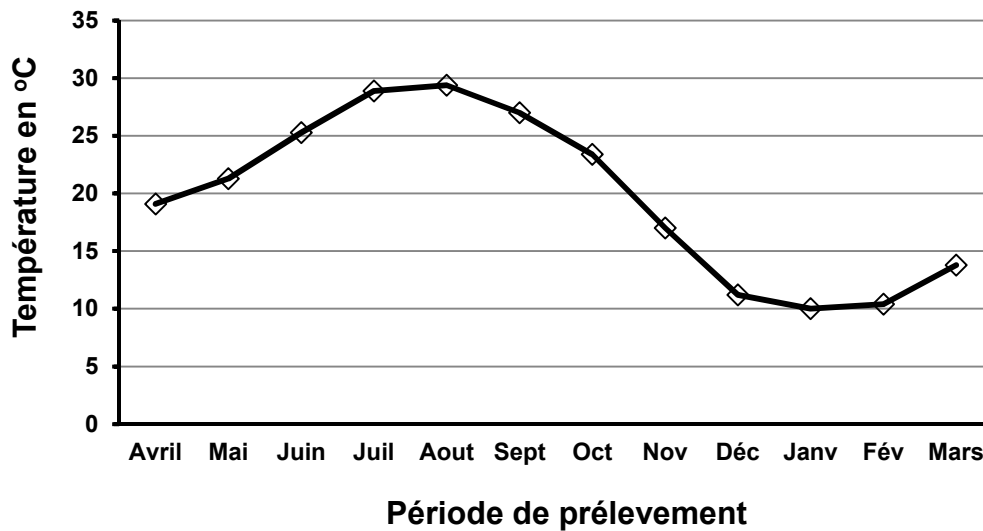


Figure 4.4. : Variation de la moyenne mensuelle de la température [68]

Comme il est prévu, on constate que la température moyenne au cours des mois de Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre 2014 était très élevée, elle varie de 25 C° à 30 C°. La température moyenne la plus faible 10 C° a été enregistrée en saison humide (Janvier et Février 2015). On peut aussi résumer cette variation de température, comme suit : pendant une durée de cinq mois, la moyenne mensuelle de la température est approximativement 27°C (Juin, Juillet, Août, Septembre, Octobre), il s'ensuit quatre mois où la température est 10°C (Novembre, Décembre, Janvier et Février). Après, on finit par trois mois où la température moyenne est de 20°C (Mars, Avril et Mai). Il est connu que la température élevée favorise l'envol des poussières d'où l'empoussièrément sera plus marqué en cette période.

4.3.1.2 Variation de la précipitation moyenne mensuelle

La figure 4.5 représente la variation de la précipitation en mm en fonction des mois de l'année. On remarque qu'au cours de la période de prélèvement, la précipitation augmente progressivement à partir du mois d'Octobre jusqu'à la fin de Février, ensuite, elle diminue pour atteindre son niveau le plus bas à la fin du mois d'Aout. La quantité la plus élevée de 108,7 mm a été enregistrée au mois de février 2015. Contrairement à la température élevée, l'effet de la pluviométrie sur l'empoussièrément est défavorable.

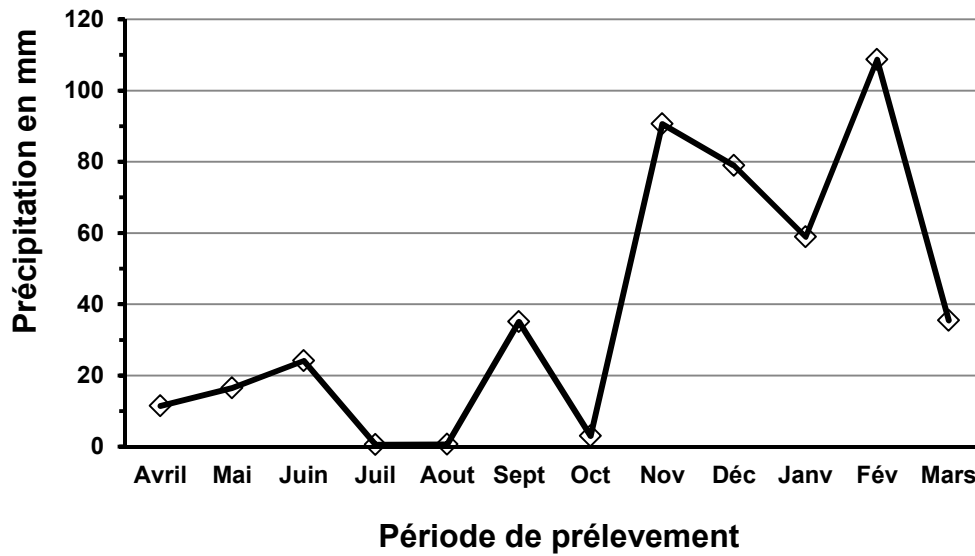


Figure 4.5 Variation de la précipitation moyenne mensuelle [68]

4.3.1.3 Variation de l'humidité relative moyenne

La figure 4.6 fait remarquer que l'humidité relative moyenne au cours de la période des prélèvements demeure anormalement très élevée en saison chaude avec des pics excédant 70 %. Or, selon la normale, l'humidité relative moyenne en saison d'été ne dépasse pas les 10% [66].

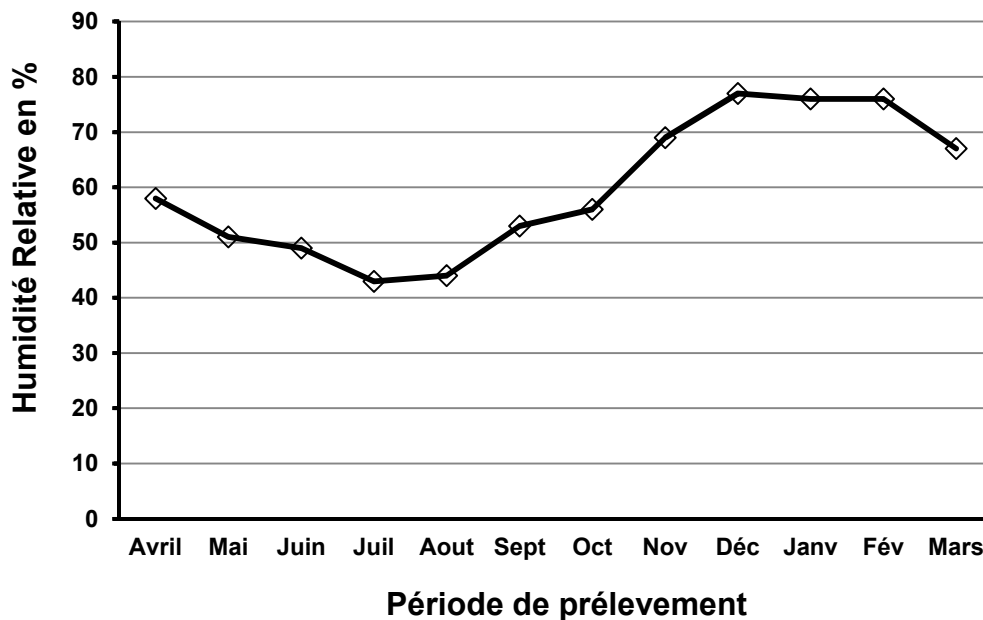


Figure 4.6. : Variation de l'humidité relative moyenne [68]

4.3.1.4 Variation de l'orientation des vents

Pendant la période des prélèvements, les vents dominants sont de Ouest, Ouest à Sud-Ouest et Nord- Est, Est Nord- Est à Est, et la vitesse varie de 2,3 à 3,9 m/s [68]. Ces deux paramètres sont très importants pour l'interprétation des résultats, car ils sont responsables du transport des poussières d'une zone à une autre.

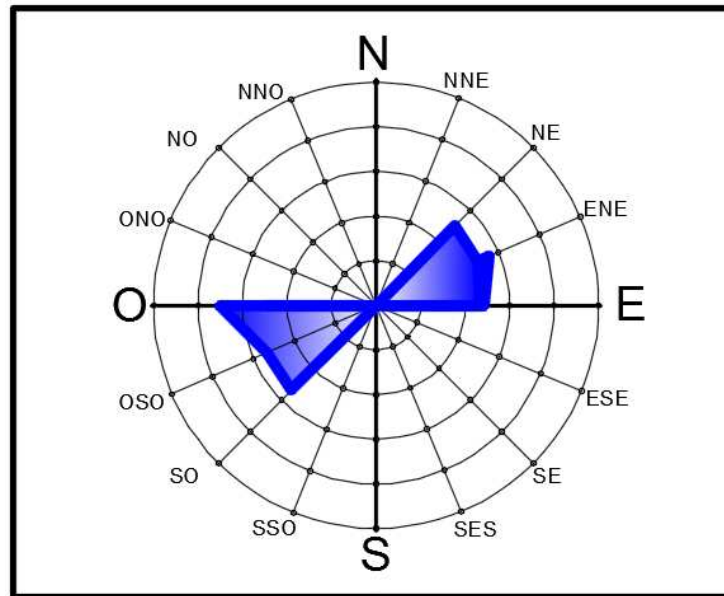


Figure 4.7 Variation de l'orientation des vents [68]

4.3.2. Niveau d'empoussièremment

Protocole d'analyse

Les quantités de poussières, recueillies sur les plaquettes après chaque période d'exposition (28 jours), sont transférées sur des filtres en quartz pour être évaluées conformément aux instructions dictées par la norme AFNOR NFX43- 007 [4]. Le protocole est le suivant : la pesée des filtres à blanc, le transfert des particules des plaquettes sur les filtres, le passage à l'étuve des filtres chargés et en dernier lieu la pesée des filtres chargés.



Figure 4.9. : Pesée des filtres à blanc



Figure 4.10. : Montage dissolution du fixateur



Figure 4.11. : Particules retenues par le filtre



Figure 4.12. : Dissolution du Fixateur



Figure 4.13 : Plaquettes métalliques

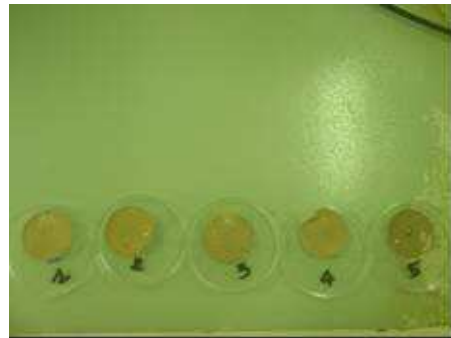


Figure 4.14 : Filtres chargé

Le principe de récupération des particules est le suivant : Après la pesée du filtre à blanc (figure 4.9), il est placé au sommet de l'Erlenmeyer (figure 4.10). Un solvant (type dichlométhane) est versé sur la plaquette, ce solvant permettra la dissolution de l'enduit fixateur de la plaquette. Les poussières se retrouvent alors parmi le solvant dans le récipient. La pompe est ensuite allumée pour aspirer le solvant à travers le support perméable, le solvant coule dans l'Erlenmeyer (figure 4.10) tandis que les particules sont retenues par le filtre (figure 4.11). De plus, les filtres chargés sont passés à l'étuve pour ôter toute trace de solvant à évaporer. Les résultats obtenus pour chaque prélèvement sont illustrés dans le tableau 4.2 ci-dessous.

A la lecture du tableau ci-dessous, on constate qu'au cours du premier prélèvement (mois d'avril 2014), la station 3 a enregistré le niveau d'empoussièrément le plus fort tandis que la station 1 a enregistré le niveau d'empoussièrément le plus faible, selon la norme Afnor [41]. Toutes les stations sont en dessous du seuil fixé par celle-ci (1000 mg/m²/jour) qui délimite la zone faiblement polluée à la zone fortement polluée. Mais selon la norme allemande Ta-Luft [42], citée en référence, au delà de 350 mg/m²/jour, donc pour la station 3, l'air est fortement pollué ; il est probable que cela est dû aux travaux de terrassement dans la zone pendant cette période.

Tableau 4.2 : Niveaux d'empoussièrément des 14 prélèvements pour les cinq stations

Prélèvements	Station 1 mg/m ² /j	Station 2 mg/m ² /j	Station 3 mg/m ² /j	Station 4 mg/m ² /j	Station 5 mg/m ² /j
Avril 2014	116	133	643	373	144
Mai 2014	208	650	169	426	1060
Juin 2014	937	290	59	346	480
Juillet 2014	223	306	280	216	350
Août 2014	340	138	98	082	174
Septembre 2014	462	104	273	406	880
Octobre 2014	480	775	373	1113	1406
Novembre 2014	200	480	820	640	1080
Décembre 2014	320	880	226	380	970
Janvier 2015	104	111	212	356	856
Février 2015	193	241	128	224	634
Mars 2015	336	232	328	740	826
Moyenne	326	361	300	442	738
Médiane	271	265	250	376	841

Le prélèvement du mois de Mai se démarque par le niveau d'empoussièrément le plus fort (1060 mg/m² jour) enregistré par la station 5 dépassant le seuil fixé par la norme Afnor [4]. Tandis que les stations 1 et 3 enregistrent des niveaux d'empoussièrément très faibles bien en dessous du seuil fixé par la norme Ta-Luft [6].

Le cinquième prélèvement effectué en saison chaude (mois d'Août) se démarque de l'ensemble des prélèvements, car pour les 5 stations les niveaux d'empoussièrément

enregistrés sont faibles en dessous même du seuil de la norme Ta-Luft jugée sévère, on pense que cela est dû d'une part à l'arrêt du four de la ligne 1 et de certaines conditions climatiques d'autre part (humidité élevée + température élevée) et direction de vent WSW.

On remarque que le seuil fixé par la norme Afnor ($1000 \text{ mg/m}^2\text{j}$) est dépassé par les niveaux d'empoussièrément enregistrés par les stations 4 et 5 lors des prélèvements des mois d'Octobre et de Novembre ; ce qui les qualifie comme zone fortement polluées.

Même constatation au cours des prélèvements des mois de Janvier, Février et Mars ; les stations 1, 2 et 3 qualifient leurs zones selon la norme Ta-Luft jugée plus sévère comme zones faiblement polluées. Cela peut être expliqué par leurs éloignements de la zone d'influence d'une part et par l'affaiblissement de l'envol des poussières en saison humide d'autre part.

Ainsi donc durant les 12 prélèvements, les niveaux les plus élevés enregistrés sont ceux des stations 4 et 5. Par sa position située entre les sources ponctuelles de la cimenterie et celles de la carrière, la station 5 enregistre à chaque prélèvement le niveau d'empoussièrément le plus élevé, $1405 \text{ mg/m}^2\text{j}$ a été enregistré au cours du mois d'Octobre ; ceci peut être dû à l'influence du vent dominant en cette période Nord-Est à Est et à une pluviométrie presque nulle.

4.3.2.1. Evolution du niveau d'empoussièrément de la station 1

L'évolution du niveau d'empoussièrément de la station 1 durant les 12 prélèvements est illustrée sur la figure 4.15. On remarque que tous les niveaux sont en dessous de la limite fixée par la norme Afnor ($1000 \text{ mg/m}^2\text{j}$), le niveau le plus faible ($104 \text{ mg/m}^2\text{j}$) a été enregistré au mois de Janvier et le niveau le plus élevé ($937 \text{ mg/m}^2\text{j}$) au mois de Juin. Mais selon la norme de référence Ta-Luft, les niveaux obtenus lors des prélèvements des mois de Juin, septembre et Octobre de l'année 2014 dépassent largement le seuil fixé par celle-ci ($350 \text{ mg/m}^2\text{j}$), donc durant ces mois la station 1 représente une zone fortement polluée. Ceci peut être expliqué par le fait qu'en cette période le vent dominant est de direction Ouest et la station 1 étant située sur l'axe Nord-Est par rapport à la cimenterie et la carrière, celle-ci reçoit les poussières transportées par le vent.

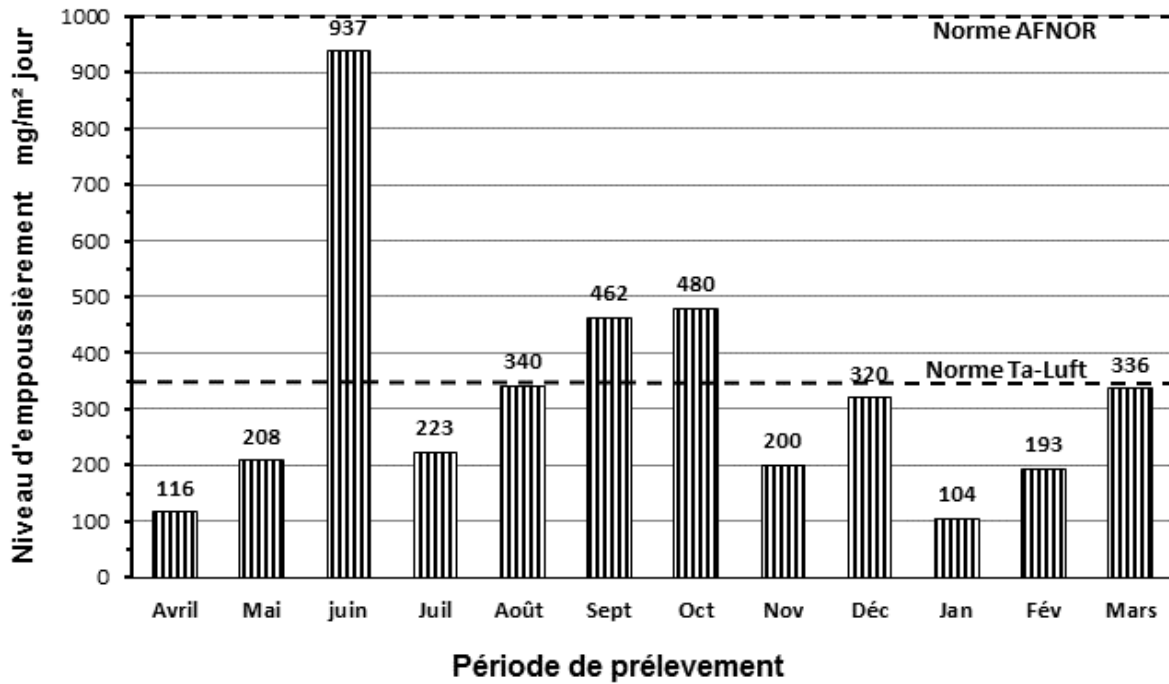


Figure 4.15: Evolution des retombées de poussières de la station 1 d'avril 2014 à mars 2015

4.3. 2.2. Evolution du niveau d'empoussièrément de la station 2

D'après la figure 4.16, on constate que le niveau d'empoussièrément au cours des 12 prélèvements est en dessous de la limite fixée par la norme Afnor [4], toutefois les prélèvements des mois de décembre 2014 (880 mg/m²/j) et d'octobre 2014 (775 mg/m²/j) indiquent que la zone de la station 2 en cette période est polluée. Tandis que la norme Ta-Luft indique que la zone est fortement polluée au cours des mois de mai, octobre, novembre et décembre 2014. De par sa situation par rapport à la cimenterie et à la carrière, la station 2 est située sur l'axe Nord Nord-Est et la direction des vents dominants au cours de ces mois étant de Ouest à Ouest Sud-Ouest donc l'influence des points ponctuels de la cimenterie ainsi que de la carrière seront bien marqués sur la station 2 durant cette période. Par contre le reste des prélèvements enregistrent de faibles retombées de poussières et représentent ainsi la zone de la station 2 comme zone faiblement polluée.

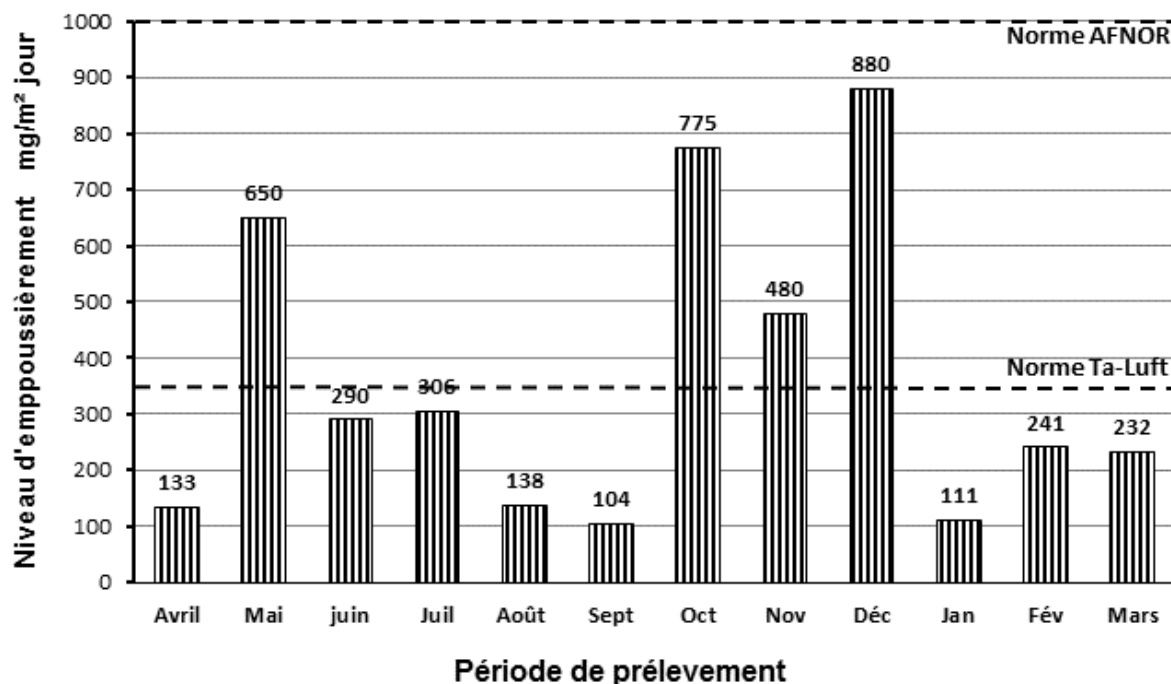


Figure 4.16: Evolution de l'empoussièrément de la station 2 d'avril 2014 à mars 2015

4.3.2.3 Evolution du niveau d'empoussièrément de la station 3

La figure 4.17 illustre le niveau d'empoussièrément de la station 3 au cours des 12 prélèvements d'où il est constaté que le niveau le plus élevé (820 mg/m²/j) est enregistré au mois de Novembre 2014 et le niveau le plus faible (59 mg/m²/j) au mois de Juin 2014, toutes les autres valeurs sont en dessous du seuil fixé par la norme AFNOR.

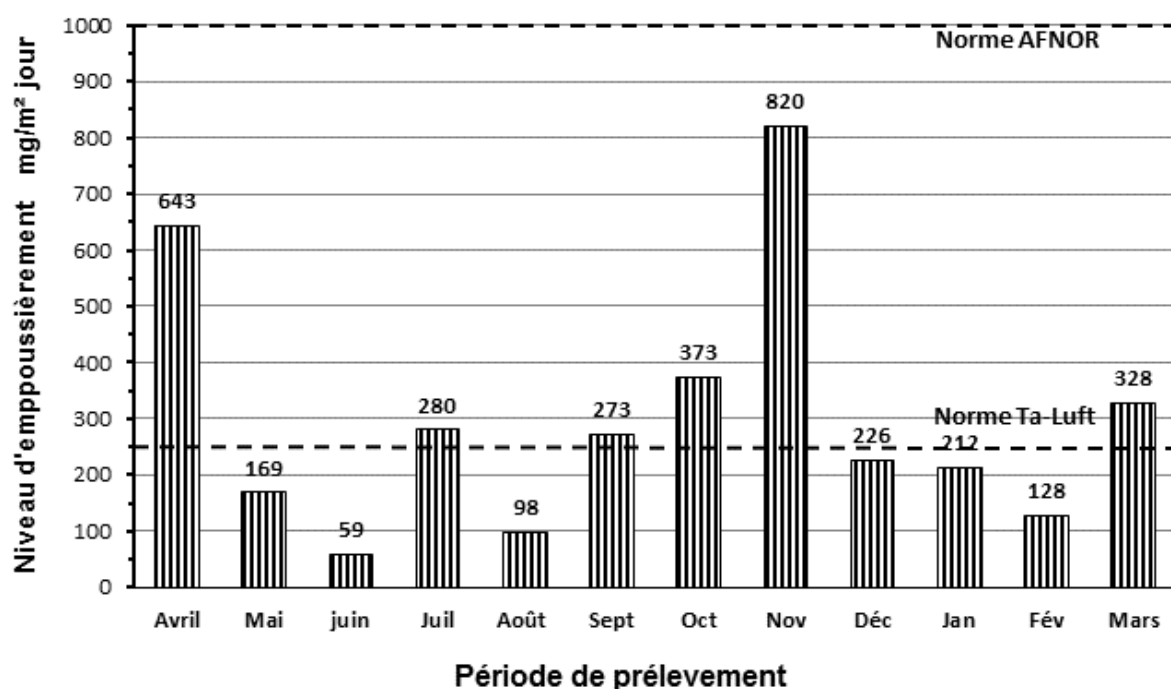


Figure 4.17. : Evolution de l'empoussièrément de la station 3 d'avril 2014 à mai 2015

Mais selon la norme de référence TA-LUFT, les mois d'avril, d'octobre et de novembre 2014 ont été marqués par des niveaux très élevés. Située au Nord-Ouest de la cimenterie et de la carrière, la station 3 devient une zone fortement polluée lorsque les vents dominants sont de direction Nord-Est et Est Nord-Est. Aucun empoussièrèment significatif n'a été observé pour le reste des prélèvements.

4.3.2.4. Evolution du niveau d'empoussièrèment de la station 4

La figure 4.18 illustre l'évolution de l'empoussièrèment de la station 4 qui est située au Sud-Ouest de la cimenterie et au Nord-Ouest de la carrière et sous l'influence des points ponctuels de la cimenterie. D'où, durant la majorité des 12 prélèvements, cette station représente une zone fortement polluée dont le niveau le plus élevé (1113 mg/m²/j) a été enregistré au mois d'octobre 2014 dépassant largement le seuil fixé par la norme Afnor.

Mais en ce qui concerne la norme Ta-Luft seulement les mois de Juillet, d'Août et de Février ont enregistré un niveau faible. Ceci peut s'expliquer qu'en cette période les vents dominants étaient de direction Est-Nord- Est et Nord- Est, donc l'influence de la cimenterie est faible, mais pour le reste des prélèvements, le niveau est fortement élevé qualifiant ainsi la zone de la station 4 comme zone très polluée.

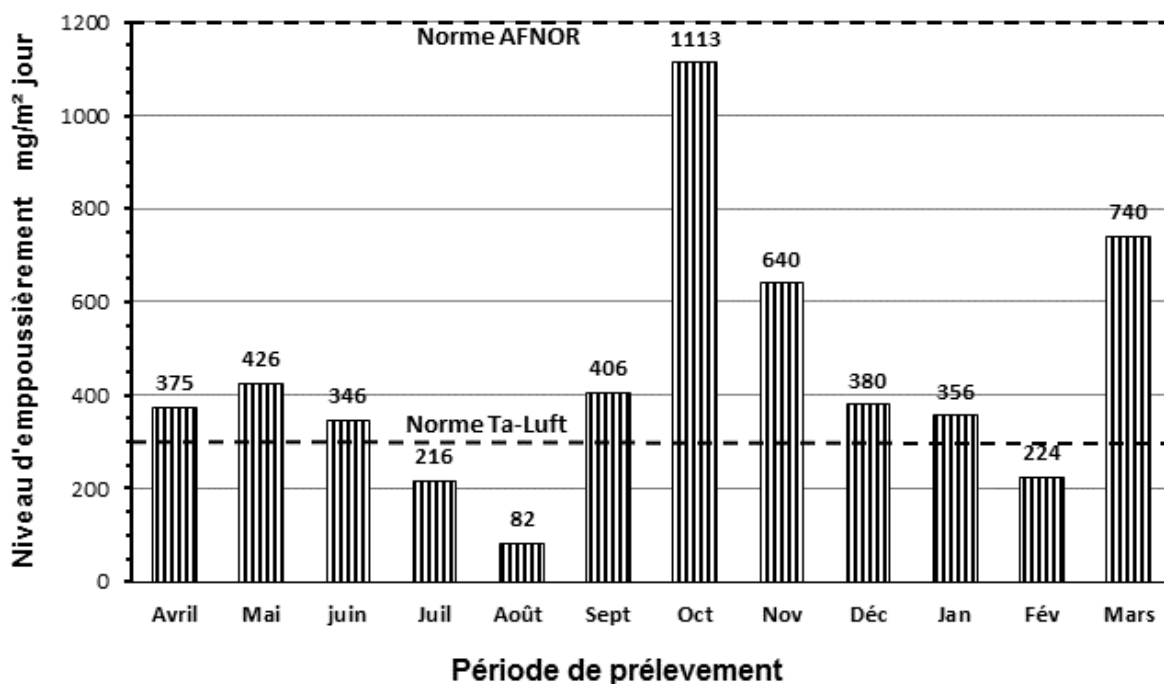


Figure 4.18 : Evolution de l'empoussièrèment de la station 4 d'avril 2014 à mars 2015

4.3.2.5. Evolution du niveau d'empoussièrément de la station 5

L'évolution de l'empoussièrément de la station 5 illustré par la figure 4.19, nous fait constater que c'est la station la plus influencée par la cimenterie et la carrière. En effet, située à 900 m au Sud-Ouest-Sud de la cimenterie et au Nord- Ouest de la carrière, cette station a enregistré les niveaux les plus élevés sur l'ensemble des prélèvements. La zone est qualifiée fortement polluée par la norme Afnor [4] sur la majorité des prélèvements. Le niveau faible (174 mg/m²/j) en dessous du seuil de la norme de référence Ta-Luft [6] a été enregistré au cours du mois d'août. On pense que cela est dû à l'arrêt de l'activité de la ligne 1 en cette période et au vent dominants Est-Nord- Est, Nord-Est.

Mais en revanche, le niveau d'empoussièrément le plus élevé (1404 mg/m²/j) de l'ensemble des prélèvements des 5 stations a été enregistré au mois d'octobre, dépassant de loin le seuil de la norme Afnor [4] jugée la moins sévère. Ceci peut être expliqué par une pluviométrie nulle et aussi de par sa position dans la zone la plus impactée, la station 5 reçoit toute les particules émises par l'activité de la cimenterie et la carrière lorsque le vent dominant est de direction Est Nord-Est comme c'est le cas en cette période [68].

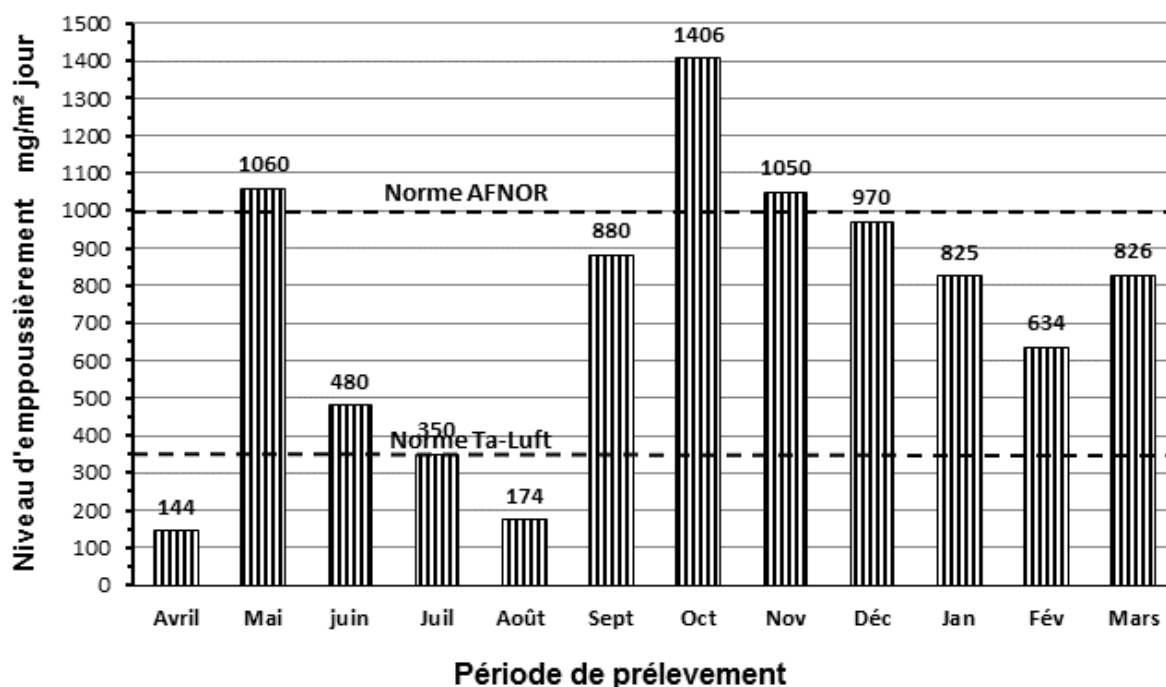


Figure 4.19 : Evolution de l'empoussièrément de la station 5 d'avril 2014 à mars 2015

4.3.2.6. Comparaison des prélèvements mensuels

La lecture de la figure 4.20 fait constater que le seuil fixé (1000 mg/m²/j) par la norme en vigueur Afnor NFX43-007 [4], n'a pas été dépassée par les 5 stations lors des prélèvements des mois d'Avril, Mai, Juin, Juillet et Février 2015. Mais en ce qui concerne la norme de référence Ta-Luft [6], la valeur guide (350 mg/m²/j), seuls les prélèvements effectués au mois d'Août ont enregistré des valeurs inférieures à la valeur seuil.

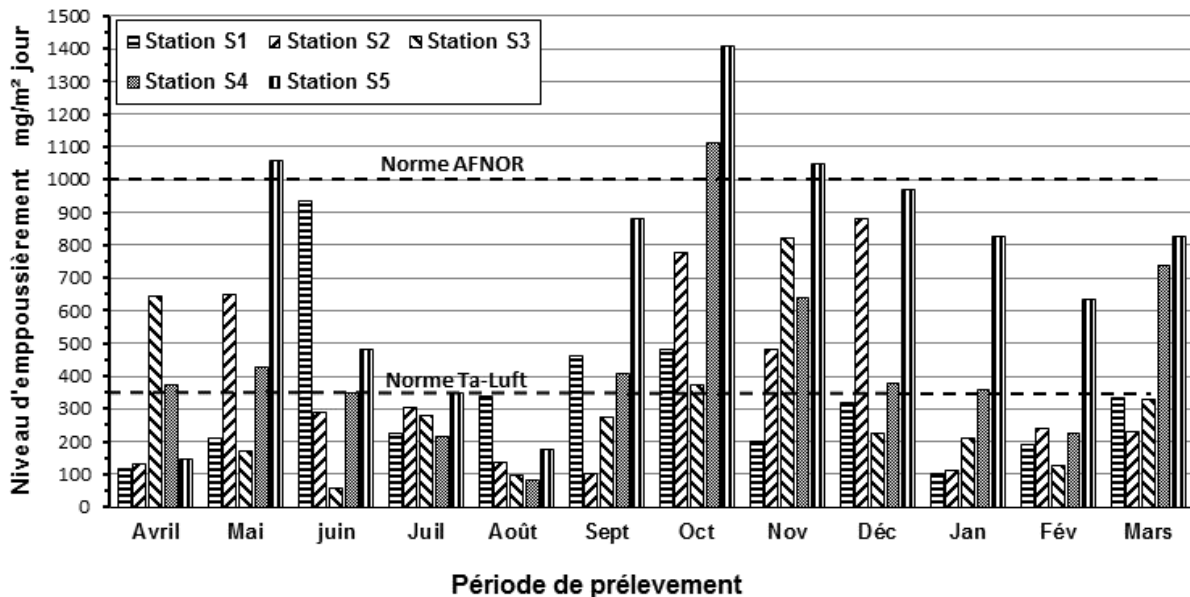


Figure 4.20 Comparaison des 12 prélèvements

On remarque aussi que les stations 4 et 5 sont les plus influencées par l'activité de la cimenterie et qualifiant ainsi leurs zones comme zones fortement polluées sur la majeure période des prélèvements. Par contre toutes les valeurs enregistrées des prélèvements de la station 1, 2 et 3 sont en dessous du seuil fixé par la norme en vigueur Afnor [4]. Eloignées de l'influence des activités de la cimenterie, ces stations qualifient leurs zones comme faiblement polluées.

4.3.2.7 Valeurs médianes et moyennes des retombées de poussières

Les valeurs moyennes et les valeurs médianes des retombées de poussières enregistrées sur les 5 stations durant la période de prélèvement sont représentées sur la figure 4.21. On constate que les valeurs médianes des 5 stations sont toutes en dessous du seuil de la norme Afnor [4] donc leurs zones durant la période des essais sont considérées comme faiblement polluées. Mais en ce qui concerne la norme Ta-Luft [6], seulement les stations 1, 2 et 3 sont en zone faiblement polluée, les stations 4 et 5 sont fortement polluées. En se référant

à la norme Afnor, les valeurs moyennes qualifient seulement la zone de la station 5 fortement polluée, mais en revanche pour la norme Ta-Luft seulement la station 3 représente une zone faiblement polluée, les stations 1 et 2 comme zones polluées et les stations 4 et 5 fortement polluées. On peut dire que la zone d'impact est la zone englobant ces deux stations.

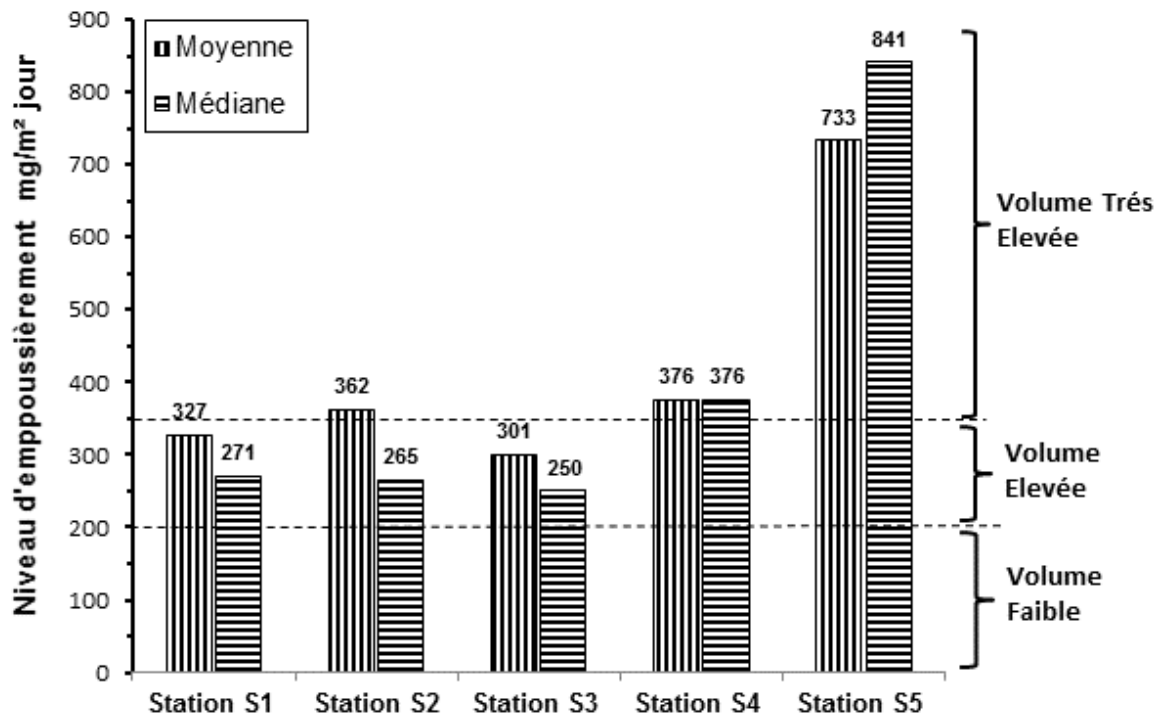


Figure 4.21 Evolution des valeurs moyennes et médianes des retombées de poussières

La comparaison des valeurs médianes des 5 stations selon la norme Belge ISSEP [7] confirme que les zones de la station 1, 2 et 3 sont faiblement polluées, en effet leurs valeurs médianes sont en dessous du seuil fixé par la norme Ta-Luft [6]. Donc, elles sont éloignées des zones d'impact de la cimenterie et de la carrière, par contre les zones des stations 4 et 5 subissent l'influence de leurs activités. La comparaison des valeurs moyennes des 5 stations selon la norme britannique 1747-1 [8] fait constater aussi que les zones des stations 4 et 5 enregistrent des moyennes très élevées et cela à cause de leur positionnement dans la zone la plus influencée par l'activité de la cimenterie et de la carrière.

L'évolution du niveau d'empoussièrément de la série des 12 prélèvements sur les 5 stations selon la norme belge ISSEP qui est basée sur la réglementation allemande Ta-Luft et qui fait appel à la médiane des valeurs annuelles du groupe constitué dans cette étude par les 5 stations. Donc la valeur médiane des 12 prélèvements du groupe des 5 stations est de 250

mg/m²/jour, cette valeur par rapport aux catégories définies par ISSEP est comprise entre 200 mg/m²/j et 350 mg/m²/j, les retombées peuvent donc être qualifiées d'élevées.

La norme britannique 1747-1 [8] est aussi basée sur la réglementation allemande Ta-Luft [6] mais contrairement à la norme belge ISSEP [7], elle fait appel à la moyenne de toutes les retombées. La valeur moyenne des 12 prélèvements sur les 5 stations étant de 433 mg/m²/j soit 13 g/m²/mois, les retombées sont ainsi qualifiées d'élevées par la norme [7].

Dans une étude réalisée à Kerman City en Iran [69], le niveau d'empoussièrément a été déterminé selon la norme britannique [8] et la valeur moyenne des prélèvements obtenus est de 14,41 g/m²/mois. En comparant cette valeur moyenne avec celle obtenue par notre étude, soit 13 g/m²/mois, on peut dire que cette valeur moyenne est raisonnable. C'est le même ordre de grandeur. Ceci peut être expliqué par le fait que les deux études se sont déroulées dans des zones dont le climat est semblable ; c'est-à-dire aride et semi- aride. Même les autres valeurs collectées à travers les différents lieux du monde (voir Tableau 4.3) témoignent la fiabilité du principe scientifique suivi dans la détermination de l'empoussièrément.

Tableau 4.3 : Moyenne des retombées des études antérieures et celle de cette étude

Auteur	Année de publication	Lieu de l'étude	Retombées de poussière (g/m ² .mois)
Cette présente étude	2014	Chlef	13
Malakootian, et al	2013	Kerman city	14.41
Imandel, et al.	1981	Around Tehran University	16.85
Pakseresht, et.	1975	Estern South	17.257
Pakseresht, et.	1975	West Areas	17.97
Yadav, et al.	2006	India	21
Offer, et al.	2001	Negev Desert	17
Recheis, et al.	1995	California	30
Nadafi, et al.	2006	Yazd	6.486
Liu, et al.	2004	Lanzhou	11.08
Recheis, et al.	1995	South of Nevada	0.385-1.308
Crabtree, et al	2005	California	0.385-2.825
Crabtree, et al	2005	Arizona	4
Crabtree, et al	2005	Lubbock in Texas	8.558
Pandey, et al.	2008	Bina of India	96.2±3.6

D'après ce qui précède, on constate que la méthode de prélèvement par les plaquettes métalliques de la norme française Afnor NFX43-007 [4] peut être utilisée pour prédire qu'une zone est faiblement ou fortement polluée dans les environnements arides et semi-arides et cela en prenant la valeur de la médiane et la valeur moyenne du groupe des stations comme niveau d'empoussièrément à comparer avec le seuil $30 \text{ g/m}^2/\text{mois}$ de la norme [4]. Dans notre cas d'étude, la médiane du groupe est de $7,5 \text{ g/m}^2/\text{mois}$ et la valeur moyenne $13 \text{ g/m}^2/\text{mois}$, ces deux valeurs sont bien en dessous du seuil de la norme en vigueur.

4.3.2.8. Influence des conditions climatiques sur l'empoussièrément

L'allure générale observée sur la figure 4.22 montre que pour des valeurs modérées de la précipitation (du mois d'Avril jusqu'à Novembre), l'empoussièrément évolue progressivement pour toutes les stations à l'exception de quelques prélèvements. Ensuite les retombées de poussière commencent à diminuer avec l'augmentation de la précipitation en atteignant des valeurs très élevées.

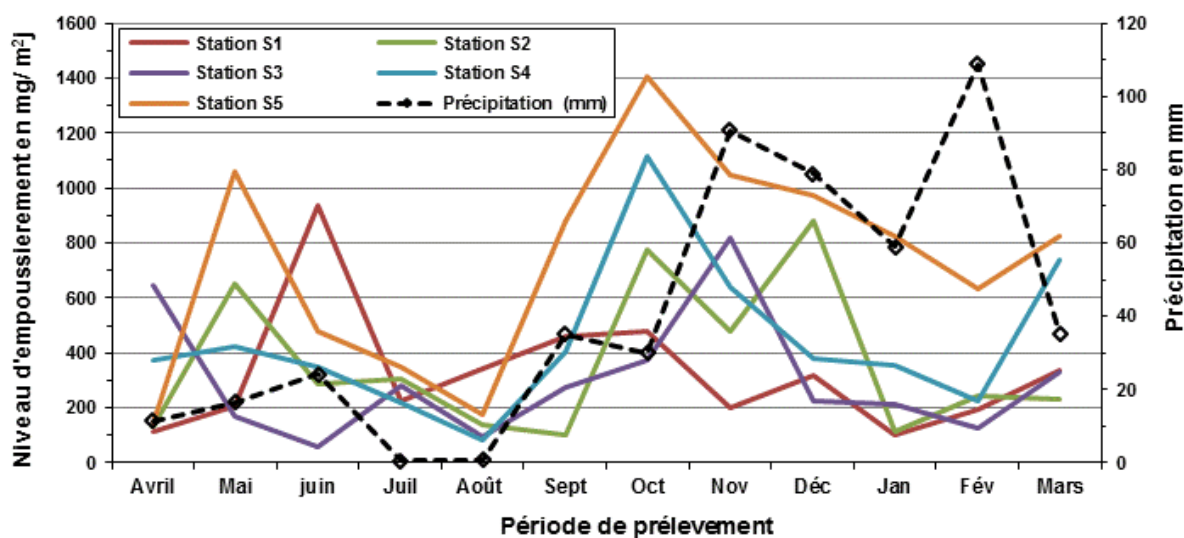


Figure 4.22 Evolution du niveau d'empoussièrément en fonction des précipitations

Au cours du mois de juillet et août, on constate que le niveau d'empoussièrément est faible pour toutes les stations, les valeurs enregistrées sur celles-ci sont en dessous du seuil de la norme Ta-Luft [6] considérée comme la plus sévère. En cette période les précipitations sont presque nulles comme cela est illustré sur la figure 4.22 et la température moyenne mensuelle est très élevée (voir figure 4.23). Avec ces conditions ; c'est-à-dire une pluviométrie presque négligeable et une température très élevée, les retombées de poussières devraient être très

élevées, or celle-ci sont les plus faibles. Cela est probablement dû aux autres facteurs climatiques (expliqués ultérieurement) ou à des phénomènes en cette période qu'on ignore.

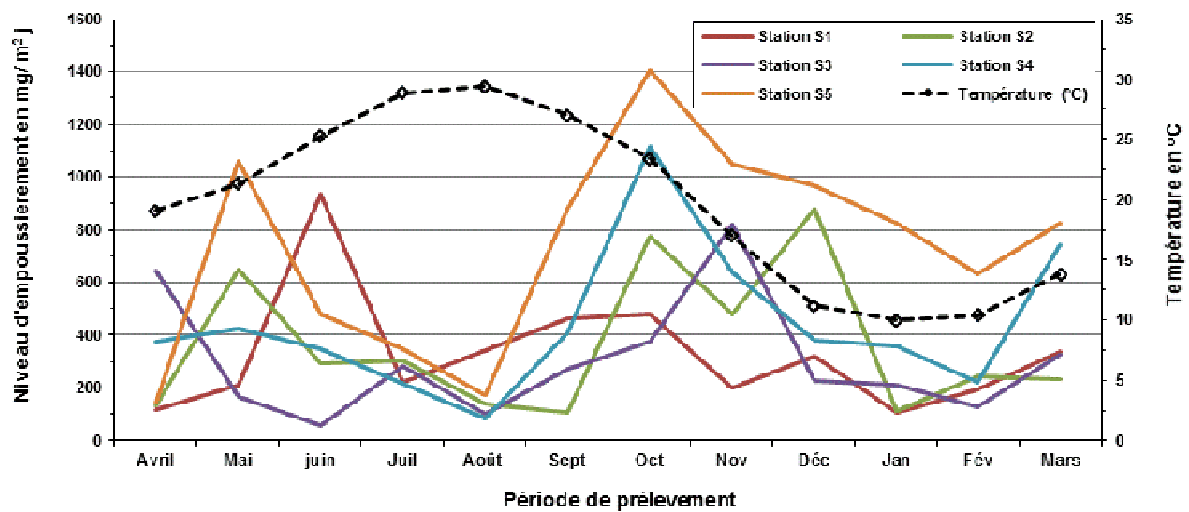


Figure 4.23 Evolution du niveau d'empoussièrément en fonction des températures

La lecture de la figure 4.24, nous fait constater que lorsque le taux d'humidité moyenne est très élevé avec des pics de 68% à 75%, le niveau d'empoussièrément présente des valeurs faibles pour la majorité des stations, ceci est observé pendant la période étalée de Novembre jusqu'à Mars. Durant la saison chaude (en particulier en juillet et août), la température est très élevée et le taux d'humidité doit être faible (Humidité moyenne 9 à 10%), l'empoussièrément atteint son niveau le plus bas ; c'est donc ce phénomène particulier en saison chaude qui en est la cause. Ainsi, on peut conclure que l'humidité agit défavorablement à l'empoussièrément.

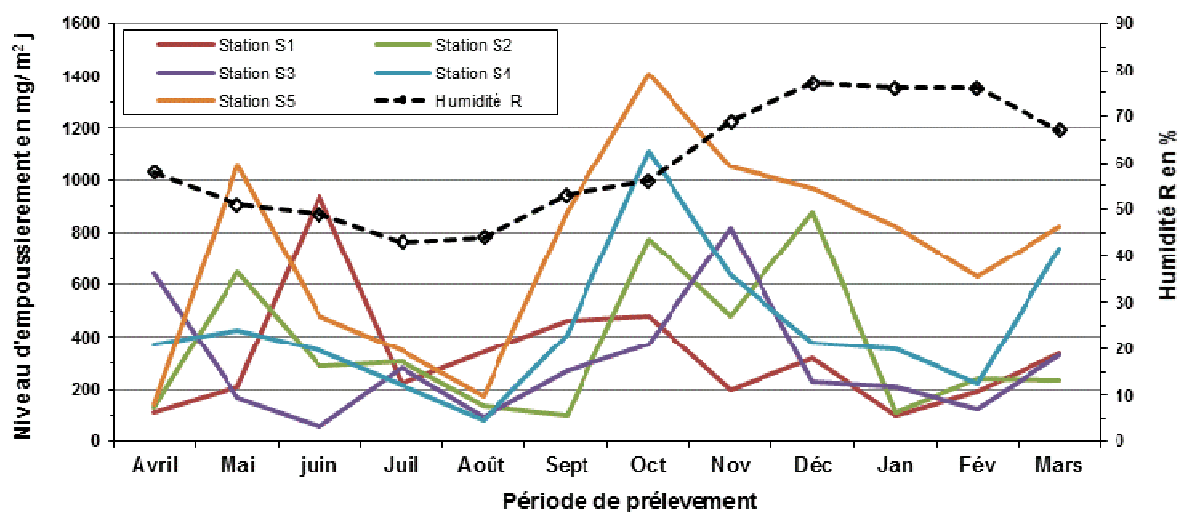


Figure 4.24 Evolution du niveau d'empoussièrément en fonction de l'humidité

La vitesse du vent diminue légèrement durant la série de prélèvements (voir Figure 4.25). Avec une humidité élevée (moyenne 40%) et une température très élevée (moyenne : 29,4 C°) son effet sur les retombées de poussières n'est pas significatif. L'humidité alourdit les particules et les rend compactes d'où leurs envols sont affaiblis. On pense que le phénomène anormal enregistré au mois d'août, est la cause qui a fait que le niveau d'empoussièrément soit faible.

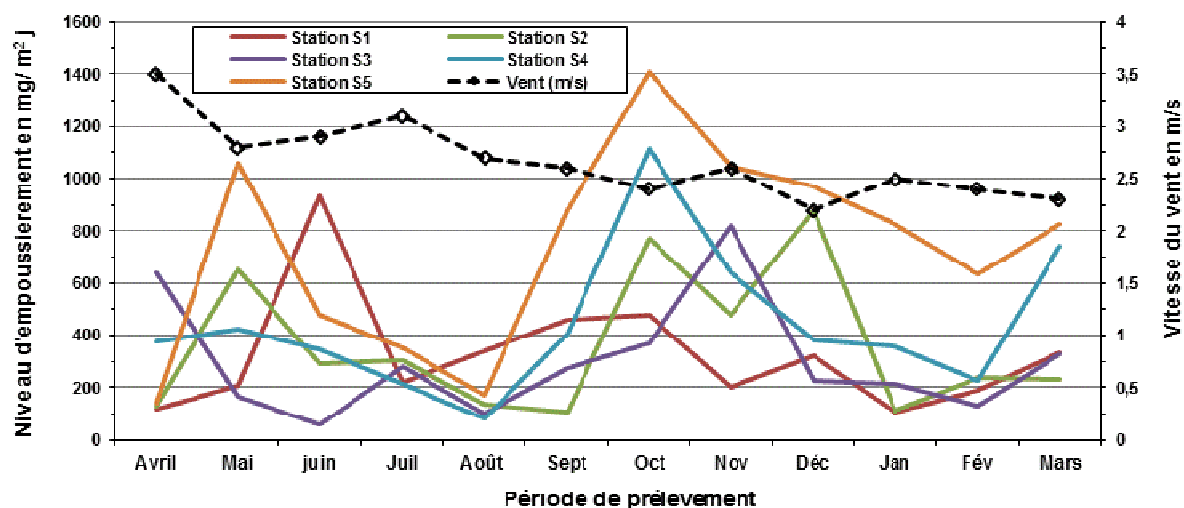


Figure 4.25 Evolution du niveau d'empoussièrément en fonction de la vitesse du vent

Contrairement à la conclusion de l'étude réalisée à Kerman City (en Iran) [69] dans laquelle l'auteur conclut que, ni le vent, ni la température, ni l'humidité n'ont d'effet sur l'évolution de l'empoussièrément, et que seule la pluviométrie a un effet important sur la réduction des retombées de poussières. Certes le paramètre pluviométrie a un effet très important sur les retombées de poussières, cela est constaté lors des prélèvements du mois de février 2015 (voir Figure 4.23), la station 5 la plus impactée a enregistré un niveau en dessous du seuil de la norme Afnor [4]. Or, lorsque l'humidité est très élevée en saison chaude, ce phénomène particulier affaiblit l'envol des poussières, donc sous certaines conditions météorologiques, l'humidité a un effet sur l'évolution de l'empoussièrément.

4.4. Analyse chimique des poussières

Les poussières prélevées ont été analysées au laboratoire de la cimenterie de Chlef par la méthode classique de fusion alcaline adoptée par celle-ci. Les résultats de l'analyse sont représentés dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4 : Composition chimique des poussières

Station	CaO en %	SiO ₂ en %	Al ₂ O ₃ en %	Fe ₂ O ₃ en %	MgO en %	SO ₃ en %
Station 1	46,231	16,33	3, 77	2, 91	1, 31	0, 042
Station 2	49, 82	12, 91	4, 03	3, 07	0, 95	0, 046
Station 3	53, 147	11, 91	4, 379	3, 310	0, 88	0, 055
Station 4	49,39	13, 71	4, 018	3, 123	1, 02	0, 21
Station 5	47, 8	16, 37	3, 73	2, 95	1, 25	0, 23
Référence cru	41,5- 43,5	12 - 16	0,2 – 3,5	1,5 – 03	0,5 – 1,5	0,05-0,08
Référence ciment	61 - 64, 5	17 - 23	2,5 - 05	02 - 3,5	0,5 – 01	01 – 02

L'analyse chimique des poussières recueillies sur les plaquettes des 5 stations montre une corrélation entre la composition chimique du cru et celle du ciment, celle-ci est une combinaison de chaux, de silice, d'alumine et d'oxyde de fer, avec des proportions bien définies pour le cru ainsi que pour le ciment [70]. On remarque que les poussières présentent la même combinaison avec des proportions plus proches à ceux du ciment. Ceci confirme que les poussières proviennent des émissions de particules générées par la cimenterie en question. Les stations 4 et 5 les plus influencées par le processus de production confirment aussi que leurs zones subissent l'impact de la cimenterie ainsi que celui de la carrière. On pense aussi que les 5 stations reçoivent les poussières des zones d'activités tel que le transport des matières premières, la préparation du cru et le broyage et l'expédition du ciment lorsque le vent souffle du Nord- Est, Ouest et Est Nord- Est.

4.5 Conclusion

Les valeurs moyennes et médianes de la station 1, 2 et 3 sont en dessous de la limite fixée par la norme Ta-Luft [6]. Par contre les valeurs médianes et moyennes des stations 4 et 5 dépassent la valeur limite 350 mg/m²/j, en tenant cette valeur guide à ne pas dépasser on peut dire que la zone d'impact est la zone englobant ces deux stations.

La valeur médiane annuelle du groupe des 5 stations est de 250 mg/m²/jour, cette valeur annuelle par rapport aux catégories définies par la norme belge ISSEP est comprise entre 200 mg/m²/j et 350 mg/m²/j, les retombées peuvent donc être qualifiées d'élevées. La valeur moyenne annuelle du groupe des 5 stations est de 433 mg/m²/j, les retombées sont ainsi qualifiées d'élevées.

La comparaison des valeurs médianes des 5 stations selon la norme belge ISSEP [7] confirme que les zones des stations 1, 2 et 3 sont faiblement polluées, en effet, éloignées des zones d'impact de la cimenterie et de la carrière, leurs valeurs médianes sont en dessous du seuil fixé par la norme Ta-Luft [6] prise comme base. Par contre les zones des stations 4 et 5 subissent l'influence de leurs activités.

La méthode des plaquettes métalliques celle décrite par la norme Française AFNOR[4], peut être adopter pour mesurer l'évolution de l'empoussièrément dans les zones à climat chaud et sec. A condition de comparer la moyenne et la médiane des valeurs annuelles du groupe (Stations), au seuil (1000mg/m²jour) fixé par celle-ci pour déterminer si la zone étudiée est fortement ou faiblement polluée.

Certes le paramètre pluviométrie a un effet plus important sur les retombées de poussières, cela est constaté lors des prélèvements du mois de février 2015, la station 5 la plus impactée a enregistré un niveau en dessous du seuil de la norme Afnor. Or, lorsque l'humidité est très élevée avec des pics de 70% en saison chaude avec une température moyenne de 39°C, ce phénomène particulier affaiblit l'envol des poussières. Donc dans certaines conditions météorologiques, l'humidité a un effet sur l'évolution de l'empoussièrément.

L'analyse chimique des poussières recueillies sur les 5 stations présentent les mêmes combinaisons que ceux du ciment et du cru et dont les proportions sont beaucoup plus proches à ceux du ciment. Ce qui confirme que les poussières recueillies sur les 5 zones proviennent des émissions générées par l'activité de la cimenterie. Ceci confirme aussi que malgré l'adoption du système le plus performant en dépoussiérage au niveau de toutes les sources émettrices, son impact sur les zones environnantes demeure toujours.

Chapitre 5

Valorisation des poussières de ciment

5.1. Introduction

Le souci d'économie des matières premières ainsi que la réduction des émissions du CO₂ gaz à effet de serre font de la valorisation un domaine en constante évolution. En effet le terme valorisation englobe le réemploi, le recyclage et la réutilisation des déchets. Donc c'est trouver l'outil permettant d'évaluer l'innocuité environnementale des matières résiduelles en fonction des différentes utilisations.

Dans la littérature, on définit la valorisation comme un terme générique recouvrant le recyclage de la matière organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que le réemploi, la réutilisation et la régénération. C'est une forme de transformation d'un déchet en vue d'une utilisation plus noble et plus efficace. La crise de l'énergie, la diminution des ressources mondiales en matières premières et la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement font de la valorisation des déchets et des sous-produits industriels la solution la plus convoitée. La transformation des déchets doit donc adopter un ensemble des techniques qui permettent le recyclage ou la régénération dans les différents domaines.

Depuis plusieurs années le secteur de la construction utilise des déchets et des sous-produits comme matière secondaire pour l'élaboration de nouveaux types de matériaux qui représentent des propriétés particulières ou améliorées par rapport aux matériaux classiques. Le recyclage des matériaux représente un enjeu considérable pour le domaine du bâtiment et des travaux publics, et mobilise de nombreux industriels et équipes de recherche [71].

Le souci de réduire sa consommation en énergie et ses émissions d'oxyde de carbone (CO₂) gaz à effet de serre responsable du changement climatique, l'industrie cimentaire permet deux types de valorisation très largement pratiqués : valorisation énergétique et de la matière. Cette dernière est opérée au niveau du cru en introduisant directement, lors de la préparation du cru des déchets industriels (boue rouge issue de la production d'aluminium, des oxydes de fer, des sables de fonderie etc...) pouvant se substituer partiellement à l'argile ou au calcaire ou des constituants avec la réduction de la part du clinker par l'ajout des déchets comme les laitiers de hauts fourneaux, les cendres volantes, fumée de silice, les fillers calcaire. En effet plus de 60% de CO₂ émis par l'industrie du ciment provient de la décarbonatation du calcaire d'où la réduction de la part du clinker par l'ajout d'autres

constituants dans le ciment permet de réduire ce volume d'émission. Ces ajouts sont généralement des déchets industriels ou gisements naturels présentant un caractère pouzzolanique. Ils permettent de densifier la matrice cimentaire par fixation de la portlandite libérée lors de l'hydratation du ciment [72].

Ces déchets ont désormais indiscutablement acquis le statut des coproduits [73]. La valorisation de ces sous-produits industriels utilisés comme ajouts cimentaires contribue d'une part à l'augmentation de la production du ciment et d'autre part à l'amélioration de certaines caractéristiques physico-chimiques que ne pourrait permettre les ciments courants, comme l'augmentation de la résistance ainsi que la durabilité.

5.2. Valorisation de la matière

En Algérie l'industrie du ciment est la plus grande productrice de poussières ; environ 10% de la quantité de ciment produite étant rejetée dans l'atmosphère sous forme de poussières [3]. Ces émissions de particules provenant des usines de ciment dégradent l'air générant ainsi une pollution environnementale et en particulier la pollution atmosphérique [74]. Les poussières dont le diamètre est supérieur à 10 μm (PM 10) se sédimentent à proximité de toutes les sources émettrices provoquant ainsi des couches importantes recouvrant tout le sol de la cimenterie. Afin de réduire leurs impacts sur l'environnement, des nettoyages intensifs sont exécutés pour éviter leurs envols. Ces poussières générées par la production du ciment se divisent en deux catégories [75] :

La première catégorie est issue des fuites au niveau des différentes étapes du processus de fabrication, comme l'extraction de la matière première (calcaire et argile), le transport, la préparation du cru, le broyage du clinker, le stockage du ciment et son expédition. Cette présente étude se rapporte à cette catégorie de poussière.

La deuxième catégorie provient des émissions de gaz au niveau des cheminées, appelées poussières de four de cimenterie ou encore CKD (Ciment Kilin Dust). Provenant du four et des broyeurs de cru, ces poussières sont considérées comme l'une des principales matières résiduelles générées par la fabrication du ciment [49]. Elles sont composées d'un mélange complexe de matières premières partiellement calcinées, de clinker et de particules provenant des combustibles utilisés [76]. La majorité de ces poussières (CKD) est réintroduite dans le processus de fabrication comme cru (le recyclage est limité par les caractéristiques

chimiques de celle-ci, taux d'alcalin élevé) ce qui réduit la quantité de celle-ci à être gérée en dehors du four (mise en décharge). Mais des progrès considérables ont été accomplis ces dernières années afin de valoriser ces poussières de four à ciment non recyclées pour stabiliser les sols lors de la réalisation des routes, pour l'amélioration des sols agricoles (leurs caractères alcalin permet de neutraliser l'acidité de certain sols) [77] et dans les lieux d'enfouissement sanitaire pour servir comme couverture stabilisant les déchets contaminés comme les déchets pétroliers [78].

Les résultats d'étude sur le niveau d'empoussièrement à l'intérieur de la cimenterie, font constater que la forte concentration des poussières est prédominée principalement par la première catégorie de poussières générée à tous les niveaux de la production du ciment et plus particulièrement au niveau de la zone ciment. Les poussières provenant des fuites demeurent un problème majeur pour les cimentiers en attente de nouvelles technologies ou solutions efficaces réduisant cet impact alarmant [79].

5.3. Objectif

C'est dans ce contexte que l'objectif de ce chapitre est consacré à l'étude de la valorisation de ces poussières récupérées en quantité importante et tenter de les exploiter en proposant une substitution partielle ou totale du clinker par un taux déterminé de poussières et suivre leur incidence sur les propriétés physiques et chimiques du ciment produit. Cette alternative permet d'obtenir des ciments présentant des caractéristiques variées et de répondre d'une part au souci d'économie des ressources naturelles et d'autre part à réduire les contraintes environnementales comme l'empoussièrement.

5.4. Estimation de la quantité de poussière

Afin de montrer l'utilité du sujet abordé et l'importance de l'étude accomplie, il a été procédé à l'estimation de la quantité de poussières émises par la cimenterie. Dans cette démarche, les mêmes quantités de retombées recueillies au cours de l'étude de l'empoussièrement au sein de la cimenterie de l'ECDE introduit en chapitre 3 ont été considérées dans l'estimation de la quantité de poussière. Tout d'abord, la moyenne est calculée à partir des moyennes de la quantité de poussières des quatre séries prélevées pour les sept stations étudiées, la valeur obtenue est de $5504 \text{ mg/m}^2/\text{jour}$. Durant un mois de collecte de la poussière, on enregistre une quantité de 165 g/m^2 . Pour une superficie d'un hectare, la quantité recueillie sera de 1.65 tonnes. La superficie réelle de la cimenterie étant de 40 hectares, donc la quantité de poussières émise par le processus de fabrication est de 66

tonnes durant une durée de 30 jours. En considérant que la cimenterie produit 80.000 tonnes de ciment par mois, les 85 tonnes de poussières récupérées représentent approximativement 10 % de la production de la cimenterie.

Ce chiffre avancé de la poussière collectée (10% de la production mensuelle) constitue un argument très raisonnable poussant les cimentiers à s'intéresser d'avantage à valoriser cette poudre, l'utiliser ensuite après étude de ses caractéristiques et consacrer les moyens et équipements nécessaires pour sa collecte et son exploitation efficace.

5.5. Expérimentation

Le but de cette étude expérimentale est la mise en valeur de la poussière de ciment par l'étude des propriétés de mortiers confectionnés à base de ciment Portland artificiel renfermant différents taux de poussière de ciment. C'est au sein du laboratoire de la cimenterie de Chlef (ECDE) que les essais physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques ont été réalisés conformément au mode opératoire dicté par le plan qualité produit de la norme algérienne NA 442 [80].

Les résultats expérimentaux menés à travers cette étude de valorisation permettront de dégager des conclusions générales sur la substitution partielle ou totale du clinker par les poussières collectées au niveau de la cimenterie. Aussi, à partir de ces conclusions, des perspectives pour de futurs travaux de recherches seront dégagées.

5.5.1. Matériaux utilisés

5.5.1.1 Poussières

Les poussières utilisées sont collectées à partir des tas résultant des nettoyages intensifs effectués au sein de la cimenterie. Ces poussières proviennent en majorité des fuites c'est-à-dire de la première catégorie de poussières générée par le processus de fabrication du ciment. En effet de grandes quantités de poussières sont produites lors des opérations de concassage, broyage, cuisson, refroidissement, stockage, conditionnement et expédition du ciment. Afin de réduire leurs envois impliquant un impact important sur l'environnement, la cimenterie entreprend des mesures draconiennes et parmi ces mesures, des nettoyages au quotidien. Une fois collectées et avant d'être utilisées dans les différents essais, les poussières sont passées au tamis de 0,08 mm afin d'obtenir la finesse des fines utilisées couramment,

puisque tout élément passant à travers un tamis de 0,08 mm est défini comme tel [81]. Les caractéristiques physico-chimiques sont déterminées dans les tableaux 5.2 et 5.3

Tableau 5.2 : Caractéristiques physiques de la poussière

Caractéristiques	Poussières
Densité	3,143
Surface Blaine	3253 cm ² /g
Couleur	Grisâtre

Tableau 5.3 : Composition chimique de la poussière

Elément	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Perte au feu	Chaux libre
Pourcentage %	62.60	19.24	4.22	3.54	0.95	8.30	0.71

L'analyse granulométrique de la poussière a été effectuée à l'aide d'un appareil à tamiser électrique qui cause un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales à la colonne de tamis. L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres. Le matériau à étudier est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtiennent par vibration de la colonne des tamis. Les résultats de l'analyse granulométrique de la poussière sont représentés dans le tableau 5.4.

Tableau 5.4 : Analyse granulométrique de la poussière

Tamis (mm)	0.01	0.63	0.315	0.16	0.08
Tamisât cumulés %	0.00	99.51	94.88	66.62	11

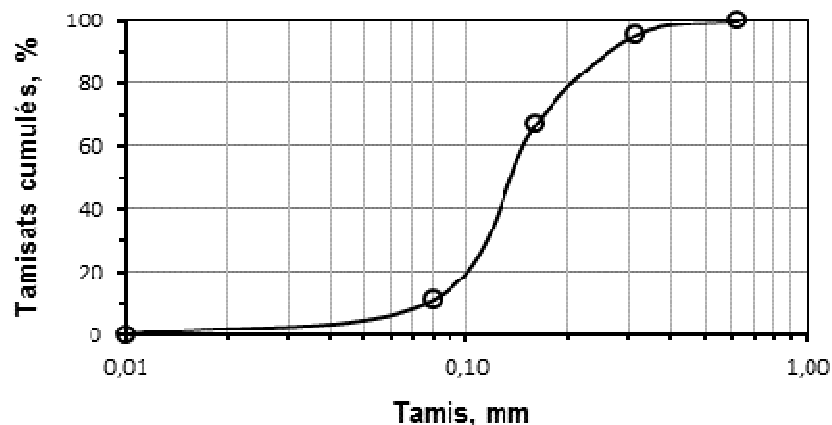


Figure 5.1 : Courbe granulométrique de la poussière de ciment

En se référant au tableau des tailles des particules selon l'échelle de grandeur établie par CITEPA [35]. La taille des particules produites par la fabrication du ciment varie de 2.5 μm à 100 μm , la courbe granulométrique de la poussière de ciment établie à partir des résultats de l'analyse granulométrique confirme l'échelle de grandeur (voir la figure 2.2 du chapitre 2), mais la majorité des particules représentent les poussières sédimentables (diamètre supérieur à 10 μm) et dont la particularité est de retomber rapidement à proximité de leurs sources d'émission, du fait de leur taille et de leur poids important.

5.5.1.2. Ciment

Le ciment utilisé est le ciment portland composé CPJ CEM II/A 42,5 fabriqué selon la norme algérienne NA 442 par la cimenterie de Chlef (ECDE), sa densité est de 2,992 et sa surface spécifique Blaine est de 3395 cm^2/g . L'analyse chimique de ce ciment est représentée dans le tableau 5.5 quant à la composition minéralogique du clinker déterminée par la méthode de BOGUE elle est représentée dans le tableau 5.6.

Tableau 5.5 : Composition chimique du ciment utilisé

Eléments	CaO	SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Chaux Libre	PAF
%	63,10	29,50	4,22	3,07	0,95	/	6,52

Tableau 5.6 : Composition minéralogique du ciment

Eléments	C ₄ AF	C ₃ A	C ₃ S	C ₂ S
%	10, 43	8, 17	57, 76	18, 37

Tableau 5.7 : Caractéristiques mécaniques

Age (jours)	2	7	28
Résistance à la compression (MPa)	17,92	36,86	43,98
Résistance à la Flexion (MPa)	3,64	5,87	6,79

5.5.1.3. Sable

Le sable utilisé pour la confection des éprouvettes est un sable normalisé selon la norme NF P 15-403 [82].

5.5.1.4. Eau de gâchage :

L'eau utilisée pour la confection des éprouvettes est une eau de robinet, considérée comme une eau potable.

5.5.1.5. Confection des éprouvettes

Celles-ci sont confectionnées à l'aide de moules à 3 prismes (4x4x16 cm) avec du mortier normalisé (1350 g de sable normalisé, 450 g de ciment et 225 ml d'eau). Après un séjour de 24 h dans la chambre humide ($T^{\circ}20^{\circ}\pm 1C$, °humidité > 90%), le démoulage des éprouvettes est effectué, et les échantillons sont conservés dans une eau saturée en chaux jusqu'au jour de l'échéance des essais mécaniques 2, 7 et 28 jours exigée par la norme algérienne 442A.

5.5.2. Procédure expérimentale

Le protocole des essais est donc exécuté selon le mode opératoire du plan qualité exigé par la norme algérienne 442 version 2000 [80] qui décrit les spécifications et critères de conformité des ciments portland composés CPJ- CEM II/A comportant 80 à 94% de clinker et renfermant 6 à 20% d'ajout. Cette conformité du produit fini est donc déterminée grâce aux résultats enregistrés au cours des essais mécaniques et physiques.

5.5.2.1. Essais mécaniques

Les éprouvettes sont confectionnées avec du mortier normalisé dont la composition du mortier témoin est conçu suivant la norme algérienne 422 A [80], c'est-à-dire 450 g de ciment + 1300 g de sable normalisé + 225 ml d'eau. Pour les 6 autres éprouvettes le ciment (450 g) sera substitué par un taux croissant de poussières reporté sur le tableau 5.8

Tableau 5.8 : Taux de substitution du ciment par la poussière

Éprouvettes	Témoin	1	2	3	4	5	6
Ciment	100%	90%	80 %	70 %	50%	30 %	0 %
Poussières	0%	10%	20 %	30 %	50%	70 %	100 %

Après 24 h, le démoulage des éprouvettes est effectué et celles-ci sont conservées dans la chambre ou armoire humide dans de l'eau saturée jusqu'au moment du test sur les résistances à la compression et à la flexion à l'âge de 2, 7 et 28 jours.

La mesure du retrait est réalisée à l'aide d'un Rétractomètre (Figure 5.2) sur des prismes 4 x 4 x 16 cm confectionnés avec du mortier normalisé de même composition et préparation que celle des éprouvettes confectionnées pour les tests mécaniques. Mais en revanche leurs conservations après le démoulage diffèrent car celles-ci sont exposées pendant 28 jours dans une chambre dont la température est de 20°C.



Figure 5.2 : Mesure du retrait par le Rétractomètre

5.5.2.2 Essais physiques

Ces essais permettent de déterminer la consistance, l'expansion et le temps de début et de fin de prise [80]. L'échantillon est préparé en mélangeant 500 g de ciment + 127 ml d'eau malaxés pendant 3 mn. La consistance est déterminée à l'aide de l'appareil de VICAT. Par contre, le temps de prise est déterminé automatiquement à l'aide d'un appareil appelé « le prisomateur multipose » assisté par micro-ordinateur. Le début de prise est de 60 mn. Par ailleurs, la mesure de l'expansion (gonflement du ciment) est exécutée manuellement (moule à châtelet) et doit être < 10 mn Norme [80].

5.6. Résultats et analyse

Les résultats des essais effectués seront présentés et analysés afin d'étudier les caractéristiques des variétés de ciment contenant différent taux de poussières.

5.6.1. Analyse chimique

L'analyse chimique des échantillons composés de 10%, 20%, 30%, 50%, 70% et 100% de poussières a été réalisée au laboratoire de la cimenterie (ECDE) selon la méthode classique adoptée par celle-ci [70]. Les résultats de l'analyse chimique du ciment témoin ainsi

que les échantillons composés de taux croissant de substitution de ciment par la poussière sont reportés dans le tableau 5.9.

Tableau 5.9 : Analyse chimique de la poussière collectée

Composants	Témoin	10%	20%	30%	50%	70%	100%
CaO	63, 10	62,43	61,77	62,27	62,6	60,61	62,60
FeO ₃	3, 07	3, 07	3, 27	3,31	3,54	2,60	3,54
Al ₂ O ₃	4, 22	4, 22	3, 92	4,07	4,07	4,22	4,22
SiO ₂	19, 50	18,34	19,30	18,66	17,04	18,02	19,24
MgO	0, 95	0,95	0,83	0,83	0,83	1,07	0,95
CaO libre	0, 71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
PAF	6, 52	7,22	7, 16	7, 3	8,38	8,62	8,30

D'après les résultats représentés dans le tableau ci-dessus, on constate que les valeurs des composants des différents échantillons ne présentent aucune différence par rapport à l'échantillon témoin (ciment). Ces résultats préliminaires nous renseignent sur l'habilité du ciment composé à s'hydrater et faire prise comme le ciment portland. Ce qui suggère à utiliser ce ciment de poussière comme un liant dans la confection du béton. On peut s'attendre à ce que les résultats mécaniques soient identiques à ceux du ciment commercialisé.

5.6.2 Caractéristiques physiques

Tableau 5.10 : Refus des échantillons (ciment-poussières)

Taux de remplacement	Témoin0%	10%	20%	30%	50%	70%	100%
Refus							
45 µm	22,8	24,5	24,8	25,2	24,7	25,3	24,5
90 µm	4,7	5,2	5,2	5,1	2,8	2,0	6,0

Le refus mesure l'efficacité de l'atelier de broyage, c'est le pourcentage du poids des refus d'un échantillon quand il est tamisé à la masse totale de l'échantillon. Selon le plan qualité de la cimenterie ECDE, le refus est déterminé sur 10 g de chaque échantillon et doit être inférieur à 8% pour le tamis de 90 µm et inférieur de 24 à 25% pour le tamis de 45 µm. D'après les résultats reportés dans le tableau 5.10, on constate que la limite imposée par le plan de qualité de la cimenterie concernant le pourcentage de refus est respectée à l'exception des échantillons de 30 % et 70 %. Leurs refus du tamis 45 µm dépassent légèrement la limite de 25%, ce qui est acceptable. On peut dire que du point de vue granulométrie, la limite

imposée concernant le % de refus est généralement respectée. C'est une autre caractéristique qui vient s'ajouter pour confirmer la possibilité d'utiliser la poussière comme un liant hydraulique.

Tableau 5.11 : Caractéristique physique des échantillons

Echantillons	Témoin (0%)	10%	20%	30%	50%	70%	100%
Densité g/cm²	2,99	3,15	3,14	3,14	2,99	2,99	3,14
S S Blaine cm²/g	3395	3067	3029	3029	3353	3467	3767
Début Prise min	180	176	142	112	204	220	113
Fin de Prise min	354	320	213	209	400	360	255
Temps de prise	174	144	71	97	196	140	142
Expansion mm	0	0	0	0	0	0	1
Consistance	26	26	25,8	25,8	25,6	25,6	25,4

Les caractéristiques physiques des 6 échantillons avec le témoin sont illustrées dans le tableau 5.11. Les caractéristiques obtenues sont conformes aux exigences de la norme [79].

La connaissance de la finesse du ciment est très utile du fait de l'influence qu'elle exerce sur les principales propriétés physiques et mécaniques des mortiers et béton. L'objectif de l'essai est donc d'apprécier cette surface, laquelle doit être appréciable à partir de 3000 cm²/g, pour avoir des résistances mécaniques conformes et une dépense d'énergie de broyage optimum. Mais une surface de Blaine très élevée (4000 à 5000 cm²/g) donne des résistances remarquables mais avec une grande dépense d'énergie et surtout avec un retrait et une demande en eau importants. Les résultats du test de Blaine sur les 6 échantillons ainsi que le témoin font constater que leurs SSB varient de 3029 à 3767 cm²/g, supérieures à la limite exigée par la norme en vigueur. Notons que certains des échantillons formulés ont des finesses supérieures et d'autres inférieures à celle du ciment témoin.

Pour le début et la fin de prise, la norme [79] n'exige seulement que le début de prise soit supérieur ou égal à 60 mn. Dans le cas des essais effectués sur les 6 échantillons, cette exigence est largement assurée. Les temps de prise représentés au tableau 5.11 font constater que le témoin enregistre un temps de 180 mn et le temps de prise des 6 échantillons varie de 112 à 220 mn, encore une fois les résultats de ce test confirme notre choix quant à l'utilisation de cette poussière. Même constatation est notée pour l'expansion. La norme [79] exige qu'elle soit < 10 mm et cette limite est largement satisfaisante.

La comparaison des valeurs obtenues au cours des différents essais pour les caractérisations physiques des échantillons avec les valeurs exigées par la norme algérienne montre que ces valeurs sont dans la norme.

5.6.3 Propriétés mécaniques

5.6.3.1 Résistance à la compression

La résistance à la compression est l'une des propriétés les plus importantes des matériaux de construction. Celle du mortier est directement dépendante du type de ciment, il s'agit donc de définir les qualités d'un ciment plutôt que d'un mortier. La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. L'essai a pour but de déterminer la contrainte de rupture par compression simple aux âges 2, 7 et 28 jours. Selon la norme algérienne 442 [80], la résistance définissant la qualité d'un ciment CPJ-CEM II/A 42,5 est assurée lorsque les valeurs de la résistance à la compression sont :

- A 2 jours, la limite inférieure (Li) doit être supérieure ou égale à 12,5 MPa et la limite garantie est de 10 MPa.
- A 7 jours, la résistance à la compression n'est pas normalisée.
- A 28 jours, la limite inférieure (Li) doit être supérieure ou égale à 42,5 MPa et la limite garantie 40 MPa.

Le tableau 5.12 présente les résistances à la compression des 6 mortiers ainsi que le mortier témoin à 2, 7 et 28 jours. Les essais ont été réalisés à l'aide de la machine d'essai de compression. On remarque que les mortiers dont le ciment a été substitué par des taux de 10%, 20%, 30% et 100% enregistrent des résistances à la compression supérieures à celle du mortier témoin et à celle de la limite inférieure (Li) exigée par la norme algérienne NNA 442. Par contre les mortiers formulés avec une substitution de ciment de 50% et 70%, leurs résistances à la compression sont très proches de la résistance à la compression du mortier témoin dépassant la limite imposée par la norme en vigueur.

Tableau 5. 12 : Résistance à la compression des mortiers de ciment de poussière

Echantillon Age (jours)	Témoin (0%)	10%	20%	30%	50%	70%	100%
2	19,92	21,41	19,9	18,33	12,50	10,94	13,97
7	36,86	38,4	38,14	37,69	31,87	29,81	31,8
28	43,98	47,05	47,28	45,80	43,76	42,09	47,5

Comme, on peut le remarquer dans le Tableau 5.12, au jeune âge, la résistance à la compression des mortiers de ciment de poussière excède la limite inférieure et la limite garantie exigée par la norme (12.5 et 10 MPa), à l'exception du mortier comportant 70% de poussière. Cela peut être attribué probablement aux erreurs commises durant la formulation de cet échantillon.

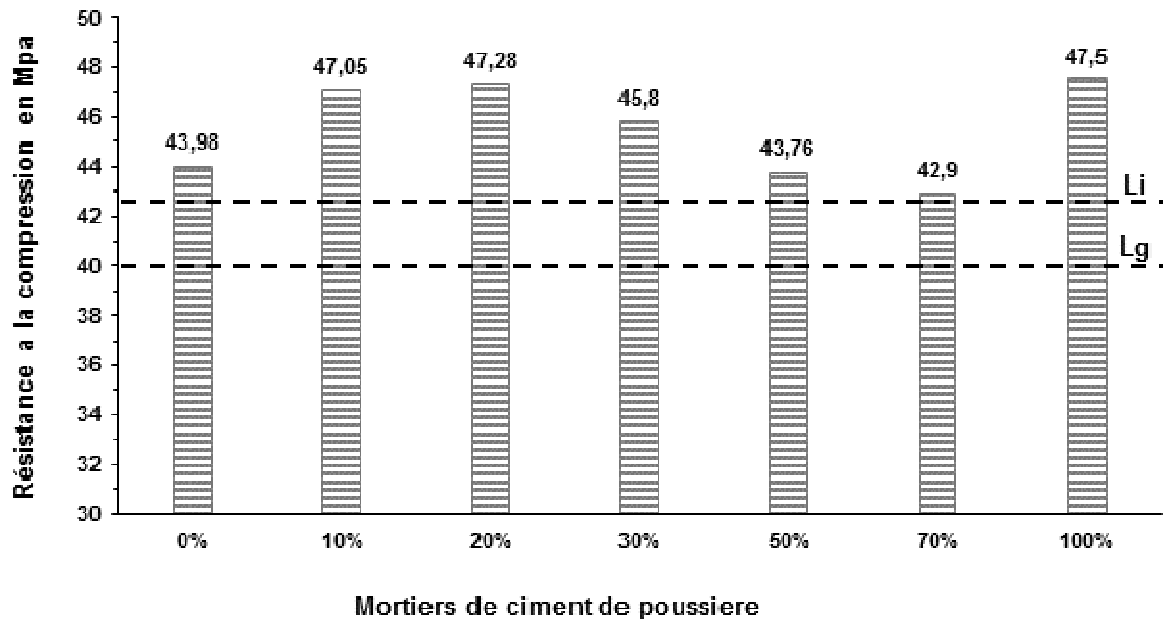


Figure 5.3 : Variation de la Résistance à la compression des mortiers de ciment de poussière à 28 jours

Cependant, à 28 jours, les résistances à la compression des différents mortiers dépassent la limite inférieure (Li) et la limite supérieure (Lg) imposée par la norme (voir Figure 5.3), ce qui confirme encore une fois que ces poussières peuvent être utilisées comme ajout dans le ciment.

La Figure 5.4 illustre le développement de la résistance à la compression des mortiers de ciment de poussière en fonction de l'âge. L'évolution de la résistance des mortiers en fonction de l'âge est pratiquement la même pour tous les mortiers quel que soit le pourcentage de poussière utilisé. Néanmoins comme on peut le constater, une réduction de la valeur de la résistance des mortiers contenant un taux de substitution supérieur à 30% au jeune âge. C'est l'effet de l'introduction de l'ajout (ici la poussière de ciment) dans le mortier, connu dans la littérature sous le nom de l'effet de dilution. A 28 jours, les mortiers de ciment acquièrent des résistances semblables à celui du mortier témoin indépendamment du taux de remplacement.

Il est à prévoir que ces résistances continuent à se rapprocher au-delà de 28 jours d'après l'allure des courbes. Par ailleurs, le mortier renfermant 100% de poussière affiche une résistance à 28 jours nettement supérieure à ceux des autres mortiers y compris le mortier témoin, ceci peut être attribué à la grande finesse de la poussière de l'échantillon ($3767 \text{ cm}^2/\text{g}$). De façon générale, les résistances à la compression des 6 mortiers confectionnés avec la poussière sont au-dessus de la limite exigée par la norme. C'est un autre argument pour les cimentiers les encourageant à mettre en valeur ce déchet industriel.

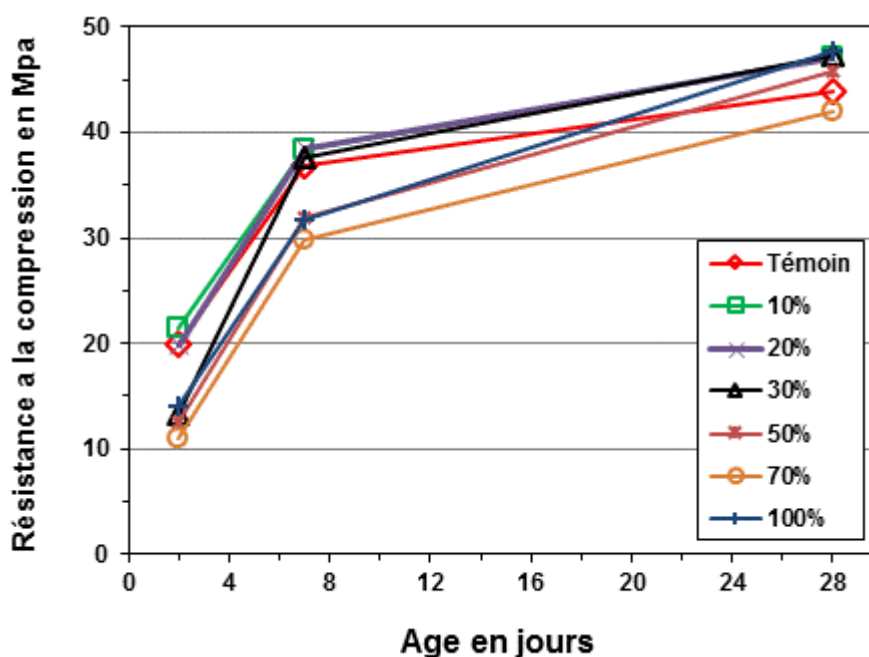


Figure 5.4 : Variation de la Résistance à la compression des mortiers en fonction du taux de remplacement de poussière

Pour conclure, on peut dire que les essais de compression réalisés sur les six mortiers confectionnés avec des taux de poussière de 10%, 20%, 30%, 50%, 70% et 100% donnent des résultats conformes au plan produit qualité de la cimenterie basé sur la norme NA 422. Donc, ces poussières sont des poussières de ciment, car elles présentent toutes les caractéristiques de celui-ci. Elles sont générées en majorité par les étapes de stockage clinker, broyage clinker et ajout, stockage ciment, conditionnement et expédition du produit fini. Ces poussières constituent alors l'une des principales matières résiduelles spécifiques à la cimenterie et les valoriser comme ajout cimentaire permettra à celle-ci de minimiser son impact sur l'environnement d'une part et d'autre part à économiser sa consommation en énergie et ressources naturelles.

5.6.3.2 Résistance à la flexion

Dans le tableau 5.13, il est présenté les valeurs des résistances à la flexion des mortiers de ciments renfermant plusieurs taux de remplacement de poussière en fonction de l'âge. Les valeurs enregistrées des résistances à la flexion des mortiers de ciment de poussière ne diffèrent pas beaucoup de ceux du mortier témoin.

Tableau 5.13 : Résistance à la flexion des échantillons en fonction de l'âge

Echantillon Age (jours)	Témoin (0%)	10%	20%	30%	50%	70%	100%
2	3,64	4,9	4,02	3,98	3,05	2,63	3,26
7	5,87	5,97	5,71	5,87	5,29	4,69	6,45
28	6,79	6,12	6,84	6,36	5,81	5,24	6,7

Sur la Figure 5.6, il est illustré l'évolution des résistances à la flexion des mortiers de ciment de poussière en fonction de l'âge. Les courbes de résistance à la flexion des mortiers de ciment de poussière tendent à se stabiliser après 28 jours d'hydratation, chose qui est différente des courbes de résistance à la compression des mortiers vus précédemment.

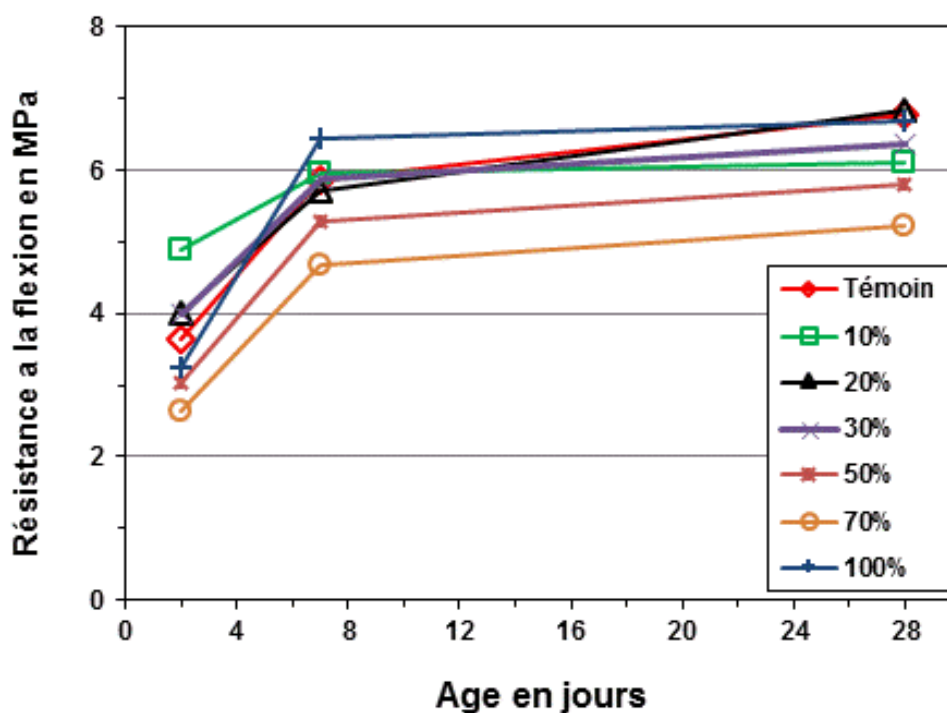


Figure 5.6 : Variation de la Résistance à la flexion des mortiers en fonction du taux de remplacement de poussière

Cependant, les valeurs obtenues des résistances à la flexion des mortiers ne peuvent pas être évaluées ou appréciées vu qu'il n'y a aucune valeur normalisée de référence sur laquelle on puisse s'appuyer pour mettre en évidence ces valeurs. On peut seulement constater que la résistance à la flexion des différents mortiers enregistre des valeurs comparables à celui du ciment produit. C'est le même comportement observé pour tous les mortiers examinés.

5.6.3.3 Retrait

Le volume d'un élément en béton diminue au cours du temps, cette diminution n'est autre que le retrait résultant du séchage et de l'hydratation du ciment. Il est défini aussi comme la déformation d'un élément en béton libre de toute sollicitation mécanique extérieure dans une ambiance sèche. Prédire cette déformation est d'une très grande importance pour l'étude de la durabilité et de l'aptitude au fonctionnement à long terme des structures en béton [83].

La mesure du retrait est réalisée à l'aide d'un Rétractomètre (appareil pour mesurer le retrait) sur des prismes 4 x 4 x 16 cm confectionnés avec du mortier normalisé de même composition et préparation que celui des éprouvettes confectionnées pour les tests mécaniques. Mais en revanche leurs conservations après le démoulage diffèrent car celles-ci sont munies d'une bande adhésive aux deux bouts pour éviter les effets de bords et exposées pendant 28 jours à l'air libre dans une chambre dont la température est de 20°C et l'humidité relative est de 50%. La norme algérienne [80] exige que la mesure du retrait ne s'effectue qu'à 28 jours et doit être inférieure ou égale à 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$. L'essai a donc pour but de déterminer, en fonction du temps, la variation de la longueur d'éprouvettes du mortier conservées après démoulage dans l'air libre.

Contrairement à la norme NA 442, le retrait des 5 éprouvettes ainsi que l'éprouvette témoin est mesuré après 7, 14, 21 et 28 jours d'exposition à l'air libre. Cela permettra de suivre l'évolution du retrait au jeune âge des mortiers, vu que pour ces derniers, le ciment est remplacé par la poussière de 10%, 30%, 50%, 70% et 100%. Le tableau 5.14 représente le retrait des mortiers en fonction de l'âge.

Tableau 5.14 : le retrait des mortiers à 7, 14, 21 et 28 jours

Echantillons	Le retrait (μm)					
	Témoïn (0 %)	10 %	30 %	50 %	70 %	100 %
1 jour	0	0	0	0	0	0
7 jours	06.8	72.5	39.3	179.3	153.7	128.1
14 jours	10.6	107.5	122.5	194.0	365.0	536.0
21 jours	103.0	131.0	176.0	240.0	419.0	590.0
28 jours	130.0	147.0	206.0	250.0	460.0	680.0

Comme, on peut l'observer sur la Figure 5.7, le retrait évolue proportionnellement au taux de substitution, en effet le retrait croît quand le taux de poussière dans le ciment augmente. Pour des taux inférieurs à 70%, les mortiers de ciment de poussière présentent un retrait acceptable qui tend à se stabiliser après 28 jours. Au-delà de ce pourcentage, le retrait devient très significatif et continue à augmenter après 28 jours, bien que le retrait enregistré des mortiers étudiés à 28 jours soit inférieur à la valeur maximale tolérée par la norme (1000 μm). Ceci confirme une autre fois la possibilité d'utiliser la poussière de ciment comme ajout dans le ciment commercialisé. Il faut noter que dans certaines applications en génie civil où l'effet du retrait est à craindre, ce ciment de poussière est à utiliser avec précaution particulièrement pour des taux de substitutions élevés.

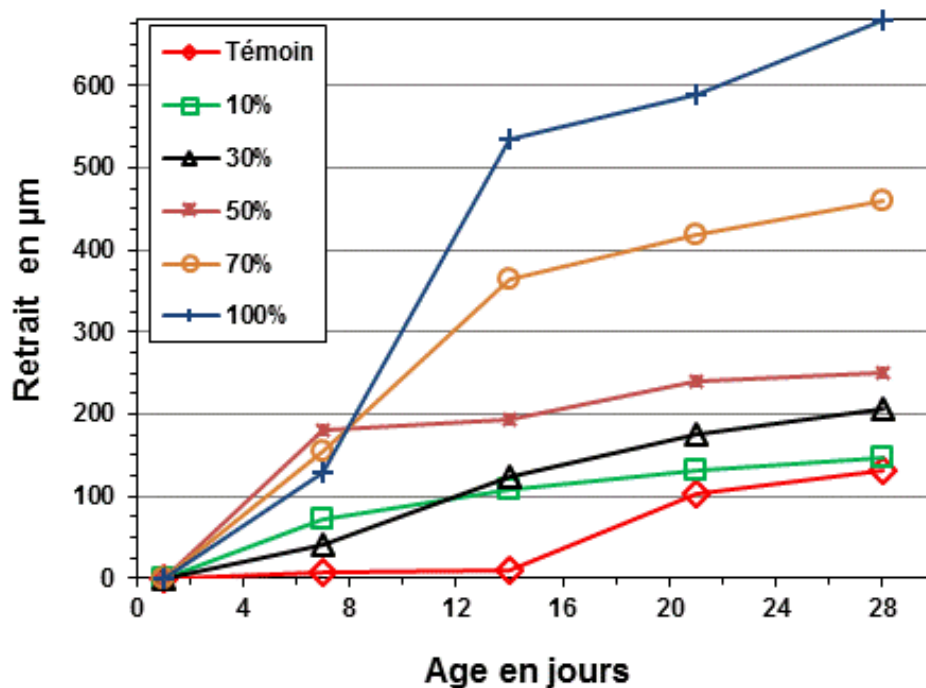


Figure 5.7 : Evolution du retrait des mortiers renfermant des taux croissants de poussières

5.7. Avantages de la valorisation

Selon les prévisions de l'entreprise la cimenterie (ECDE) [83] doit produire annuellement : 1.878.800 tonnes de clinker et 2.440.000 tonnes de ciment, en utilisant 18% (439.200 tonnes) d'ajout, dans son cas le calcaire, et bien sur environ 5% (122.000 tonnes) de régulateur de prise, le gypse. Sachant que 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 [84]. La cimenterie de l'ECDE consomme annuellement comme ressources naturelles 2.480.016 tonnes de calcaire, 319.396 tonnes d'argile et 86.424 tonnes de sable.

En valorisant les poussières générées en majorité par la zone ciment avec un taux de substitution de 10% de clinker, la cimenterie économisera 187.880 de tonnes de clinker ou réduira sa consommation en calcaire de 248.001 tonnes, en argile de 31.939,6 tonnes et en sable de 8.642,4 tonnes. Aussi, avec une consommation spécifique d'énergie calorifique de l'atelier cuisson de 850 Kcal/kg de clinker et d'énergie électrique de 30 kWh/tonne de clinker [Rapport ECDE, Budget 2008], la réduction de 187.880 tonnes de clinker avantagera la cimenterie à économiser 850.000 Kcal/tonne de clinker en énergie calorifique et 5.636.400 kWh/tonne de clinker.

Tout en produisant un ciment de bonne qualité conforme aux exigences de la norme NA 422, l'utilisation des poussières comme ajout permet à la cimenterie d'économiser ses consommations en énergie calorifique et électrique ainsi qu'en ressources naturelles. Mais aussi réduire l'un des plus grands défis des cimentiers, ses émissions de CO₂ gaz à effet de serre d'environ de 187.880 de tonnes (la production d'une tonne de clinker génère environ une tonne de CO₂). Mais pour la cimenterie de Chlef située en zone semi-aride c'est surtout réduire l'envol de ces poussières, qui représentent son principal polluant sur l'environnement. En effet, la récupération des poussières générées en majorité par la zone ciment avec des nettoyages intensifs et stockées pour être valorisées, permettra à la cimenterie d'atteindre son défi à savoir réduire l'envol des poussières même en période chaude et sèche.

5.8 Conclusion

L'argument le plus avancé en faveur de la valorisation des déchets et co-produits industriels est qu'ils permettent de minimiser l'impact de la production du ciment sur l'environnement d'une part et d'autre part économiser la consommation d'énergie et les ressources naturelles.

L'étude de la valorisation des poussières générées à tous les niveaux de la fabrication du ciment comme ajout cimentaire a été réalisée sur des mortiers confectionnés avec des taux croissants de substitution de la part de ciment par la poussière : 10%, 20% , 30%, 50%, 70% et 100%.

Les essais expérimentaux effectués selon le mode opératoire du plan produit qualité de la cimenterie de Chlef (ECDE) basé sur la Norme NA 442-2000, aboutissent avec des valeurs comparables aux caractères physiques et mécaniques du ciment témoin CPJ-CEMII/A et répondent largement aux exigences de la norme NA 442. L'utilisation de ces poussières avec un taux de 10% permettra à la cimenterie d'économiser ses ressources énergétiques ainsi que ses ressources naturelles en réalisant un gain sur la production de 187.880 tonnes de clinker, mais aussi relever son défi le plus important, réduire l'envol des poussières qui causent le plus grand impact sur l'environnement.

De façon générale, les résistances à la compression des 6 échantillons confectionnés avec la poussière sont au-dessus de la limite exigée par la norme. Notons que le mortier renfermant 100% de poussière affiche une résistance à 28 jours nettement supérieure à ceux des autres mortiers y compris le mortier témoin. Par ailleurs, la résistance à la flexion des différents mortiers enregistre des valeurs comparables à celui du ciment produit. De même, le retrait indiqué des mortiers étudiés à 28 jours est aussi inférieur à la valeur maximale tolérée par la norme. Tous ces résultats constituent des arguments forts encourageant les cimentiers à s'intéresser d'avantage à la mise en valeur de ce déchet industriel.

Conclusion Générale

L'air que nous respirons est modifié par des éléments nuisibles qui mettent en péril la santé humaine et l'écosystème indispensable à la vie. Les aérosols constituent la part majeure de la pollution atmosphérique. Ces particules en suspension dans l'air sont d'origine naturelle ou anthropique. Pour réduire cet impact très alarmant, des normes sévères sont établies par les différents organismes de santé et d'environnement.

Les particules en suspension dans l'air sont principalement caractérisées par leur diamètre aérodynamique variant de 0,02 μm à 100 μm . Au-delà de 10 μm , ces poussières se sédimentent, et sont théoriquement peu dangereuses pour la santé humaine, cependant elles peuvent infecter l'eau ou le sol et endommager le patrimoine bâti. Les poussières sédimentables, objet de l'étude, ne font l'objet d'aucune réglementation, les différentes normes existantes indiquent seulement le seuil entre lequel une zone est faiblement ou fortement polluée. Des techniques de dépoussièrèrent très performantes sont adoptées dans le milieu industriel dont le processus génère des particules.

L'étude du niveau d'empoussièrément au sein de la cimenterie de Chlef fait constater que les niveaux d'empoussièrément affichés par les opacimètres placés au niveau de chaque source d'émission sont en dessous du seuil fixé par la norme algérienne (30 $\text{mg}/\text{N m}^3$), prouvant ainsi l'efficacité des filtres à manches introduits. Par ailleurs, les retombées de poussières sur les plaquettes demeurent très élevées selon la norme AFNOR. Cette différence est vraisemblablement due à la technique de mesure, en effet l'opacimètre enregistre les niveaux d'empoussièrément à la source émettrice alors que les plaquettes métalliques sont situées tout autour de la cimenterie, captant ainsi toutes les poussières provenant des différentes activités de l'usine.

La quantité de retombées de poussières diminue à mesure que les précipitations augmentent. Ceci suggère que les seuils définis par les normes Françaises et Britanniques conviennent pour des périodes humides et pluvieuses, cependant ces normes peuvent ne pas être appropriées pendant les périodes chaudes et sèches.

Le niveau d'empoussièrément aux alentours de la cimenterie fait remarquer que les valeurs moyennes et médianes des stations 1, 2 et 3 sont en dessous de la limite fixée par la norme allemande (350 $\text{mg}/\text{m}^2\text{j}$). Par contre les valeurs médianes et moyennes des stations 4 et

5 dépassent la valeur limite $350\text{mg/m}^2\text{j}$, en tenant cette valeur guide à ne pas dépasser, on peut dire que la zone d'impact est la zone englobant ces deux stations. L'évolution du niveau d'empoussièrement de la série des 12 prélèvements sur les 5 stations selon la norme Belge qui fait appel à la médiane du groupe et la norme Britannique qui fait appel à la moyenne du groupes, basées toutes les deux sur la réglementation Allemande, les valeurs annuelles étant pour :

La médiane annuelle du groupe des 5 stations est de $250\text{ mg/m}^2\text{ jour}$, cette valeur annuelle par rapport aux catégories définies par la norme Belge est comprise entre $200\text{ mg/m}^2\text{j}$ et $350\text{ mg/m}^2\text{j}$, les retombées peuvent donc être qualifiées d'élevées. La valeur moyenne annuelle du groupe des 5 stations est de $433\text{ mg/m}^2\text{j}$, les retombées sont ainsi qualifiées d'élevées.

La comparaison des valeurs médianes des 5 stations selon la norme Belge confirme que les zones des stations 1, 2 et 3 sont faiblement polluées, en effet éloignées des zones d'impact de la cimenterie et de la carrière, leurs valeurs médianes sont en dessous du seuil fixé par la norme Allemande. Par contre les zones des stations 4 et 5 subissent l'influence de leurs activités.

Certes le paramètre pluviométrie a un effet plus important sur les retombées de poussières, cela est constaté lors des prélèvements du mois de février 2015, la station 5 la plus impactée a enregistré un niveau en dessous du seuil de la norme AFNOR. Or, lorsque l'humidité est très élevée avec des pics 70% en saison chaude avec une température moyenne de 39°C , ce phénomène particulier alourdit les particules et affaiblit ainsi leurs envols. Dans certaines conditions météorologiques, l'humidité peut avoir un effet remarquable sur l'évolution de l'empoussièrement.

L'analyse chimique des poussières recueillies sur les 5 stations présente les mêmes combinaisons que ceux du ciment et du cru et dont les proportions sont beaucoup plus proches à ceux du ciment. Ce qui confirme que les poussières recueillies sur les 5 zones proviennent des émissions générées par l'activité de la cimenterie. Ceci confirme aussi que malgré l'adoption du système le plus performant en dépoussiérage au niveau de toutes les sources émettrices son impact sur les zones environnantes demeure toujours.

L'étude de la valorisation des poussières générées à tous les niveaux de la fabrication du ciment comme ajout cimentaire a été réalisée sur des mortiers confectionnés avec des taux croissants de substitution de la part de ciment par la poussière. Les essais expérimentaux effectués selon le mode opératoire du plan produit qualité de la cimenterie de Chlef (ECDE) basé sur la Norme NA 442-2000, aboutissent avec des valeurs comparables aux caractères physiques et mécaniques du ciment témoin CPJ-CEMII/A et répondent largement aux exigences de la Norme NA 442.

Une fois encore, les résultats obtenus font constater que la forte concentration des poussières provient en majeure partie des fuites au niveau du broyage clinker, produit fini et expédition ciment. C'est donc la zone ciment qui cause l'impact le plus important sur l'environnement, et afin de le réduire, la cimenterie doit utiliser ces poussières comme ajout vu qu'elles possèdent des caractéristiques identiques à celles du ciment.

A la base des résultats de caractérisation physico-mécaniques du ciment de poussière, il est établi que ce ciment peut être exploité partiellement ou totalement sans aucune réserve dans la confection des matériaux cimentaires destinés aux travaux de constructions. Il est estimé la quantité de ciment récupérée approximativement à 10 % de la production, ce qui est une somme considérable à ne pas ignorer.

L'utilisation de ces poussières partiellement ou totalement permettra à la cimenterie d'économiser ses ressources énergétiques ainsi que ses ressources naturelles, à titre d'exemple, l'utilisation d'un taux de remplacement de 10% seulement permettra à la cimenterie de réaliser un gain sur la production de 187.880 tonnes de clinker, mais il est à relever que son défi le plus important, est de réduire l'envol des poussières qui causent le plus grand impact sur l'environnement.

Bien que l'étude des propriétés de durabilité du ciment de poussière ne soit pas encore l'objet d'un travail de recherche très approfondie, on pense qu'il est possible d'utiliser ce ciment au moins dans les différents travaux de construction tels que les revêtements de chaussés, la confection du gros béton et autres réalisations d'éléments non structuraux.

Perspectives

L'étude de l'impact de l'empoussièrement généré par l'industrie du ciment sur les sols et les végétations peut être l'objet des futures recherches engagées dans ce sens. Aussi, la recherche des matériaux écologiques permettant la production d'un éco-ciment pour protéger

Conclusion générale

l'environnement et contribuer au développement durable, constitue une alternative très prometteuse. L'étude de la durabilité des bétons confectionnés à base de ciment de poussière dans les milieux agressifs est un sujet d'actualité nécessitant des efforts de recherche pour avoir une idée complète et générale sur la valorisation de ce ciment perdu au sein de la cimenterie.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] A.E.E : Agence Européenne pour l'environnement, Rapport sur la qualité de l'air « De nombreux européens restent exposés à une pollution atmosphérique nocive », publié Novembre 2015
- [2] OBG (Oxford Business Group) (2014) The Report, Algeria 2013 New investment set to address Algeria's cement shortage. OBG, Oxford, UK. See <http://www.oxfordbusinessgroup.com/> (consulté 25/07/2014).
- [3] Prof MEGHAZZI A : Cours « Valorisation des déchets industriels » Chapitre 1 : Université de Biskra.2006
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Norme TA-LUFT – Loi fédérale allemande sur la protection de l'environnement contre les nuisances ; cette Loi est précisée par 21 Ordonnances et Instructions techniques sur la qualité de l'air.
- [7] ISSeP: Service social des services du gouvernement Wallon, Environnement, Réseau poussières sédimentables, Fiche d'activités 2002 3 p (Norme AFNOR NFX43 – 014 jauges OWEN).
- [8] Norme Britannique BS 1767 BSI, 1969, John 2011
- [9] 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).
- [10] A.E.E : Agence Européenne pour l'environnement, Rapport sur la Pollution Atmosphérique : Déclaration de Hans Bruyninck, Directeur de l'exécutif de l'A.E.E : (une grande partie de la population ne vit pas dans un milieu sain...) Juin 2016
- [11] Loi N°96-1236 du 30 Décembre 1996, sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie JO N° 0001 du 1 Janvier 1997
- [12] Journal Officiel 20 Juillet 2003. Loi N° 83-03 du 5 Février 1983 relative à la protection de l'environnement

- [13] SOPHIE SOBANKA : Apport de la combinaison d'imagerie à la physico-chimique de particules individuelles d'intérêt atmosphérique Université des Sciences et Technologies de Lille, laboratoire de Spectrochimie infrarouge Février 2013
- [14] Terniche Mourad : «Evaluation de l'impact sanitaire des facteurs de risque sur la pathologie respiratoire vue en urgence : Cas de la pollution urbaine ». thèse de doctorat en sciences médicales, Université d'Alger Benyoucef Benkhada, Faculté de Médecine d'Alger 2016 ;
- [15] PIERRE MASCRET Environnement, Pollution atmosphérique : Causes, conséquences, solutions, perspectives, chapitre I : Pollution atmosphérique, Technosup, les filières technologiques des enseignements supérieurs, Ellipses édition 2005.
- [16] DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile, Rapport Réseau Environnement « Pollution atmosphérique et Aviation », Janvier 2003
- [17] O.M.S : Organisation Mondiale de la Santé, « Santé publique, Environnement et Déterminants sociaux de la santé » Déclaration de la Directrice du Département de la Santé Publique à l'OMS, 2012
- [18] O.M.S : Etude publiée le 25 MARS 2014 « Impact de la pollution sur l'environnement et les hommes »
- [19] Environnement et Changement Climatique Canada, Catalogue des publications sur la pollution atmosphérique « La Faune » 2012 ;
- [20] Stegeman, John & Solow R. A Look Back at the London Smog of 1952 and the Half Century Since ; A Half Century Later ; Recollections of the London fog, Environmental Health Perspectives, December 2002.
- [21] DAB W, Roussel I (2001), l'air et la ville : les nouveaux visages de la pollution atmosphérique. Chapitre 5 : Surveiller la qualité de l'air. Hachette Littératures, 218 p
- [22] STEPHANIE LACOUR : Cours de pollution atmosphérique « Inventaires d'émissions » Ecole des Ponts et Chaussées, CERECA : Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique, 2012.
- [23] N.F. IZMERO : « Lutte contre la pollution de l'air en U.R.S.S », OMS, Directeur de l'Institut d'Hygiène du Travail et des Maladies Professionnelles de l'Académie des Sciences Médicales de l'U.R.S.S. Moscou 1974)
- [24] Union Européenne Loi N° 84/360/CEE du 28 Juin 1984
- [25] Directive 2008/50/CE du parlement Européen et du Conseil du 21 Mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

- [26] Université de Versailles : Master Science de la Santé, de l'Environnement, du Territoire et de la Société « Recommandations de l'O.M.S. en matière de pollution ».
- [27] ZEKAA, Zanobetti A, Schwartz J, Short term effects of particulate matter on cause specific mortality : effects of lags and modification by city characteristics occup environ Med 2005
- [28] Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Direction de la Politique Environnementale Urbaine, Sous Direction des Nuisances Sonores et Visuelles de la Qualité de l'Air. Rapport Samasafia, les sentinelles de l'air.2008
- [29] Loi Algérienne sur la protection de l'environnement 83 – 03 du 5 Février 1983 et du 20 juillet 2003
- [30] Journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (2006), Décret N° 06-02 du 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique
- [31] Horizon : Pollution atmosphérique de l'agglomération Parisienne « Bilan critiques et prospectives » Etude réalisée pour l'écologie sans frontière L'ONG Spécialiste du droit de l'environnement
- [32] MAXIME DESCOTAUX: "Diminuer les émissions de poussières d'un site d'extraction et de traitement de pierre calcaire" Essai présenté au centre Universitaire de formation en vue de l'obtention du grade de Master en Environnement. Université de Sherbook Septembre 2012
- [33] PIERRE MASCLLET : Environnement, Pollution atmosphérique : Causes, conséquences, solutions, perspectives, chapitre 5 : Pollution atmosphérique, Technosup, les filières technologiques des enseignements supérieurs, Ellipses édition 2005.
- [34] Hamanou Eric : «Ces poussières qui gouvernent le monde » excelsior publication (2012 Revue Science et Vie N° 1134: Mars 2012)
- [35] CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique. Air et climat : Poussière en suspension Origine du polluant. Source de données Avril 2014
- [36] DETEC Suisse - Département Fédéral de l'Environnement, des Transports, de l'Energie et de la Communication - (Poussières fines : questions et réponses concernant les propriétés, les émissions, les immiscions, les effets sur la santé et la mesure - Janvier 2013
- [37] ORAMIP : Bilan annuel 2009, suivi des retombées de poussières au Midi-Pyrénées ETUDE 2010
- [38] Airfobep : Association pour la surveillance de la qualité de l'air : Les particules sédimentables sur la zone de l'étang de Berre Février 2004)

- [39] Confédération Suisse, C.F.H.A : Commission Fédérale de l'Hygiène de l'Air : Rapport « Les poussières fines en Suisse ». 142 p, 2007)
- [40] RISE : Réseau Intersyndical de Sensibilisation à l'Environnement ; Pollution d'air : Quel impact sur la santé, Rapport analytique sur l'état de l'environnement par Julie Rigo CEPAG WALLON 2006 – 2007, 65p.
- [41] Wilfried Enducher, Thomas Drahem, Uta Wolf-Bennig et Jan Fledler, Institut de Géographie, Université Humbolt de Berlin Unter den Linden 6 10099 Berlin Allemagne climatologie,vol5,2008 ;
- [42] AIR PARIF : Surveillance de la qualité de l'air en Ile de France. Synthèse des connaissances sur les particules en suspension dans l'air et des travaux d'AIR PARIF sur ces polluants, Octobre 2008, 95 p.
- [43] ATMO Nord Pas de Calais- Surveillance de la Qualité de l'air : Bilan 2007 des poussières sédimentables sur le DUNKERQUOIS rapport 04- Avril 2008
- [44] ALBERT PAKER, C.B.E, D.Sc(Ex-Director of Fuel Research, Department of Scientific and Industrial Research, Londres): La Législation concernant la pollution de l'air : Les Normes et leur mise en application.
- [45] Directive Européenne N°1999/30/CE du 22 avril 1999, relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux d'azote et les oxydes, d'ozote, les particules et le plomb dans l'air ambiant.
- [46] Australian Government, Département of the Environment and Energy : Protection de l'environnement, publications et ressources sur la protection de l'environnement « Particules » 2005
- [47] ORAMIP : Observatoire Régional de l'Air en Midi – Pyrénées « Etude 2004 – 018 bilan annuel 2003 suivi des retombées de poussières en Midi –Pyrénées »
- [48] R. Kerbachi, N. Oucher, A. Bitouche, N. Berkouki, B. Demri, M. Boughedaoui et R.Joumard1 Laboratoire LSTE, Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger, Algérie. « Pollution par les particules fines dans l'agglomération d'Alger » Colloque International Environnement et Transports dans des cotextes différents. Ghardaïa 16 6 18 Février 2009.
- [49] PATRICK PINEL : Perspectives d'amélioration du bilan Environnemental des cimenteries Québécoises. Centre Universitaire de Formation en Environnement et Développement Durable, Essai pour l'obtention du grade en Maitre en environnement(M.Env) 2015
- [50] Shraddha Mishra, Dr Nehal Anwar Siddiqui : A Review On Environmental and Health Impacts of Ciment Manufacturing Emissions. Health, Safety & Environment, University of Petroleum & Energy Studies Dehradun, Uttarakhand,

- India. International journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences, volume 2 Issue 3 June 2014
- [51] Heather Griffiths : Effets de la pollution atmosphérique sur les cultures agricoles, Fiche Technique N°96 – 168, Ministère de l’Agriculture, de l’Alimentation et des Affaires Rurales, Ontario.2003
- [52] ORAMIP : Mesures poussières sédimentables, Rapport d’activité 2009
- [53] Abderrahim Hamza : « Apport du sondeur à laser (LIDAR) dans l’étude de la pollution par les aérosols » Thèse de doctorat, Université d’Oran, Département de Physique, Spécialité Sciences de l’Environnement et Climatologie, 15 Février 2012
- [54] OBG (Oxford Business Group) (2014) The Report, Algeria 2013 New investment set to address Algeria’s cement shortage. OBG, Oxford, UK. See <http://www.oxfordbusinessgroup.com/> (consulté 25/07/2014).
- [55] Boussad Bessad, Directeur du partenariat du groupe GICA(Groupe Industriel des Ciments d’Algérie), magazine El-Djazair ;com n°50, page 75 Mai 2012
- [56] 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. 2009
- [57] Xiaoqib D, Yong S, Guanda M and Dongiyang L Research on performance of electrostatic-bag precipitator with comparative industrial tests. In *Electrostatic Precipitation* (Yan K (ed.). Springer, Heidelberg, Germany, pp. 468–471. 2009
- [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] 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.
- [60] ISO: International Organization for Standardization (2005) ISO/TC 71: Concrete, reinforced concrete and pre- stressed concrete. Business plan. ISO, Geneva, Switzerland. ISO (2008) ISO 9001: 2008: Quality Management Systems – Requirements. ISO, Geneva, Switzerland.

- [61] ISO (International Organization for Standardization) (2004) ISO 14001:2004: Environmental management systems – Requirements with guidance for use. ISO, Geneva, Switzerland.
- [62] 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.
- [63] ORAMIP : Observatoire Régional de l'Air en Midi – Pyrénées « Etude 2004 – 018 bilan annuel 2003 suivi des retombées de poussières en Midi –Pyrénées..
- [64] John G (2011) *Air Quality in Chuckery, Walsall*. Pollution Control Engineering & Transportation Services, Walsall, UK, Yearly report on particles (PM10) and deposited dust.
- [65] Office National de la Météorologie, Direction Régionale Météorologique Centre, Bureau Assistance Météorologique de CHLEF, Etude fréquentielle du vent et nombre jours de pluie de la région de CHLEF, période du 17/07/2010 au 08/12/2010, Décembre 2010 , 1 p
- [66] Bashar M, Al Smadi, Kamel K, Al Zboon and Khaldoun M Shatnawi : « Assessment of air pollutants emissions from a cement plant : A case study in Jordan »Water and Environmental Engineering Departement, the university of Jordan. Jourdan journal of Civil Engineering, volume 3 N°3, 2009
- [67] CNTPP- Centre National des Technologies de Production plus Propre, « Produire plus propre » N°5 Mars 2010
- [68] Office National de la Météorologie, Direction Régionale Météorologique centre, Bureau assistance météorologique de CHLEF, Etude fréquentielle du vent et nombre de jours de pluie de la région de CHLEF, période du 20/03/2014 au 23/06/2015, Juin 2015, 2 p
- [69] Mohammad Malakootian et al : «Urban Dust Fall Concentration and Its Properties in Kerman City,Iran ». Environmental Health Engineering Research Center, Kerman University of Medical Sciences. Health Scope 2013
- [70] 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).
- [71] JACQUES MEHU : Professeur, Institut National des Sciences Appliquées (INSA-Lyon) : La chimie et l'habitat, Partie 3 : Matériaux et habitat, chapitre 14 « Recyclage des matériaux et évaluation environnementales ».2011
- [72] [Concrete Korpa.AKwald.T et Trettin .R : Hydratation behavior, Structure and morphology of Hydratation phases in advanced Cement based systems contraining micro and nanoscalepozzolanic additives Cement and Research, 38, PP :955- 962, 2008].

- [73] Isabelle Moulin responsable de l'activité Environnement, Laboratoire d'études et de recherches sur les matériaux actifs, « Valorisation des coproduits et des déchets, Filière Ciment et Béton » Revue Ciment, Béton, Plâtres et Chaux, N° 894 Dec 2008 – Jan 2009.
- [74] Shraddha Misrha, Nehal Anwar Siddiqui : « A Review On Environmental and Health Impact of Cement Manufacturing Emissions ». International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences. Volume 2 Issue 3 June 2014
- [75] HATIMI Imad Eddine : « Contribution à l'étude physico-chimique de la consolidation des poussières de four de cimenterie par les cendres volantes », mémoire de maîtrise es sciences appliquées, Université de Sherbooke, Faculté des Sciences Appliquées, Département de Génie Civil. Janvier 1999
- [76] DOYE Isabelle : « Evaluation de la capacité de matériaux industriels alcalins à neutraliser des résidus et stériles miniers acide », Thèse de Doctorat, Université Laval Québec, Faculté des Etudes Supérieures, Grade de Philosophia, Doctor (Ph.D) Mai 2005
- [77] ADASKA, W.Set et Taubert, D.H (2008) Beneficial Uses of Cement Klin Dust, in concrete Thinker 2008 Institut of Electrical and Electronics Engineers, Industry Applications Society / portland ciment
- [78] Bouraoui S et Rouis M : « Etude comparative de l'utilisation des poussières de four de cimenterie et celle de la chaux dans la stabilisation de la boue de forage du site pétrolier Sidi El Itayen », 3^{ème} Journée Internationale des Géosciences de l'Environnement- El Djadida les 8, 9 et 10 Juin 2005
- [79] Kuldeep Sharma, Ujjawal Jain, Anupam Singhal : « Treatment of waste generated from cement industry and their treatment a review », BITS Pilani, India Dictionnaire Environnement, Actu-Environnement. com 2012 ;
- [80] Norme algérienne NA 442 – Plan travail qualité. Version 2000, Arrêté Interministériel portant les spécifications techniques et les règles applicables aux ciments, Juin 2003, 4p
- [81] R. Chaid, R. Jauberthie et A. Boukhaled : « Effet de l'ajout calcaire sur la durabilité des bétons ». Lebanese Science Journal, vol 11 N°1 2010

- [82] NF P15- 403 : Techniques des essais, Sable normal et mortier normal, homologuée le 31 Juillet 1963.
- [83] Itim Ahmed et al : « Etude des déformations de retrait d'un mortier contenant différentes additions minérales ». SICZS Symposium International sur la Construction en Zone Sismique, Université Hassiba Benbouali de Chlef 26- 27 Octobre 2010.
- [84] E.C.D.E, Rapport de gestion exercice 2008, Mars 2009, 109 p
- [85] Zouai K : Etude du mode de fabrication du ciment et effet des matières premières impact de l'utilisation du ciment sur l'environnement, chapitre 5, Mémoire de Magister, Université Hassiba Benbouali de Chlef, Juin 2011
- [86] BOUBEKER Toufik « Evaluation des performances des ciments Portland au calcaire, exemple de la cimenterie de CHLEF », Mémoire de Magister, Université Hassiba Benbouali de Chlef, 2010, 92 p.

- [13'] Source internet (images): Ens Lyon Planetterre