



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et géologie

Memoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mines

Option : Valorisation des Ressources Minérales

Présenté par

HADJOU DJ Mohamed

KHALFALLAH Abd elghani

Thème

***L'IMPACT DES CKD SUR
L'ENVIRENEMENT (cimenterai de Lafarje à
Msila)***

Soutenu le 03 / 06 /2016 devant le jury composé de:

Présidente: Mr.AKDIM A/ Elghani

Promoteur: Mr.MOUSSACEB Karim

Examinatrice: M^{elle} BOUNAB Samia

Année Universitaire: 2015-2016

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer nous remerciement, avant tout, à notre Dieu qui nous à donner la patience et la force le long de notre formation.

Nous tenons à remercier particulièrement notre promoteur Mr MOUSSACEB KARIM, Les membres de jury qui nous feront l'honneur d'apprécier notre travail.

Tous les enseignants des mines qui ont contribués à notre formation.

Mr HAMMOUDI ABDELKADER qui nous facilité notre tâche.

Et tout personne qui à donner une main d'aide pour la réussite de ce projet de près ou loin

DEDICACES

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail spécialement à ma très chère mère pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien et me voir ainsi arriver à ce que je suis devenu aujourd'hui.

A ma très chère père.

A mon frère Ali

A tous mes frères et sœurs.

Tout la famille HADJOUJ.

Tous mes proches.

A tout mes amis.

A mes amis proches(farid, Rachid, mossa, mohamed)

A mon collègue de travail KHALFALLAH et sa famille.

Toute personne qui a contribué de près ou de loin à ma réussite.

H.MOHAMED

Dédicaces

Je dédie ce mémoire de fin d'étude à :

A mes très chers parents.

A mes grands parents.

Mes frères

Et la famille KHALFALLAH.

A tous mes amis.

A mon collègue de travail HADJOU DJ et sa famille.

Et à tous ceux que j'aime et m'aime.

K. ABDELGHANI

***LISTE DES TABLEAUX
ET DES FIGURES***

LISTE DES TABLEAUX
CHAPITRE I

Tableau I.1. Analyse Chimique Des CKD Étudiées.....	13
Tableau I.2. Intervalle De La Variation Chimique Des CKD.....	14
Tableau I.3. Tension de vapeur	31
Tableau I.4. Les précipitations mensuelles à la station de M'sila (1988 – 2005) [Station météorologique de M'sila]	31
Tableau I.5. La vitesse moyenne mensuelle des vents oscille(1996 – 1997).....	33

CHAPITRE II

Tableau II.1. Différentes analyse effectuées sur le lixiviat.....	43
--	----

CHAPITRE III

Tableau III.1. Composition chimique des échantillons A,B,C,D et CKD	48
Tableau III.2. Phases identifiées pour les échantillons A,B,C,D,CKD	52
Tableau III.3. Phases identifiées pour les échantillons A ,B,C,D et CKD	52
Tableau III.4. Résultats des analyses des échantillons A.B.C.D.CKD par spectrophotométrie IR	55
Tableau III.5. Evolution des concentrations de zinc, chrome en fonction des échantillons A.B.C.D.CKD .Les résultats en exprimée en mg/kg	56

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1. Vue d'ensemble d'un procédé de fabrication de ciment par voie sèche d'après (fiches techniques,2006).....	6
Figure I.2. Schéma du cycle des matières volatiles dans le four	11
Figure I.3 . Schéma de circuit gaz/ matière (four voie sèche).....	12
Figure I.4. Variabilité chimique des poussières dans le temps	15
Figure I.5 . Variabilité chimique des poussières de four de cimenterie	16
Figure I.6. Parcours des métaux dans les fours à ciment équipés de chauffeurs en voie sèche d'après (CE, 2010)	23
Figure I.7. Stabilité des phases d'une matrice cimentaire d'après (BENZA AZOUA,1996)...	27
Figure I.8. la carte topographique	29
Figure I.9. Histogramme des variations interannuelles à la station de M'sila (1988-2005)....	32
Figure I.10. Carte pluviométrique de la région du Hodna	32

CHAPITRE II

Figure II.1. Vue de points d'échantillonnage des poussières de la cimenterie de Hammam delaa à Msila	34
Figure II.2. Tamiseuse	35
Figure II.3. Principe de quartage	36
Figure II.4. Appareil de Diffraction par des Rayons X	37
Figure II.5. La loi de Bragg.....	38
Figure II.6. Schéma d'un spectromètre de diffraction des rayons X	38
Figure II.7. Schéma du principe de la spectroscopie IR	39
Figure II.8. Image de l'appareille du spectrophotomètre IR.....	40
Figure II.9. Schéma de principe fonctionnement de la FRX	41
Figure II.10. Principe de fonctionnement de la Spectrométrie d'Absorption Atomique à flamme (SAAF)	46

CHAPITRE III

Figure III.1. les point de prélèvement dans la cimenterie.....	48
Figure III.2. Diffractogramme DRX de échantillon A	49
Figure III.3. Diffractogramme DRX de échantillon B	50

Figure III.4. Diffractogramme DRX de échantillon C	50
Figure III.5. Diffractogramme DRX de échantillon D	51
Figure III.6. Diffractogramme DRX de échantillon CKD	51
Figure III.7. Spectre infrarouge de échantillon A	53
Figure III.8. Spectre infrarouge de échantillon B	53
Figure III.9. Spectre infrarouge de échantillon C	54
Figure III.10. Spectre infrarouge de échantillon D	54
Figure III.11. Spectre infrarouge de échantillon CKD	55
Figure III.12. Teneurs en Chrome	57
Figure III.13. Teneurs en Zinc	57
Figure III.14. Teneurs en Chlorure	58
Figure III.15. Teneurs en Cadmium	59
Figure III.16. Teneurs en Cuivre	59
Figure III.17. Teneurs en Nickel	60

LISTE DES ABRIVIATIONS

CKD : Cement KiIn Dust (poussières de four à ciment)

LTMGP : laboratoire de technologie des matériaux de génie des procédés.

AFNOR : Association Française de Normalisation.

DRX : diffraction des rayons X.

IRTF : spectrométrie Infrarouge à transformée de fourier.

QCX : Qualité de Contrôle par fluorescence X.

TCLP: Toxicity characteristic Leaching procedure.

UV : Ultraviolet –Visible.

SAA : spectrophotométrie d'absorption atomique.

EA : Le deuxième échantillon à 250 m à l'extérieur de la cimenterie

EB :Le troisième échantillon à 500 m à l'extérieur de la cimenterie

EC : Le quatrième échantillon à 750 m à l'extérieur de la cimenterie

ED :Le cinquième échantillon à 1000 m à l'extérieur de la cimenterie

ND : Non déterminé.

Q : Poids de l'échantillon

K :Coefficient de la préparation de la minéralisation

d :Diamètre de plus gros grain

N :Le nombre de quartage

λ :La longueur d'onde des rayons x

COT : Composés organiques totaux

COV : composés organiques volatils

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : APERÇU GENERAL SUR LES CIMENTS	
I.1. Introduction	3
I.2. FABRICATION DU CIMENT : TECHNIQUES ET PROCÉDES	3
I.2.1. Extraction des matières premières.....	4
I.2.2. Stockage et préparation des matières premières	5
I.2.2.1. Stockage	5
I.2.2.2. Broyage	5
I.2.2.3. Homogénéisation	7
I.2.3. Stockage et préparation des combustibles	7
I.2.3.1. Utilisation des déchets.....	7
I.2.4. Cuisson du clinker.....	8
I.2.5. Broyage et stockage du ciment.....	8
I.2.6. Conditionnement et expédition	9
I.3. EMISSIONS ATMOSPHERIQUES	9
I.3 .1. les poussières du four à ciment	10
I.3.1.1. production des poussières de four de cimenterie.....	10
I.3.1.2. composition chimique des ckd	13
I.3.1.3. composition minéralogique des ckd	13
I.3.1.4. variabilités chimique et minéralogique des ckd	13
I.3.2. Types de polluants rejetés.....	16
I.3.2.1. Origine et transformation	16
I.3.3. Métaux lourds	21
I. 3.3.1. Métaux qui sont ou qui ont des composés réfractaires ou non volatils	21
I. 3.3.2. Métaux qui sont ou qui ont des composés semi-volatils.....	21
I.3.4. Composés organiques totaux (COT).....	24
I.3.4.1. Chlorure d'hydrogène et fluorure d'hydrogène (HCl et HF)	25
I.3.4.2. Ammoniac (NH ₃).....	25
I.4. PROBLEMATIQUE ENVIRONNEMENT ALE	25
I.4.1 L'impact des poussières sur la végétation	25
I.4.2 L'impact des poussières sur la santé	25
I.5. EFFETS DES POLLUANTS SUR L'ENVIRONNEMENT	26
I.5.1. Aérosol atmosphérique.....	26

I.5.2. Phénomène de lessivage	27
I.6. La cimenterie d'étude LAFARGE de Hammam Dalaa (M'sila).....	28
I.6.1. Définition Lafarge Holcim	28
I.6.2. définition d'usine La société Lafarge Holcim (unité de production)	29
I.6.2. 1.La situation géographique	29
I.6.3. Le climat	30
I.6.4. Température.....	30
I.6.5. Humidité de l'air	30
I.6.6. Les vents	32
CHAPITRE II : MATERIAUX ET PROTOCOLES EXPERIMENTAUX	
II.1. Introduction	34
II.2. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS	34
II.3. PREPARATION MECANIQUE ET ECHANTILLONNAGE.....	35
II.3.1. Tamisage	35
II.3.2. Broyage	35
II.3.3. Préparations des échantillons avant l'analyse, norme AFNOR NF X 31-427	36
II.4. METHODES DE CARACTERISATION DES ECHANTILLONS.....	37
II.4.1. Diffraction des Rayons X (DRX)	37
II.4.2. Identification des groupements fonctionnels existant dans les échantillons avec la Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF)	39
II.4.3. Détermination de la composition chimique par la fluorescence.....	41
II.4.4. Teneurs en métaux lourds.....	41
II.4.4.1. Extraction totale ou/ minéralisation (Test de lixiviation TCLP).....	42
II.4.4.2. Analyse des anions	43
II.4.4.3. Analyse des cations	45
CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	
III.1. INTRODUCTION.....	48
III.2. Composition chimique	48
III.3. Composition minéralogique.....	49
III.4. ANALYSE PAR LA SPECTROPHOTOMETRIE INFRAROUGE (IR)	52
III.5. COMPOSITION CHIMIQUE ELEMENTAIRE - TEST TCLP.....	56
III.6. Résultats d'analyses des eaux de puit et de lac par la Spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAAF)	60
CONCLUSION GENERALE	62

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Permis tous les Pays, l'Algérie s'est résolument engagée, dès son indépendance, dans un processus d'industrialisation visant à faire sortir le pays, le plus tôt possible, du sous-développement et à le hisser au rang des nations industrialisées. [1] Le rythme accéléré du processus d'industrialisation en Algérie n'a pas permis de prendre en compte les aspects environnementaux des projets industriels. Faute d'études d'impact, la plupart des usines posent actuellement des problèmes graves. De nombreuses unités industrielles ont été ainsi implantées sur les terres les plus fertiles du pays, dans des zones vulnérables à la pollution ou aménagées sur des nappes d'eau souterraines très sensibles à la pollution. [1]

Le volume de sous-produits générés par ce secteur industriel tels que : le ciment, l'énergie, la métallurgie, et toute autre exploitation minière ou industries lourde est en augmentation. La croissance des sous-produits est inévitable à moins que de nouvelles options d'utilisation, qui sont économiquement solides et favorables à l'environnement, soient développées pour L'application [3]. L'industrie cimentière a un nombre limité de sous-produits qui résultent du processus de fabrication. Le sous-produit le plus volumineux généré est les poussières de four de cimenterie [4].

La poussière de four à ciment (CKD) est un matériau de granulométrie fin produit en parallèle avec de la production du ciment. Les CKD se composent souvent des particules de clinker, des composés partiellement calcinés , qui peuvent être élevées dans le contenu de chaux. Ces substances particulières sont capturées par les gaz d'échappement et rassemblées dans des dispositifs de commande de particules tels que les cyclones, les séparateurs électrostatiques [2].

La poussière de four à ciment est employée souvent comme le terme générique pour la poussière créée dans le four et du processus de fabrication de ciment. Les fours humides produisent plus de poussières (CKD) que les fours secs. Dans certains cas, la totalité de poussière rassemblée par les dispositifs de commande de particules est réutilisée dans le processus de fabrication du ciment. Approximativement 64% de (CKD) produit est réutilisée. La poussière qui n'est pas réutilisée dans le processus est due à l'accumulation des alcalis et des métaux lourds qui dépassent des tolérances chimiques de produits finis, ou simplement parce qu'il y a un manque de mécanisation pour renvoyer la poussière dans le processus. Les (CKD) qui ne sont pas retournées au système sont placées en remblais sur site, ou de préférence, peut être vendu pour toute utilisation utile [5], à savoir la stabilisation des

trottoirs, traitement des eaux usées et résiduaires, remédiation de rebut et la couverture municipale de remblai [2].

Au cours de ces dernières années, l'évaluation de la pollution atmosphérique et précisément le domaine de la pollution par les poussières est considérée comme une véritable révolution ayant un impact direct sur les êtres humains. Il y a longtemps que la présence dans l'atmosphère de fumées, de cendres, de gaz sulfureux est reconnue coûteuse et dangereuse. A l'heure actuelle, la convention est acquise que la pollution de l'air présente plus que de légers inconvénients et qu'elle peut mettre en danger la santé humaine. Il s'est avéré que certains épisodes de pollution graves ont accru la létalité et des recherches entreprises séparément ont poussé à penser qu'il peut exister un rapport entre l'exposition plus ou moins régulière à une atmosphère polluée et l'apparition de maladies telles que : La bronchite aigue et le cancer primitif du poumon. [10]

Il est à noter que les activités humaines exercent sur l'environnement diverses formes de pollution qui peuvent conduire à des effets nuisibles sur la faune, la flore et la santé des êtres humains. Tous les compartiments de l'environnement sont affectés l'air, l'eau et les sols.

De la même manière, le problème des pollutions d'origine industrielle se pose au regard des conséquences sociales, écologiques et économiques du changement climatique, des impacts sanitaires de la dégradation de l'environnement (eau, air, alimentation, etc.) ou encore des nuisances quotidiennes subies par les populations riveraines (bruits, odeurs, etc.). [10]

L'objectif de ce travail est l'évaluation d'impacts de la cimenterie de (Lafarje) à Msila résultant des poussières de four de cimenterie (CKD).

Ce mémoire est subdivisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre concerne les techniques et procédés de fabrication du ciment, et les différentes nuisances et types de polluants engendrés par sa production ainsi que les poussières du four à ciment(CKD),et leurs compositions chimiques et minéralurgiques ensuite les impacts des CKD sur l'environnement.
- Le deuxième chapitre, présente les méthodes et les protocoles expérimentaux utilisés pour la caractérisation des poussières du four de cimenterie par différentes méthodes d'analyses.
- le troisième chapitre est consacré aux résultats et leurs discussions.
- Enfin on termine ce mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE I
APERÇU GENERAL
SUR LES CIMENTS

CHAPITRE I

APERÇU GENERAL SUR LES CIMENTS

I.1. INTRODUCTION

Le ciment est le matériau de base répondant à une utilisation homogène entrant dans les activités de réalisation et de construction de bâtiments et d'ouvrages de génie civil. Un matériau fondamental dans la construction mais dont la fabrication génère des émissions polluantes et nuisibles, si celles-ci se développent à proximité d'agglomérations habitables. De cette manière, elle constitue un risque urbain par la pollution qu'elle cause aussi bien pour la population que pour l'environnement. Cependant le processus de fabrication du ciment engendre des incidences environnementales comme les émissions de gaz (CO_2 , NO_2 , SO_2) mais surtout les émissions de poussières à tous les niveaux de la production. [6]

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

I.2. FABRICATION DU CIMENT : TECHNIQUES ET PROCEDES

La production du ciment dans l'Union Européenne (UE) est environ 10,5 % de la production mondiale. En 2008, on dénombrait dans l'UE 268 installations produisant du clinker et du ciment fini, regroupant 377 fours au total. On recensait également 90 usines de broyage (broyeurs à ciment) et deux installations de production de clinker sans broyeur. En règle générale, les fours ont une capacité d'environ 3000 tonnes de clinker/jour. [7]

La production du ciment en Algérie est d'environ 15,5 millions de tonnes/an. Le pays compte 13 installations de cimenterie, 12 publiques et 1 privée, réparties à travers le nord du territoire. [6]

La réaction chimique de base de la fabrication du ciment commence avec la décomposition du carbonate de calcium (CaCO_3) en oxyde de calcium (CaO) accompagnée d'un dégagement de gaz carbonique (CO_2), à environ 900°C . Ce procédé appelé calcination est suivi de la cuisson du clinker, ou clinkérisation, pendant laquelle l'oxyde de calcium réagit à une haute température (en général entre 1400 et 1500°C) avec la silice, l'alumine et l'oxyde ferreux pour former des silico-aluminates de calcium composant le clinker. Celui-ci est ensuite broyé et mélangé avec le gypse et à d'autres constituants ce qui permet d'obtenir le ciment. Le carbonate de calcium est extrait de

formations naturelles de roches calcaires, de marne ou de craie. La silice, l'oxyde de fer et l'alumine se trouvent dans divers minerais et minéraux. [7]

La cuisson du clinker est réalisée dans un four rotatif qui peut faire partie d'un système du type four long à voie sèche ou à voie humide, du type four avec préchauffeur à grille (LEPOL) à voie semi-sèche ou à voie semi-humide. On a alors, quatre grands procédés de fabrication du ciment : la voie sèche, semi-sèche, semi-humide et humide.

□ Dans la voie sèche, la matière première broyée et séchée passera d'abord dans un préchauffeur à cyclone avec ou sans précalcinateur, puis dans un four tubulaire de 80 m. C'est le procédé le plus récent et le plus répandu car il est moins énergivores, mais il nécessite la mise en œuvre de moyens importants de captation des poussières (électrofiltres, filtres cyclones et multicyclones, dépoussiéreurs électrostatiques...).

□ Dans la voie semi-sèche, la poudre est agglomérée sous forme de boulettes de 10 à 20 mm de diamètre par ajout de 12 à 14 % d'eau, séchée et préchauffée dans une chambre 'Grille LEPOL' puis dans le four.

□ Dans la voie humide, La farine crue est transformée en pâte liquide par ajout d'eau puis broyage et malaxage avant d'être introduite directement dans un four qui sera alors plus long.

□ Dans la voie semi-humide, la pâte est d'abord débarrassée de son eau dans des filtres presses. Le gâteau de filtre-pressé est ensuite extrudé sous forme de granules et introduit dans un préchauffeur à grilles ou directement dans un sécheur pour la fabrication du cru. [8]

Les opérations suivantes sont communes à tous les procédés comme illustré en figure I.1.

- Stockage et préparation des matières premières ;
- Stockage et préparation des combustibles ;
- Utilisation de déchets en tant que matières premières ou combustibles, ou le deux, exigences de qualité, de contrôle et de préparation ;
- Les fours, les procédés de chauffe du four et les techniques de réduction des émissions ;
- Stockage et préparation des produits ;
- Conditionnement et expédition. [7]

I.2.1. Extraction des matières premières

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

matières premières (pierres calcaires, marnes crayeuses et schistes argileux ou argiles) sont extraites dans des carrières généralement proches de l'usine. Après un concassage primaire, les

matières premières sont transportées vers l'usine où elles sont stockées et préparées. D'autres matériaux tels que la bauxite, le minerai de fer, le laitier de haut fourneau ou le sable de fonderie sont approvisionnés par d'autres sources. [7]

I.2.2. Stockage et préparation des matières premières

I.2.2.1. Stockage

L'utilisation de halls de stockage dépend des conditions climatiques et de la quantité de matière fine (farine ou cru) produite par l'installation de concassage. Pour une usine d'une capacité de production de 3000 tonnes/jour, ces bâtiments peuvent contenir de 20000 à 40000 tonnes de matériaux. Toutes les matières premières potentiellement nocives pour la santé des personnes ou l'environnement doivent être stockées et préparées dans les conditions particulières appropriées. [7]

I.2.2.2. Broyage

Les matières premières, dans des proportions soigneusement contrôlées, sont broyées et homogénéisées de façon à former un mélange de composition chimique requise. Dans la voie sèche et semi-sèche, elles sont broyées en poudre fine et séchées principalement à l'aide des gaz chauds du four et/ou de l'air d'exhaure du refroidisseur. Un four auxiliaire peut être nécessaire pour fournir le complément de chaleur nécessaire si les matières premières contiennent une forte proportion d'humidité et pour le démarrage du four. Le broyage humide est réservé aux matières premières préparées en voie humide ou semi-humide. Leurs composants sont broyés avec de l'eau pour former une pâte. Pour obtenir le degré de finesse requis et satisfaire aux critères de qualité actuels, les industriels privilégient l'utilisation d'installations de broyage en circuit fermé. [7]

La figure I.1 présente une Vue d'ensemble d'un procédé de fabrication de ciment par voie sèche.

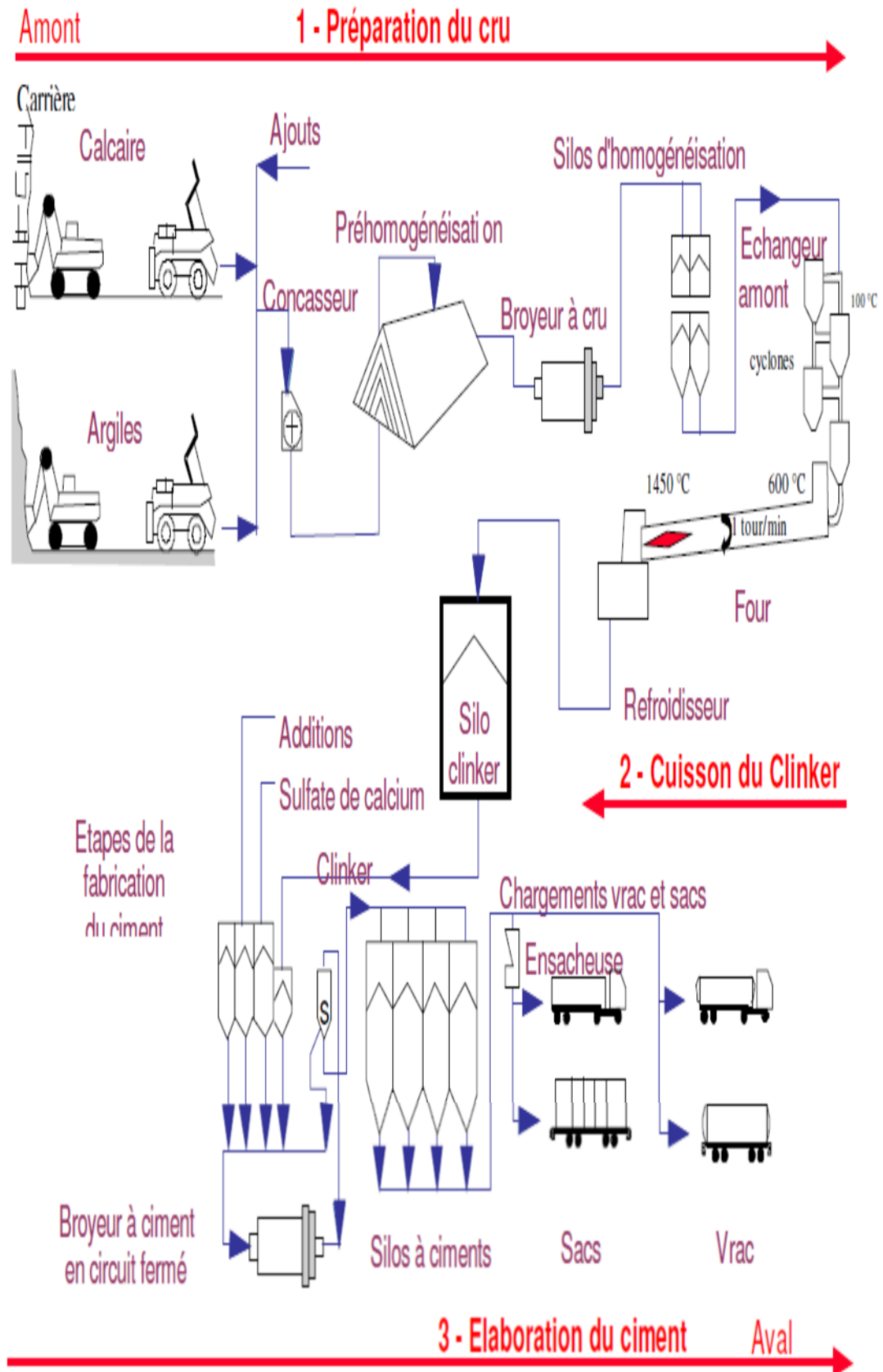


Figure I.1. Vue d'ensemble d'un procédé de fabrication de ciment par voie sèche d'après(fiches techniques, 2006) [9]

I.2.2.3. Homogénéisation

En sortant du broyeur, le cru ou la pâte doivent être malaxés et homogénéisés une nouvelle fois pour que le mélange acquière sa rhéologie optimale avant introduction dans les différents types de four. Le cru est homogénéisé et stocké dans des silos, la pâte dans des cuves ou dans des silos. [7]

I.2.3. Stockage et préparation des combustibles

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

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

Les cendres produites par la combustion de ces produits sont majoritairement formées de silice et d'alumine, et peuvent également contenir des traces de métaux, qui se combinent avec les matières premières et deviennent partie intégrante du clinker. [7]

I.2.3.1. Utilisation des déchets

En Europe, l'industrie du ciment utilise une quantité importante de combustibles dérivés de déchets qui peuvent, dans certaines usines, remplacer les combustibles fossiles jusqu'à hauteur de 80 %. Ainsi, l'industrie du ciment peut apporter sa contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la diminution de la consommation des ressources naturelles. Il est possible de remplacer les combustibles conventionnels par des déchets combustibles, c'est-à-dire issus de fractions de déchets prétraités et triés, y compris par des combustibles solides et liquides valorisés ou de la biomasse, ou les deux. De nombreux types de déchets différents sont utilisés en tant que combustibles, y compris les cendres résiduelles qu'ils se présentent sous forme solide, liquide ou pâteuse, les déchets sont définis par leur origine, par exemple industrielle, agricole et urbaine. La qualité constante des déchets utilisés comme matières premières ou combustibles, ou les deux, dans les fours à ciment est essentielle. Etant donné qu'ils sont entièrement absorbés par le clinker, ils doivent atteindre différents niveaux de qualité et il convient également de réduire au minimum leurs effets négatifs en matière d'émissions atmosphériques. [7]

I.2.4. Cuisson du clinker [7]

Il s'agit de l'opération la plus importante du procédé de fabrication en termes de potentiel d'émissions, de qualité et de coût du produit. Le cru (ou la pâte pour la voie humide) est introduit dans le four où il est séché, décarbonaté et clinkérisé pour donner le clinker, lequel est refroidi par de l'air avant d'être stocké. Pendant la cuisson du clinker, de hautes températures sont requises pour transformer le cru en clinker. La température de la charge du four dans la zone de clinkérisation des fours rotatifs doit impérativement être maintenue entre 1400 et 1500 °C et celle de la flamme à 2000 °C environ. Le clinker doit également cuire en milieu oxydant ; c'est pourquoi un excès d'air est requis dans la zone de clinkérisation d'un four à ciment. Dans tous les fours, les gaz résiduels traversent un équipement de réduction de la pollution de l'air (filtre électrostatique ou filtre à manches) avant d'être envoyés vers la cheminée principale. Dans la voie sèche, la température des gaz peut être relativement haute et cette chaleur peut être réutilisée dans le broyeur à cru quand il est en marche (fonctionnement compound). Quand il est arrêté (fonctionnement direct), les gaz passent en général dans une tour de conditionnement où ils sont refroidis par un brouillard d'eau avant de passer dans le collecteur de poussières, à la fois pour réduire leur volume et pour améliorer leur aptitude à la séparation.

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

Le refroidisseur à clinker fait partie intégrante du four et a une influence déterminante sur les performances et l'économie de l'installation de préparation à hautes températures. Sa fonction est double : valoriser le maximum de chaleur dans le clinker chaud (1450 °C) pour le recycler dans le procédé et abaisser la température du clinker à un niveau compatible avec le bon fonctionnement des équipements aval.

I.2.5. Broyage et stockage du ciment

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

Le ciment Portland est obtenu par broyage et mélange de clinker et de sulfates comme le gypse et l'anhydrite. Les ciments composés contiennent d'autres constituants comme du laitier granulé de haut fourneau, des cendres volantes, des pouzzolanes naturelles ou artificielles, des calcaires ou des fillers inertes. Ces constituants sont broyés avec le clinker ou doivent être séchés et broyés séparément (les stations de broyage peuvent être implantées ailleurs que sur le site de production du clinker).

Le type de ciment à fabriquer détermine le choix du procédé et celui de l'installation de broyage. L'aptitude au broyage, l'humidité et le comportement à l'abrasion des constituants du type de ciment fabriqué sont tous particulièrement importants. Les différents types de ciments sont stockés dans des silos différents, mais il faut souvent plusieurs silos pour stocker un type donné de ciment. Cependant grâce aux nouvelles conceptions, il devient possible de stocker des ciments différents dans un même silo. [7]

I.2.6. Conditionnement et expédition

Le ciment est chargé directement en vrac dans des camions citernes, des péniches ou des wagons ou envoyé dans un atelier d'ensachage. [7]

I.3. EMISSIONS ATMOSPHERIQUES

La fabrication du ciment est à l'origine de rejets de polluants dans l'air et d'émissionssonores. Chacune de ces opérations engendre des pollutions directes ou indirectes affectant les éléments de la nature. La cuisson du clinker est l'étape qui contribue le plus aux problèmes environnementaux associés à la fabrication du ciment, à savoir la consommation d'énergie et les émissions dans l'air. En fonction des procédés de production mis en oeuvre, les cimenteries rejettent des émissions dans l'air et produisent des déchets. Dans de rares cas, des rejets dans l'eau sont possibles. Peuvent s'y ajouter des nuisances sonores et olfactives. Les principales substances polluantes émises dans l'atmosphère sont des poussières, des oxydes d'azote et d'oxyde de soufre. S'y ajoutent des émissions d'oxydes de carbone, de dibenzo-p-dioxines et de dibenzo-furannes polychlorés, de carbone organique total, de métaux, de chlorure d'hydrogène et de fluorure d'hydrogène.

Le type et le volume des polluants atmosphériques dépendent de plusieurs paramètres, notamment des intrants (matières premières et combustibles utilisés) ainsi que du type de procédé mis en oeuvre. [10]

D'après Stenger; [11] ces pollutions ne sont pas uniquement une agression contre l'environnement, mais peuvent être une source de gênes pour les riverains tout en

constituant des sources de conflits potentielles. Cependant, cette panoplie de nuisances exige une étroite surveillance du fonctionnement des ateliers et la mise en oeuvre de moyens capables de réduire les inconvénients, ainsi qu'une maintenance accomplie correctement. Il faut aussi remarquer que si la maîtrise des pollutions est assurée dans l'usine, le personnel employé travaillera dans de meilleures conditions, les qualités du produit et de la vie seront meilleures et l'environnement mieux respecté.

I.3 .1. les poussières du four a ciment

Plusieurs cas d'endommagement de structures en béton sont attribués a des réactions alcalis-granulats [12]. Ces réactions se produisent entre la solution interstitielle de la pâte, fortement basique ($H > 13$) et alcaline (NaOH, KOH), et des phases minérales contenant de la silice amorphe contenue dans les granulats. Par conséquent, la teneur en alcalins dans le ciment est contrôlée et fortement limitée à des valeurs estimées sans incidence sur la pérennité des ouvrages d'art.

En effet, les teneurs admissibles en alcalis ne doivent pas dépasser les 0,6 % dans le ciment pour que ce dernier puisse se qualifier comme ciment à faible teneur en alcalis. Cette valeur limite est sujette aux exigences des utilisateurs et ce, en fonction des conditions climatiques. IL est clair que les teneurs résiduelles en ces phases dépendent étroitement de leurs concentrations dans les phases nominales contenues dans le cru.

Avec l'augmentation de la production de ciment et l'épuisement des carrières à faible teneur en alcalis, les cimenteries ont été amenées à produire des poussières de four de cimenterie riches en alcalis connues sous la dénomination de Cernent KiIn Dust (CKD). Ces éléments doivent être éliminés ou tout au moins neutralisés avant de procéder a l'entreposage.

Ces poussières de four ont la particularité d'être riches en sulfates, en sodium et/ou en potassium, en chlorures, et parfois en anhydrite. En effet, sur le plan technique, leur production résulte de l'appauvrissement du ciment produit en certain de ces éléments.

I.3.1.1. production des poussières de four de cimenterie

Deux types de rejets sont habituellement générés lors de la fabrication du ciment : les poussières de four de cimenterie et les rejets gazeux. Les poussières se divisent en deux catégories : d'abord les émissions locales issues de l'exploitation des carrières, du transport, du stockage, et de l'expédition du ciment. En général, ces dernières n'affectent

quel'environnement interne de l'usine. La deuxième catégorie concerne les poussières émises par les gaz d'échappement des cheminées provenant du four et des broyeurs.

En outre, la production des CKD peut entraîner une diminution voire éliminer les métaux toxiques tels que les métaux lourds du ciment. Cette réduction est assurée essentiellement par le cycle des volatils dans le four lors de la fabrication du ciment.

En effet, l'alimentation du four en matières premières et en combustible, génère habituellement des composés mineurs volatils, essentiellement des composés de potassium, de sodium, de soufre, et de chlore [13]. Ces produits à l'état vapeur dans les zones les plus chaudes du four se condensent dans les zones les plus froides [14] en fonction de la durée et des conditions de cuisson, ainsi que des espèces chimiques présentes.

Ce phénomène de cycle des volatils se développe seulement dans une partie bien délimitée du four. Les vapeurs en se condensant sur les particules de poussières vont soit, être entraînées par le flux gazeux en dehors du four (Cycle ouvert), soit ramenées vers les zones chaudes où elles se transforment en vapeur (Cycle fermé) (Fig. I.2).

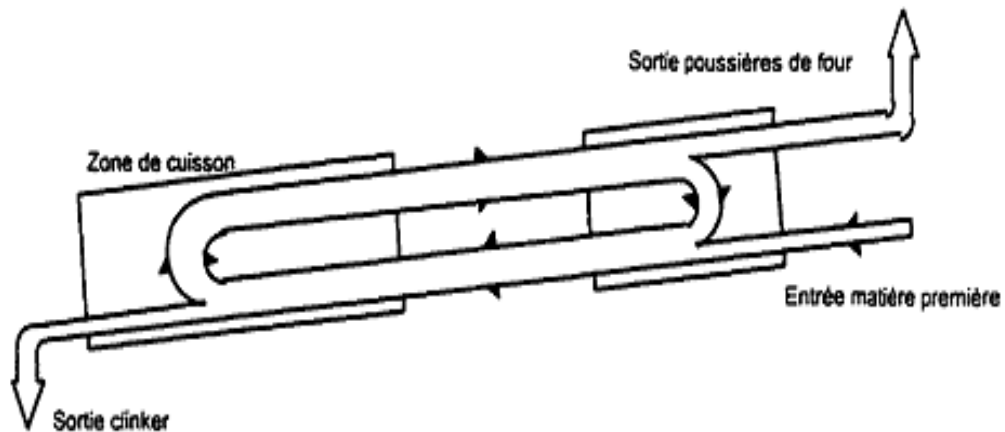


Figure I.2 .Schéma du cycle des matières volatiles dans le four [13]

La figure I.3 représente Schéma de circuit gaz/ matière (four voie sèche)

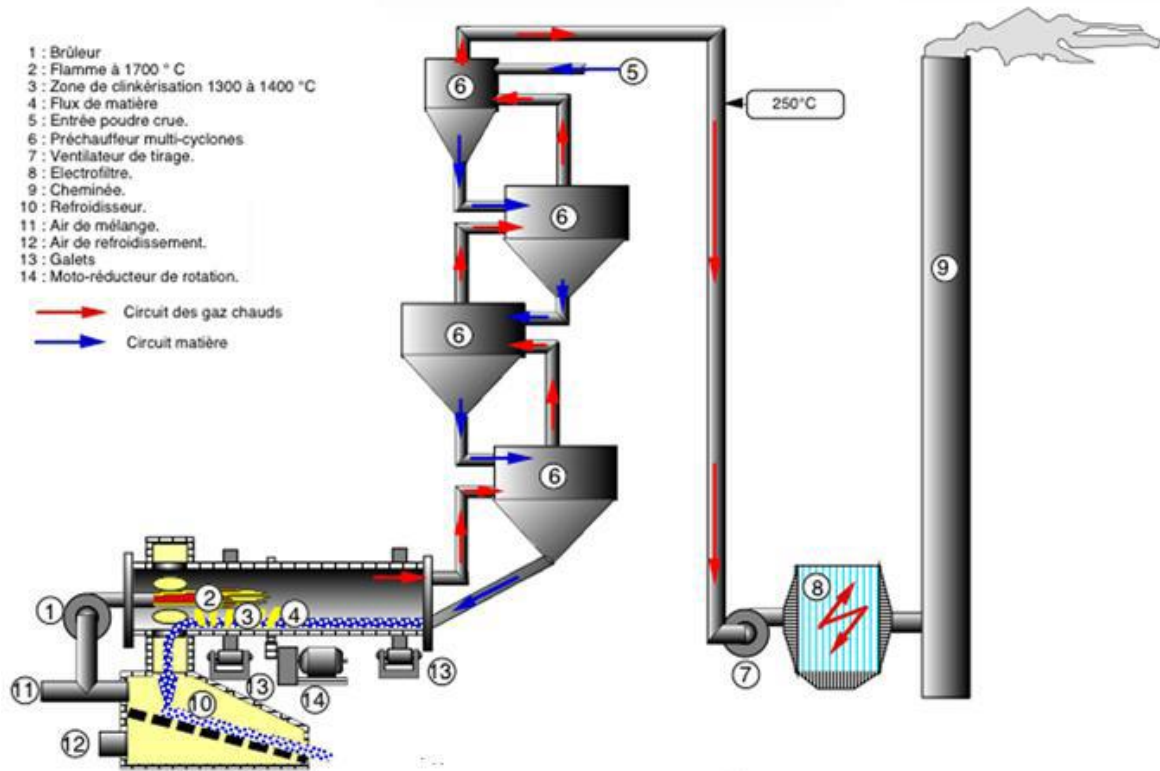


Figure I.3 . Schéma de circuit gaz/ matière (four voie sèche)

La présence de ces composés volatils, même en faible quantité, modifie le déroulement des réactions à l'intérieur du four et, par conséquent, influence la minéralogie des phases du clinker. A titre d'exemple, les alcalis et le soufre modifient la viscosité de la phase interstitielle se formant lors de la cuisson et, par la suite, les processus de germination et de croissance cristalline en favorisant l'un des processus mis en jeu par rapport aux autres [15]. Les teneurs résiduelles en ces phases dépendent étroitement de leurs concentrations dans les phases nominales contenues dans le cru. En fait, la production du ciment à partir des matières premières et des combustibles à faibles teneurs en alcalins, en chlorures, et en sulfates, ne produit aucune poussière. Dans ce cas, le four fonctionne avec un "Alkly by pass system " ferme de toutes les poussières sont recyclées et réintroduites dans le four à ciment, selon la nécessité, de façon continue ou discontinue.

Les opérations de dépoussiérage menées à tous les stades de la fabrication du ciment, grâce aux cyclones, aux dépoussiéreurs, et aux électrofiltres, permettent une réduction significative des rejets de poussières allant jusqu'à moins de 100 mg/m³. Actuellement, toutes les cimenteries Algérienne n'émettent plus que des gaz atmosphériques, constitués essentiellement de gaz carbonique et de vapeur d'eau. L'émission des NO, et du SOI dans l'atmosphère reste un sujet d'actualité vis-à-vis des teneurs environnementalement admissibles et surtout des problèmes de pollution atmosphériques causés.

I.3.1.2. composition chimique des CKD

À partir de 103 spécimens récoltés par le "LIS Bureau of Mines" en 1980, une analyse chimique moyenne des CKD a été réalisée ; les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau I.1 [16]

Tableau I.1 . Analyse Chimique Des CKD Étudiées par le bureau [16]

Composé	Pourcentage en masse(%)
CaCO ₃	55.5
SiO ₂	13.6
CaO	8.1
K ₂ SO ₄	5.9
AL ₂ O ₃	4.5
Fe ₂ O ₃	2.1
KCL	4.1
MgO	1.3

Les fluorures, les nitrates, les phosphates et les sulfates sont les principaux sels présents dans les CKD. En ce qui concerne les cations : le calcium, le silicium, le potassium, le fer et l'aluminium constituent les cations majeurs.

I.3.1.3. composition minéralogique des CKD en général

L'ensemble des études mené jusqu'a maintenant sur les poussières de four de cimenterie montre que la composition minéralogique se présente en général comme suit:

- 94% des échantillons présentent la calcite comme constituant majeur;
- la chaux et l'anhydrite sont les phases minérales principales après la calcite ;
- l'existence de silice en faibles quantités dans presque tous les échantillons ;

En outre, d'autres phases telles que l'arcanite et l'alite sont susceptibles de se retrouver à côté de ces composés.

I.3.1.4. variabilités chimiques et minéralogiques des CKD

Le domaine de variation de la composition chimique des CKD est présenté dans le tableau I.2

Tableau I.2 . Intervalle De La Variation Chimique Des CKD de la cimenterai Lafarje
[17]

Eléments	Pourcentage		
	Faible	Moyen	Elevé
SiO ₂	6.0	16.5	28.5
AL ₂ O ₃	3.2	4.4	9.6
Fe ₂ O ₃	0.8	2.7	5.9
MgO	0.8	2.3	4.8
SO ₃	0.7	7.1	26.3
Na ₂ O	0.08	0.8	3.2
K ₂ O	1.08	5.5	26.2
Perte de feu	2.5	16.0	32.0

En somme, dans la majorité des cas, la composition chimique des CKD se distingue par des teneurs élevées en alcalins (sodium et potassium), en chlorures, et en sulfates. Cependant, cette composition varie d'une usine à une autre, et au sein même d'une cimenterie selon les spécifications désirées pour les produits finaux.

La variabilité chimique des CKD trouve son origine, essentiellement, dans la fluctuation des paramètres suivants :

- la nature des matières premières, c'est à dire la qualité minéralogique des carrières ;
- les conditions régnant dans le four (température et nature des composés volatils) ;
- la conception du four (long ou court).

En 1985, BHATTY a établi à partir de ces trois éléments, une classification des CKD:

- type S : CKD pauvres en alcalis et en chlorures avec une teneur modérée en sulfates.
- type H : contrairement au type S, ces poussières sont plus riches en sulfates ;
- type L : ces derniers sont pauvres en sulfates.

Malgré cette classification sommaire des CKD, leur variabilité reste l'un des problèmes majeurs dans la formulation d'ajouts minéraux nécessaires à leur stabilisation puisque aucun traitement général ne peut couvrir tous les cas d'espèces. Par contre, l'évaluation de la faisabilité technique par des essais pratiques en laboratoire constitue la solution la plus fiable pour juger de l'efficacité d'un procédé.

La figure I.4. représente Variabilité chimique des poussières *de four*

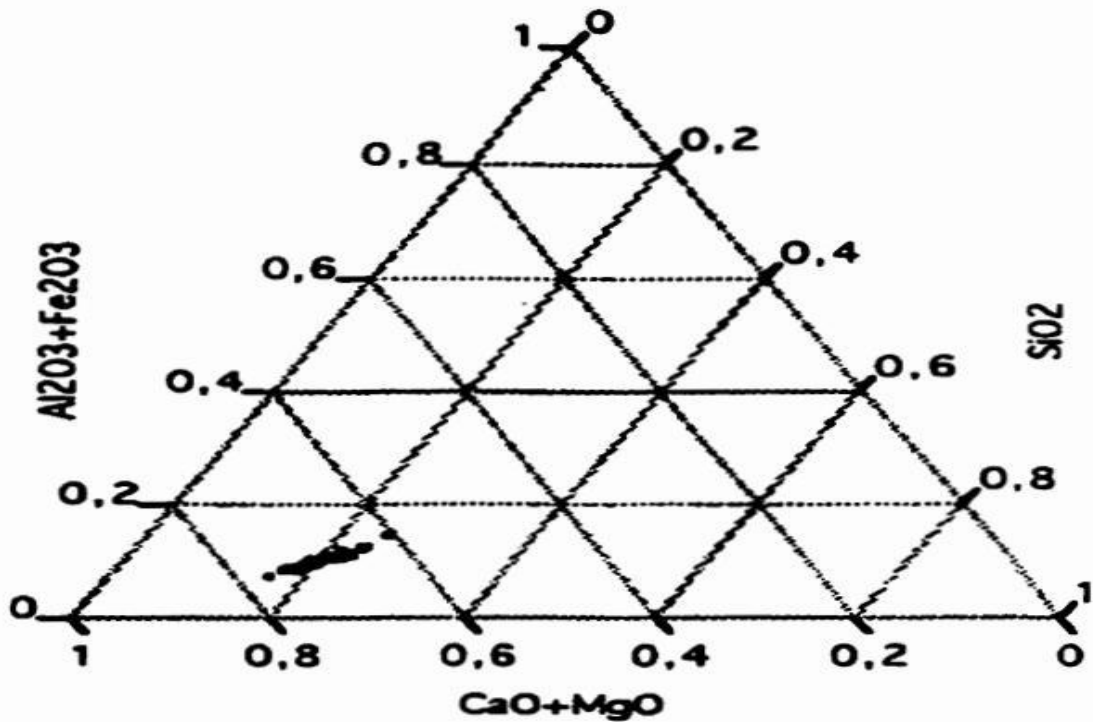


Figure I.4. Variabilité chimique des poussières de four [18]

Par ailleurs, l'analyse d'une cinquantaine de poussières provenant de différentes cimenteries, manifeste une variabilité plus prononcée de la composition chimique. Ainsi, la silice présente des teneurs comprises entre 15 et 30 % tandis que les aluminates associés à l'oxyde ferrique varient de 1 à 12 %. Les oxydes de calcium et de magnésium se caractérisent par une fourchette allant de 65 à 78 %.(cimenterai de Lafarje).

Il apparaît que la variation de la composition chimique, dans le temps et dans une même usine, est conditionnée surtout par les teneurs en chaux et en sulfates. Cette variabilité est due surtout aux conditions qui règnent dans le four et à la variabilité intrinsèque des matières premières.

Par contre, en passant d'une usine à une autre, la majorité des éléments subit une variation dans certains cas très prononcée. Cette particularité est en relation avec la nature minéralogique des roches des carrières utilisées et les procédés de fabrication du ciment qui peuvent être parfois différents. Dans cette configuration, les sulfates et les alcalins sont principalement les paramètres les plus touchés.

La figure I.5 . représente la Variabilité chimique des poussières de four de la cimenterai

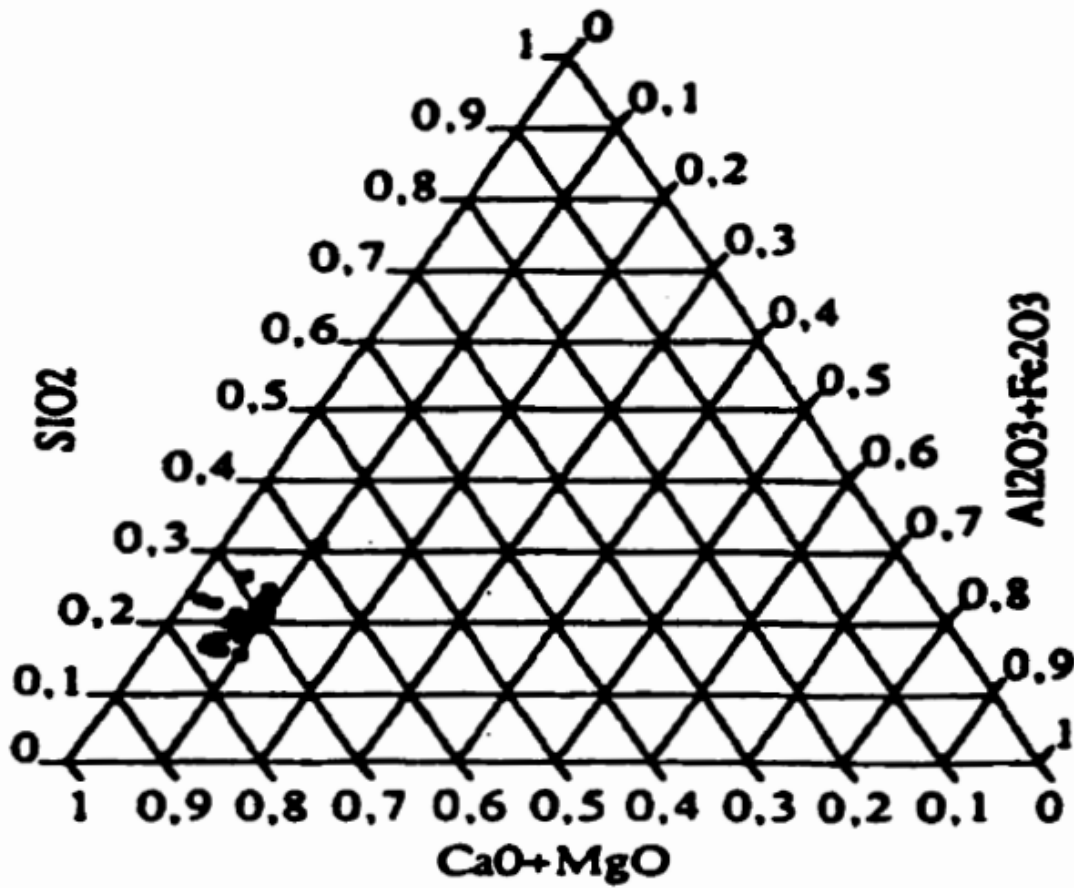


Figure I.5 . Variabilité chimique des poussières de four de cimenterai de lafarje

I.3.2. Types de polluants rejetés

I.3.2.1. Origine et transformation[10-20]

Les principales émissions de la fabrication du ciment sont les émissions atmosphériques des fours. Elles sont dues aux réactions physico-chimiques des matières premières et à la combustion des matériaux utilisés pour chauffer les fours. Les principaux constituants des gaz résiduels d'un four à ciment sont l'azote (issu de l'air comburant), le CO_2 (produit par la calcination du CaCO_3 et par la combustion), la vapeur d'eau (produite par la combustion et les matières premières) et l'excès d'oxygène. Dans tous les procédés, les matières solides progressent à contre-courant des gaz chauds de combustion. Cette circulation à contre-courant a un effet positif sur les émissions de polluants, car elle agit comme un lit fluidisé circulant intégré. De nombreux produits gazeux issus de la combustion ou de la transformation des matières premières en clinker sont absorbés par le flux de matières premières circulant à contre-courant ou se condensent. Ce pouvoir d'absorption des matières premières varie avec leur état physico-chimique qui lui-même dépend de leur position dans le four. Par exemple, la matière qui sort de l'étage de calcination contient

beaucoup d'oxyde de calcium, ce qui lui donne une grande capacité d'adsorption de certains acides, comme le HCl, l'HF et le SO₂. Il existe également des émissions de poussières canalisées provenant d'autres sources, comme les opérations de broyage et de manutention (matières premières, combustible solide et produit).

Tous les stocks extérieurs de matières premières et de combustibles solides ainsi que tous les systèmes de transport des matériaux, y compris ceux servant à charger le ciment, constituent un risque potentiel d'émissions de poussières qui peuvent être importantes si elles ne sont pas prises en compte correctement du point de vue technique; des problèmes de nuisance peuvent apparaître localement si elles ne sont pas réduites et maintenues à un niveau bas.

A. Composés gazeux

Les polluants contenus dans les gaz de combustion dépendent de la nature du combustible utilisé (charbon, fuel ou gaz naturel) et de la composition du minerai (qui peut contenir également du soufre). Les principaux polluants gazeux dans l'industrie du ciment sont le SO₂, les NO₂, le CO, et le CO₂. [19]

B. Dioxyde de soufre (SO₂) [10,19]

Les émissions de SO₂ des cimenteries dépendent de l'apport total de composés soufrés et du type de procédé utilisé; elles sont principalement déterminées par la quantité de soufre volatil présent dans les matières premières et éventuellement par les combustibles. La production et les émissions potentielles de SO₂ dépendent également de la circulation du soufre à l'intérieur du four. Dans le four, le soufre provient de différentes sources, comme le SO₂ des gaz résiduels, le CaSO₄ et d'autres composés combinés dans le clinker et les poussières.

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

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

La zone de décarbonatation d'un four rotatif apporte les conditions idéales pour capturer le SO_2 des gaz qui s'échappent du four. Cependant, lorsque les conditions de conduite du four, par exemple la concentration en oxygène à l'intérieur du four rotatif, n'ont pas été optimisées pour capturer le SO_2 , des émissions peuvent se produire. De surcroît, divers facteurs peuvent influencer l'efficacité de la réaction, comme la température, la teneur en humidité, le temps de séjour, la concentration d'oxydes en phase gazeuse, la disponibilité d'une surface solide, etc. Il faut s'attendre avec des matières premières contenant du soufre organique à des émissions de SO_2 élevées, notamment lorsque du soufre présent dans la matière première se trouve sous une forme facilement oxydable, (pyrite ou marcassite). Contrairement aux composants sulfatés des matières premières, ces composés facilement oxydables peuvent être transformés en SO_2 dès les étages cycloniques supérieurs. Dans ces conditions, les émissions de SO_2 liées aux matières premières peuvent atteindre 1,2 g/Nm³, voir plus dans certains cas si aucune mesure/technique secondaire de lutte contre les émissions ne sont prévues.

Cependant, quand les matières premières ne contiennent que peu ou pas de soufre volatil, les émissions de SO_2 des fours ne posent que peu ou pas de problème et la concentration en SO_2 des gaz résiduels de certains fours est inférieure à 10 mg/m³ sans utilisation de techniques de réduction ; elle augmente avec la teneur en soufre volatil des matières premières utilisées. L'utilisation de mesures/techniques de lutte contre les émissions secondaires, comme l'utilisation de chaux hydratée, permet de réduire considérablement les émissions de SO_2 . Les ordres de grandeur des teneurs en soufre dans les combustibles sont les suivants :

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

Une fois rejeté, le SO₂ s'oxyde en SO₃ dans l'atmosphère. En présence d'humidité, de fines gouttelettes d'acide sulfurique et des sulfates peuvent être formés :



Le SO₂ est également responsable du phénomène de « smog acide », mélange de SO₂ et de particules dont l'impact sur la santé est très connu. L'utilisation de mesures/techniques de lutte contre les émissions secondaires, comme l'utilisation de chaux hydratée, permet de réduire considérablement les émissions de SO₂.

Cependant, vu que la plupart des cimenteries du pays fonctionnent au gaz naturel, les émissions de SO₂ sont considérablement réduites.

C. Oxydes d'azote (NO+NO₂ =NO_x)

La cuisson du clinker est un procédé à haute température qui entraîne la formation d'oxydes d'azote (NO₂). Ces oxydes jouent un rôle très important dans la pollution de l'air par les cimenteries. Ils se forment au cours de la cuisson par la combinaison soit de l'azote du combustible et de l'oxygène dans la flamme soit de l'azote atmosphérique et l'oxygène de l'air comburant. Les émissions de NO₂ varient en fonction du procédé de cuisson utilisé. Outre la température et la teneur en oxygène (facteur d'excès d'air) la formation des NO₂ peut être influencée par la forme et la température de la flamme, par la configuration de la chambre de combustion, la réactivité et la teneur en azote du combustible, la présence d'humidité, la durée de la réaction et la conception des brûleurs. Les oxydes d'azote sont produits au niveau du four pendant la combustion. Leur formation est favorisée par un excès d'oxygène mais surtout par la température de la flamme qui conduit à une dissociation des molécules d'azote et d'oxygène. Le NO obtenu peut s'oxyder dans l'atmosphère pour former en présence d'humidité de fines gouttelettes d'acide nitrique. On aura alors:



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

- La combustion principale peut émettre moins de NOx si les déchets combustibles contiennent de l'eau ou consomment plus d'oxygène (impact sur la température de la flamme qui est abaissée). L'effet est comparable au refroidissement de la flamme.
- La combustion secondaire/du pré calcinateur peut émettre moins de NOx si des combustibles lourds créent une zone de réduction. [10]

D. Oxydes de carbone

E. Monoxyde de carbone (CO)

Ce sont les petites quantités de composants organiques apportés par les matières premières naturelles (restes d'organismes et de plantes incorporés dans la roche au fil de l'histoire géologique) qui sont généralement à l'origine des émissions de CO et du carbone organiquement lié pendant la cuisson du clinker. Pendant le préchauffage du cru introduit dans le four, ces composants subissent une transformation et s'oxydent pour former du CO et du CO₂. De petites quantités de gaz contenant des traces organiques, comme le carbone organique total, se forment également lors de ce procédé. Dans la cuisson du clinker, la teneur en CO et en gaz contenant des traces organiques dans le gaz épuré ne permet donc pas de tirer des conclusions sur les conditions de combustion. [10-20] Cependant, d'autres émissions de CO peuvent également provenir d'une mauvaise combustion et de conditions insatisfaisantes dans la zone de cuisson secondaire. Au niveau d'un four fonctionnant au gaz naturel, les émissions de CO sont très faibles quand la combustion est complète. [19]

F. Dioxyde de carbone (CO₂)

Selon les estimations, la fabrication d'une tonne de clinker gris entraîne des émissions de 900 à 1000 kg de CO₂, pour un besoin thermique spécifique de 3500 à 5000 Mj/tonne de clinker, ce qui dépend aussi du type de combustible utilisé. Comme le ciment est broyé avec des additions minérales, les émissions de CO₂ par tonne de ciment fabriquée sont réduites.

Environ 62 % des émissions de CO₂ sont issues de la décarbonatation et les 38 % restant issus de la combustion du combustible. Les émissions de CO₂ produites par la combustion du carbone du combustible sont directement proportionnelles au besoin de chaleur spécifique et au rapport entre la teneur en carbone du combustible et son pouvoir calorifique. Les émissions de CO₂ produit par la combustion ont progressivement été réduites ; cette diminution qui a atteint 30 % au cours des 25 dernières années est principalement due à l'adoption de procédés de cuisson utilisant l'énergie plus efficacement. L'industrie du ciment contribue d'une manière appréciable aux émissions mondiales de CO₂

(2,4%). Le CO₂ n'est pas officiellement un polluant du fait de la généralité de son émission lors de la combustion de tous les combustibles fossiles mais son augmentation dans l'atmosphère pose le problème actuel de l'effet de serre. Il fait également partie du cycle naturel du carbone (photosynthèse des plantes et production d'oxygène). [19]

I.3.3. Métaux lourds [10]

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

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

I. 3.3.1. Métaux qui sont ou qui ont des composés réfractaires ou non volatils

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

I. 3.3.2. Métaux qui sont ou qui ont des composés semi-volatils

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

A. Thallium (Tl) Métal qui est ou qui possède un composé volatil : dans les fours à échangeur thermique, les composés du thallium (par exemple, Tl Cl) se condensent entre

450 et 550 °C dans la zone supérieure du préchauffeur où ils peuvent s'accumuler (circulation interne).

B. Mercure (Hg)

Métal qui est ou qui possède un composé volatil. La plupart du mercure et des composés du mercure traversent le four et le préchauffeur. Ils ne sont adsorbés que partiellement par la poussière du gaz brut en fonction de la température des effluents gazeux.

La précipitation du mercure, et donc sa suppression, augmente lorsque la température des gaz résiduels diminue. Les composés de mercure sont alors entièrement supprimés du collecteur de poussières du four. Grâce à la haute efficacité du collecteur de poussières, les concentrations en mercure du gaz épuré des fours rotatifs sont souvent inférieures à la limite de détection.

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

La figure I.6. représente le Parcours des métaux dans les fours à ciment équipés de préchauffeurs en voie sèche .

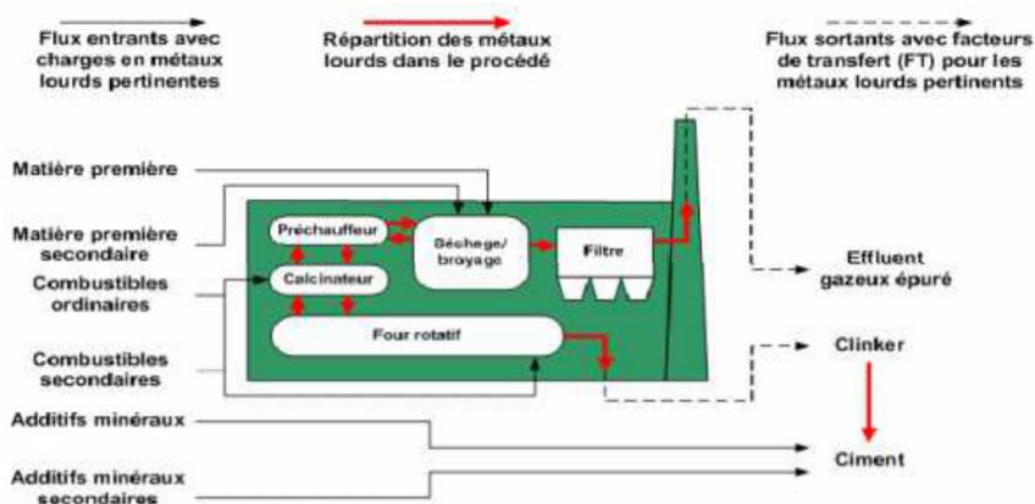


Figure I.6. Parcours des métaux dans les fours à ciment équipés de chauffeuses en voie sèche d'après (CE, 2010)[7]

Les composés métalliques non volatils restent présents pendant toute la cuisson et sont intégrés dans la composition chimique du clinker à la sortie du four (>99,9 %). Les composés métalliques semi-volatils se retrouvent partiellement dans la phase gazeuse aux températures de clinkérisation et se condensent sur les matières premières dans les zones les moins chaudes du four. Ils provoquent l'apparition d'un effet cyclique (cycles internes) qui se limite au four et au préchauffeur ou s'intègre également dans l'unité de séchage-broyage. Si les métaux se condensent en grande partie dans le préchauffeur, ils entreront à nouveau dans le four avec la charge du four. Cela produit un cycle interne du métal (cycle four/préchauffeur). Cet effet cyclique s'amplifie jusqu'à ce qu'un équilibre entre l'entrée et la sortie du clinker soit atteint et maintenu. Les composés métalliques volatils se condensent sur les matières premières à des températures moins élevées et peuvent provoquer l'apparition de cycles internes ou externes s'ils ne sont pas évacués avec les gaz résiduels du four. Le thallium, le mercure et leurs composés sont particulièrement très volatils. Ils ne sont pas entièrement capturés par la matrice du clinker. Le thallium et ses composés se condensent dans la zone haute du préchauffeur à cyclones à des températures allant de 450 à 500 °C. Une grande partie du thallium introduit dans le four est donc retenue par le préchauffeur. [10] Par conséquent, un cycle peut se former entre le préchauffeur, le séchage de la matière première et la purification des gaz résiduels (interne et externe). Le niveau d'émission de thallium est déterminé par le niveau de concentration du cycle externe et par l'efficacité du collecteur de poussières. En outre, mais dans une moindre mesure, le cadmium, le plomb, le sélénium et leurs composés sont particulièrement facilement volatilisés. Un cycle interne de composés métalliques très volatils apparaît quand ils

réagissent avec les matières en cours de calcination ou quand ils se déposent sur ces matières dans les zones froides de la chambre de calcination, dans le préchauffeur ou au niveau du séchage. Les métaux provoquent l'apparition d'un cycle externe quand les poussières et les composés volatils condensés sont collectés dans les filtres à poussières et recyclés dans le cru. [10]

Les poussières résultant de la fabrication du ciment contiennent de faibles quantités de composés métalliques comme As, Cd, Hg, Pb, Tl et le Zn. La principale source de poussières chargée en métaux est le système de four, incluant les préchauffeurs, les précalcinateurs, les fours rotatifs et les refroidisseurs à clinker. Leur concentration en métaux dépend de la matière à cuire et de la recirculation dans le système de four. En particulier, l'utilisation de charbon et de déchets pour chauffer le four peuvent augmenter l'apport de métaux dans le procédé. Comme les métaux qui entrent dans le système de four n'ont pas tous le même degré de volatilité et du fait des températures élevées, les gaz chauds du système de four contiennent aussi des composés métalliques en phase gazeuse. [10]

I.3.4. Composés organiques totaux (COT) [10]

La présence dans les réactions thermiques (combustion) de composés organiques volatils et de monoxyde de carbone est associée à une combustion incomplète. Dans les fours à ciment, les émissions seront faibles en régime normal stable en raison du type de four utilisé, du séjour prolongé des gaz dans le four, de la température élevée, de la nature de la flamme (2000 °C) et de l'excès d'oxygène. C'est dans ces conditions que les composés organiques se décomposent et sont détruits avec un taux d'efficacité élevé (>99,9999%). Les concentrations peuvent augmenter au démarrage ou dans des conditions anormales. Ceci peut se produire plus ou moins souvent, de une ou deux fois par semaine à une fois tous les deux ou trois mois.

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

I.3.4.1. Chlorure d'hydrogène et fluorure d'hydrogène (HCl et HF)

Les HCl et HF sont des constituants additionnels mineurs qui peuvent être introduits dans le four par le biais des différentes matières entrantes, telles que les matières premières ou les combustibles, ou les deux. Il convient de surveiller régulièrement ces substances.[10]

I.3.4.2. Ammoniac (NH₃)

Les matières premières libèrent du NH₃ dès les premières étapes du procédé. La teneur en NH₃ du gaz résiduaire des fours à ciment peut atteindre 200 mg/Nm³. Les techniques de réduction peuvent également libérer du NH₃, c'est notamment le cas de la SNCR (réduction sélective non catalytique) au cours de laquelle de l'ammoniac inaltéré peut se dégager (fuite d'ammoniac). Il est essentiel de surveiller régulièrement les émissions de NH₃. En outre, l'équipement des sites d'un épurateur de SO_x qui neutralise l'ammoniac dans sa liqueur afin d'égaliser les pointes et les baisses peut s'avérer nécessaire. [10]

I.4. PROBLEMATIQUE ENVIRONNEMENT ALE

Les principaux problèmes environnementaux des CKD résident, d'une part en l'encombrement devenant de plus en plus important avec l'accroissement des amas de CKD aux abords des cimenteries, et d'autre part à la pollution des eaux souterraines par le lessivage de composés toxiques et le risque de contamination des eaux de ruissellement par des substances solubles tels les sulfates, carbonates, chlorures, alcalis et métaux. La contamination se traduit par une élévation du pH et par la présence dans les eaux de substances à risque en teneur dépassant, parfois, les limites fixées par les normes environnementales [11].

I.4.1 L'impact des poussières sur la végétation

Les poussières déposées sur les plantes les empêchent de respirer et peuvent causer leur mort progressive. À la longue, cela provoque la disparition de toutes les espèces végétales avoisinantes. Les différentes études de recherche ont montré que certains rejets chimiques comme le SO₂, le fluor et le peroxyacétyl nitrate avaient des effets néfastes sur la végétation.

Les plantes affectées sont aussi rendues plus sensibles aux infections cryptogamiques, ce qui entraîne avec le temps une réduction du rendement des cultures [19].

I.4.2 L'impact des poussières sur la sante

Les effets des poussières sur la santé dépendent essentiellement de trois facteurs :

- ✓ le niveau de concentration auquel est exposé l'organisme (milieux professionnels) ;

- ✓ la durée d'exposition ou le temps durant lequel l'ouvrier ou l'habitant est exposé à ce milieu
- ✓ l'effort physique qui s'accompagne d'une augmentation de la ventilation pulmonaire.
- **À court terme**
 - ✓ Le SO₂ provoque une irritation des muqueuses de la gorge et une inflammation des bronches. Quand il est associé aux particules, il peut affecter tout l'appareil respiratoire jusqu'aux alvéoles.
 - ✓ Le CO se fixe sur les globules rouges du sang et empêche le transport de l'oxygène vers les cellules. A forte dose, il peut causer une asphyxie mortelle.
 - ✓ Le NO₂ est un gaz irritant pour les bronches. Chez les asthmatiques, il augmente la fréquence et la gravité des crises. Chez l'enfant, il favorise les infections pulmonaires.
 - ✓ Les poussières fines (<1μ) atteignent les alvéoles et peuvent pénétrer dans le sang. Elles peuvent transporter d'autres polluants qui y sont adsorbés et causent des décès pour causes respiratoires et cardio-vasculaires.
- **À long terme**

Ces polluants peuvent provoquer des maladies respiratoires telles que l'asthme, les bronchites (SO₂, poussières), allant jusqu'au cancer des poumons (NO₂, particules).

I.5. EFFETS DES POLLUANTS SUR L'ENVIRONNEMENT

I.5.1. Aérosol atmosphérique [20]

Le phénomène d'aérosol atmosphérique est le plus développé dans différentes régions, il affecte directement les sols avoisinant la cimenterie. Ce sont des particules liquides, solides ou mixtes en suspension dans l'atmosphère. Elles sont présentes en très grand nombre et leur concentration varie de plusieurs puissances de 10 en fonction du lieu et du temps. Leur diamètre effectif varie de 1/1000000 à 5/100 mm. Elles jouent un rôle primordial dans le phénomène de la condensation nuageuse, elles peuvent être retenues par les voies respiratoires et en concentration élevée, elles peuvent être gênantes, voir nocives et dangereuses et constituent alors un facteur de pollution.

Les poussières provenant des cimenteries peuvent être émises avant, pendant et après la cuisson du clinker depuis l'explosion au niveau de la carrière jusqu'à l'ensachage et le chargement du ciment. Deux processus de pollution sont distingués :

Le transport: les particules, suffisamment petites pour rester longtemps en suspension dans l'air, peuvent être transportées par les vents sur de grandes distances. Ce processus de transport implique en général la dilution des polluants et empêche les produits transportés

d'atteindre des concentrations nocives suffisamment loin des sources. Mais il contribue aussi à donner au problème de la pollution une dimension régionale plutôt que local ;

□ Le dépôt: IL se déclenche lorsque la vitesse du vent tombe en dessous de la vitesse limite nécessaire au transport. Il s'effectue en général par piégeage des éléments grossiers.

I.5.2. Phénomène de lessivage [21-22]

Le pH est le facteur le plus significatif du changement chimique qui intervient dans le milieu au cours du processus de lessivage. Une variation à ce niveau signifie un changement dans la solubilité des différents éléments faisant l'objet de suivi et, par conséquent. Affecte leur présence dans l'eau interstitielle ou de lixiviation et éventuellement des répercussions sur les réactions d'hydratation.

Selon Mehta et Monteiro (1993) [23], le lessivage des produits cimentaires est initié au-dessous d'un pH de 12,5. En effet, la stabilité des différents hydrates telle que la portlandite, est affectée par le passage d'un agent agressif sous ces conditions augmentant ainsi la perméabilité et, par la suite, la lixiviation des autres phases présentes comme illustré en figure I.7.

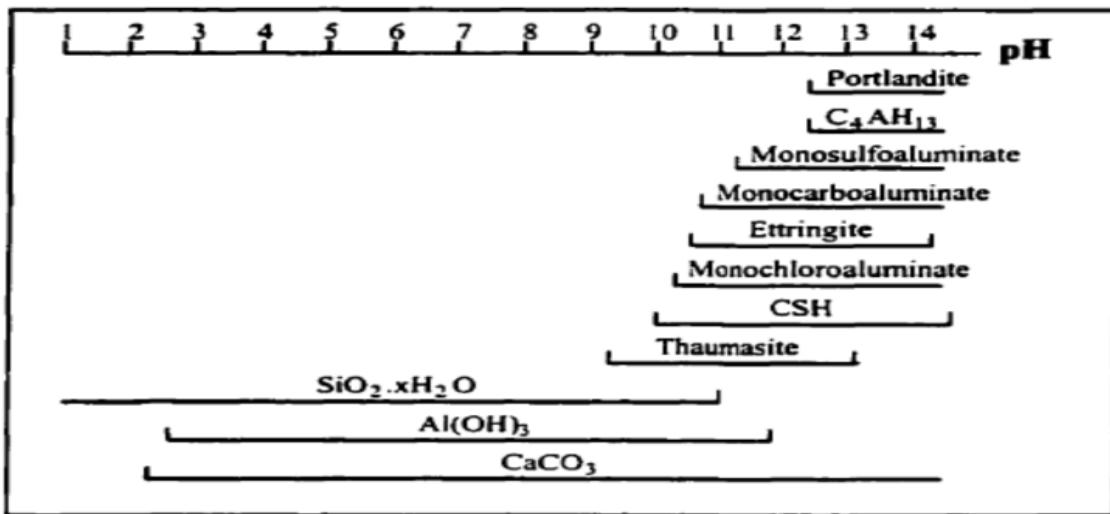


Figure I.7. Stabilité des phases d'une matrice cimentaire d'après (BENZA AZOUA, 1996) [32]

La lixiviation de certaines espèces à risque pour les milieux environnants peut se faire selon certains processus :

- **Lessivage superficiel** : ce dernier se traduit par la présence d'espèces très solubles en surface du solide qui, en contact d'un effluent, passe rapidement en solution avec une incidence probable pour les milieux extérieurs.

- **Dissolution de phases importantes** : les phases présentes à l'intérieur du solide se dissolvent avec une libération ionique dans l'eau interstitielle. L'état d'équilibre thermodynamique au sein de la matrice cimentaire est contrôlé principalement par les espèces ioniques, par leurs concentrations ainsi que par le pH de l'eau interstitielle. Dans le cas où les conditions régnantes sont favorables, il peut y avoir une dissolution très importante du solide suivie par une lixiviation non négligeable.
- **Transport des espèces dissoutes** : l'existence de gradients de concentration entre l'eau interstitielle et l'eau de percolation génère un transfert de matière en phase liquide à travers le volume poreux du système. Le transport par convection étant négligeable, la diffusion des espèces ioniques dissoutes est assumée par advection.

Les différents phénomènes de lixiviation gouvernés par les trois précédents processus doivent satisfaire aux critères admissibles afin d'éviter tout risque potentiel de contamination.

I.6. LA CIMENTRIE D'ETUDE LAFARGE DE HAMMAM DALAA (M'SILA)

I.6.1. Définition Lafarge Holcim

Elle est une société privée de seul actionnaire Aldzarah Ciment de la société, qui est considéré comme l'un des premiers groupes dans le secteur de la construction en termes de production de matériaux de construction, une division du complexe global actuellement 150 pays à travers le monde et est créé troisième usine de ciment en Algérie.

L'investissement dans la société de ciment Aldzarah dans la première phase était d'établir une ligne de production avec une capacité équivalente à un 2 millions de tonnes annuelles de ciment a été estimé à 260 millions d'euros.

Après vint la deuxième phase, axée sur la mise en place de la deuxième ligne de production de 2 millions de tonnes pour atteindre l'objectif d'atteindre une capacité de production équivalente à 4 millions de tonnes par an en 2005 et le coût de l'investissement est estimé à 190 millions d'euros. Cette avant qu'il achetait des actions de la Société mondiale pour la Lafarge

I.6.2. définition d'usine La société Lafarge Holcim (unité de production)

I.6.2. 1.La situation géographique

La société zone Lafarge Aldbel cercle de natation Aldilah situé M'sila reliée à l'ouest de la route nationale n ° 60 larme liaison et Sidi Issa, soit à l'est reliée à la route nationale n ° 45 reliant la déchirure et à Bordj Bou Arreridj et environ 260 km de la capitale, et à 120 kilomètres de la province de Bejaïa, ce positionnement a donné avoir une bonne position géographique de la zone commerciale de la recherché et dispose d'une gestion centralisée quartier d'Alger de Hydra. En plus de la sous-direction présente au niveau de l'usine.

La figure I.8. représente la carte topographique.



Figure I.8. la carte topographique.

I.6.2. Le climat

La région de M'sila vit les conditions climatiques, où les barrières montagneuses du Hodna empêchent toute influence méditerranéenne. De ce fait, il ne tombe que très peu de pluies, soit 225_{mm} d'eau par an avec des maximums durant les mois d'automne et d'hiver. Le printemps est souvent sec.

I.6.3. Température

Le climat est continental avec une amplitude moyenne de 36° entre les mois de janvier et juillet.

En hiver les gelées sont assez rares, mais la température dépasse fréquemment 40° au cours des mois de juillet et août. Le climat est capricieux, certaines années sont marquées par un régime franchement saharien avec de faibles chutes de pluies, de longues périodes chaudes et de fréquents sirocos qui, en quelques heures, dessèchent la surface du sol et toute végétation.

Les statistiques des dernières années montrent que :

- 1)- Durant la saison froide (4 à 5 mois) des minimums absolus sont compris entre +5.5° C (février 1997) et 10.7° (avril 1997) sont enregistrés.
- 2)- Les maximums absolus sont compris entre 14°6 (janvier 1997) et 39° C pendant la saison sèche.

NB :Le gel est présent au mois de janvier et février et la neige de 0 à 1 jours par an.

I.6.4. Humidité de l'air

La tension vapeur est maximale en été et minimale en hiver comme le montre le tableau ci-après :

Tableau I.3. Tension de vapeur

	1995	1996	1997
Tension de vapeur (moy/an)	126	128	130
Tension maximale	/	182	192
Date	/	Juillet	Août
Tension minimale	/	86	84
Date	/	Février	Janvier

Tableau I.4. Les précipitations mensuelles à la station de M'sila (2000 – 2015)
[Station météorologique de M'sila]

Années	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Totales
2000	0	0	5	3	25	2	2	2	54	15	7	31	146
2001	25	2	5	25	0	0	0	5	45	17	15	18	157
2002	11	6	1	5	5	0	2	16	7	13	26	13	105
2003	73	11	2	17	29	28	1	3	47	83	29	25	348
2004	5	5	31	36	75	10	2	29	11	8	11	5	228
2005	1	18	6	6	NT	7	3	3	31	16	28	6	125
2006	11	34	18	2	34	23	0	0	27	18	24	22	213
2007	10	18	9	46	60	8	0	8	39	6	9	5	218
2008	0	27	18	36	100	14	11	0	14	2	20	31	273
2009	75	10	4	19	24	29	0	1	49	85	21	29	346
2010	11	7	40	7	0	3	0	1	16	7	11	35	138
2011	0	16	9	5	30	0	0	0	14	0	41	20	135
2012	14	26	15	6	0	1	5	10	45	47	9	4	182
2013	52	6	16	12	1	19	0	12	31	45	26	54	274
2014	60	26	32	23	40	6	7	3	3	0	6	24	230
2015	15	7	5	40	26	8	1	31	61	33	51	13	291
Moyenne	23	13	13	20	28	10	2	8	31	25	21	21	230

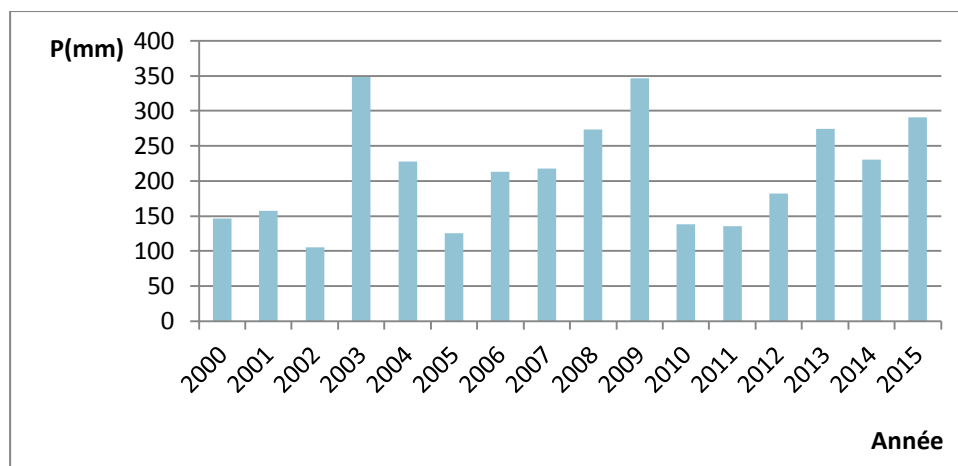


Figure I.9. Les précipitations mensuelles à la station de M'sila (2000 – 2015) [Station météorologique de M'sila]

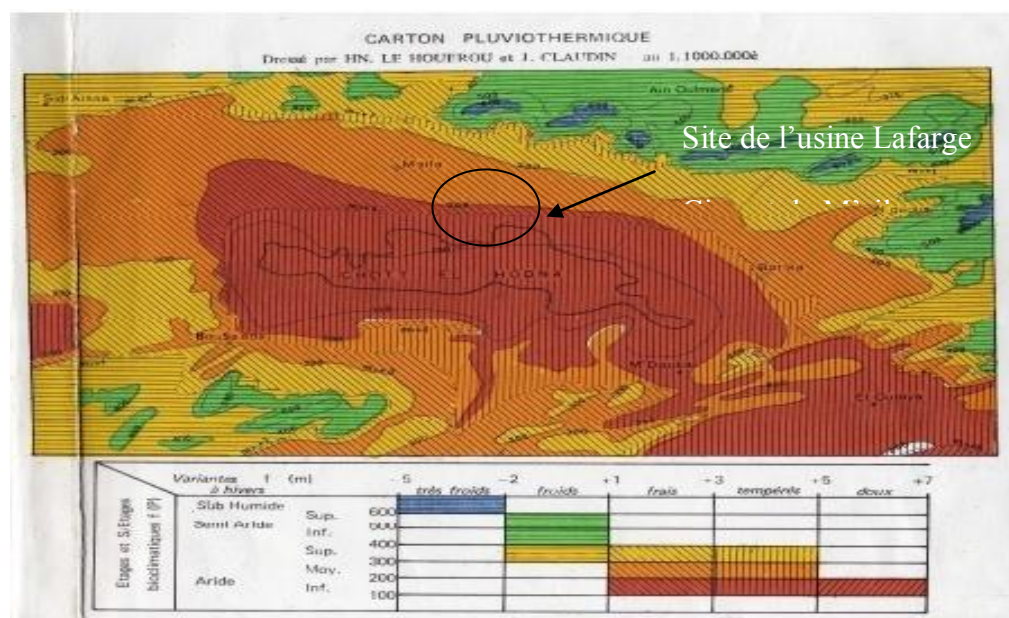


Figure I.10. Carte pluviométrique de la région du Hodna [Direction générale des forêts.

Antenne M'sila]

I.6.5. Les vents :

La direction de vent est vers le nord de la wilaya.

La vitesse moyenne mensuelle des vents oscille entre 3 m/sec et 4,7 m/sec. Les maximums sont enregistrés dans la période mai / juillet.

Par ailleurs les vents de force 20 (vitesse supérieure à 20 m/sec) sont enregistrés entre 7 et 29 jours par an et notamment dans la période de Mai à Août comme le montre le tableau ci-après :

Tableau I.5. La vitesse moyenne mensuelle des vents oscille

		<i>J</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>Tot</i>
1996	V moy	44	45	25	39	28	25	22	27	17	14	30	49	30
	F20	0	2	0	1	1			0	1	0	1	1	
1997	V moy	44	35	38	45	50	63	61	54	39	39	43	49	47
	F20	1	1	1	3	3	4	5	4	2	0	3	2	29

Vmoy : Vitesse moyenne mensuelle et vitesse moyenne annuelle

F20 : Nombre de jours dans le mois et l'année de vent de vitesse supérieure à 20 m/s*

NB :Le nombre de jours de sirocco est faible et oscille entre 1 à 10 jours par an.

Conclusion

Le ciment est un produit indispensable pour la construction et le développement de tous les pays mais dont la fabrication est un risque potentiel qui à un impact sur la santé et sur l'agriculture avoisinante si des mesures ne sont pas mises en œuvre pour une bonne protection. Les cimenteries ne sont pas appelées uniquement à améliorer la qualité de leurs ciments et à baisser leurs coûts, mais aussi à remédier aux problèmes de pollution causés par les rejets des gaz et des poussières qu'elles dégagent à tous les niveaux de la fabrication de leurs ciments. Concernant la localisation : la nocivité des cimenteries serait moindre si les usines étaient installées dans des régions à faibles densité humaines et sur des terres non agricoles.

CHAPITRE II
MATERIAUX ET
PROTOCOLES
EXPERIMENTAUX

Chapitre II

MATERIAUX ET PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

I.1. INTRODUCTION

On a utilisés différents méthodes de caractérisation pour déterminer les propriétés chimiques et physiques de la poussière de four de la cimenterie de Lafarge à M'sila.

Dans ce chapitre on a présenter le matériel et les réactifs utilisés lors de notre études ainsi que les méthodes d'analyses utilisés pour caractérisé les poussières de four a ciment (CKD).

II.2. PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

Notre échantillonnage a été effectué au niveau de la cimenterie de Hammam delaa à Msila

On a prélever Cinque échantillons :

- ✓ Le premier échantillon à c'est le CKD (poussière de four a ciment)
- ✓ Le deuxième échantillon EA à 250 m vers levant à l'extérieur de la cimenterie
- ✓ Le troisième échantillon EB à 500 m vers levant à l'extérieur de la cimenterie
- ✓ Le quatrième échantillon EC à 750 m vers levant à l'extérieur de la cimenterie
- ✓ Le cinquième échantillon ED à 1000 m vers levant à l'extérieur de la cimenterie

Les points de prélèvements sont représentés sur la figure II.1, et la présentation de la cimenterie de Hammam delaa à M'sila.



Figure II.1. Vue de points d'échantillonnage des poussières de la cimenterie de Hammam delaa à Msila

II.3. PREPARATION MECANIQUE ET ECHANTILLONNAGE

Avant de procéder à une analyse quelconque du sol ou des poussières, celui-ci subit un traitement mécanique qui représente la phase la plus délicate pour obtenir un échantillon représentatif. Pour atteindre ce but, nous appliquons les différents procédés mécaniques suivants :

II.3.1. Tamisage

Le tamisage permet de séparer les matériaux en fonctions granulaires définies par la cote de la maille carrée du tamis. En pratique, la détermination de la distribution granulométrique ce fait par classement dimensionnel à travers une série de tamis (AFNOR)d'ouverture de mailles décroissantes. [25] La tamiseuse utilisée illustré dans la figure II.2. ou cours de notre travail et celle du laboratoire LTMGP de l'université de Bejaia qui est de type AS200 basic. Retsch .



Figure II.2. Tamiseuse (Labo 12 Bejaia)

II.3.2. Broyage de poussière

C'est une méthode qui consiste à réduire les tailles des grains à granulométrique assez fine pour atteindre les dimensions de l'ordre de micromètres afin de favoriser la mise en solution lors de l'analyse chimique. [25] L'opération de broyage a été réalisée manuellement.

II.3.3. Préparations des échantillons avant l'analyse, norme AFNOR NF X 31-427

Un échantillonnage intermédiaire s'est fait selon la technique des quartages de façon à minimiser les risques d'erreur sur la composition des échantillons liés à leur hétérogénéité et pour obtenir la masse de résidus nécessaire pour les analyses et tests (figure II.3). Grâce à cette manipulation, l'erreur liée à l'échantillonnage ne dépasse pas 10%. Le résidu résultant des sols est ainsi préparé aux traitements chimiques et physiques. C'est une opération de réduction de poids de l'échantillon souhaité pour l'analyse. Sa réalisation, nécessite application de la loi de RECHARDSE donnée par la relation suivante.

$$Q \geq Kd^2 \dots\dots\dots \text{II.1}$$

Avec :

Q : poids de l'échantillon à préparer dans l'étape considérée.

K : coefficient de la préparation de la minéralisation, il dépend de la nature de l'échantillon.

Mais en général nous prenons $K > 0,1$ pour un échantillon hétérogène ($k=0,5$) et $K = 0,1$ pour un échantillon homogène.

d : diamètre de plus gros grain.

La figure II.3. représente le Principe de quartage

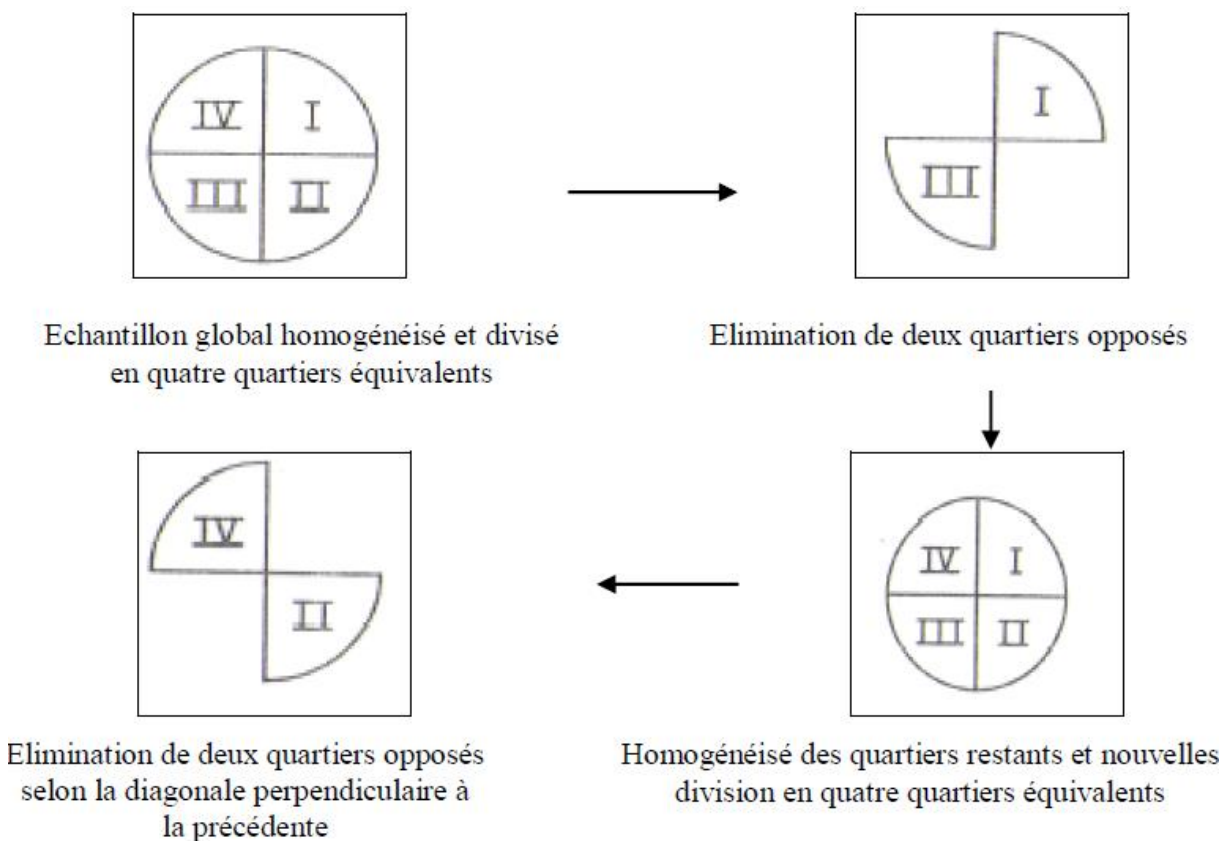


Figure II.3. Principe de quartage

II.4. METHODES DE CARACTERISATION DES ECHANTILLONS

II.4.1. Diffraction des Rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X (DRX) sert à identifier les phases cristallisées, donc la minéralogie des produits et éventuellement à en analyser le degré de cristallinité. Elle est utilisée de façon préférentielle dans la caractérisation minéralogique d'un matériau.



Figure III.4 : Appareil de Diffraction par des Rayons X (Labo 24 Bejaia)

· Principe

Les rayons X sont diffusés sans perte d'énergie par des particules de la matière chargée électriquement, et principalement, par les électrons. Dans les solides cristallins, où les particules sont disposées de façon périodique, la quantité de rayonnement diffusé n'est importante que dans les directions pour lesquelles les rayons diffusés sont en phase. On dit alors qu'il y a diffraction. L'observation d'un rayonnement diffracté est donc soumise à des conditions relatives à l'existence d'interférences constructives ou cohérentes. La loi de Bragg établit la condition essentielle à la diffraction, à savoir : deux rayons diffusés par un cristal sont en phase et s'additionnent si la différence entre leurs chemins parcourus au sein du cristal est égale à n fois ($n =$ nombre entier) leur longueur d'onde :

$$n\lambda = 2d \cdot \sin\theta \dots\dots\dots \text{II.2}$$

Avec :

λ : la longueur d'onde du rayonnement utilisé ;

θ : l'angle de réflexion ;

d : la distance réticulaire entre deux plans atomiques adjacents d'une même famille ;

n : l'ordre de réflexion.

La Figure II.5. représente La loi de Bragg

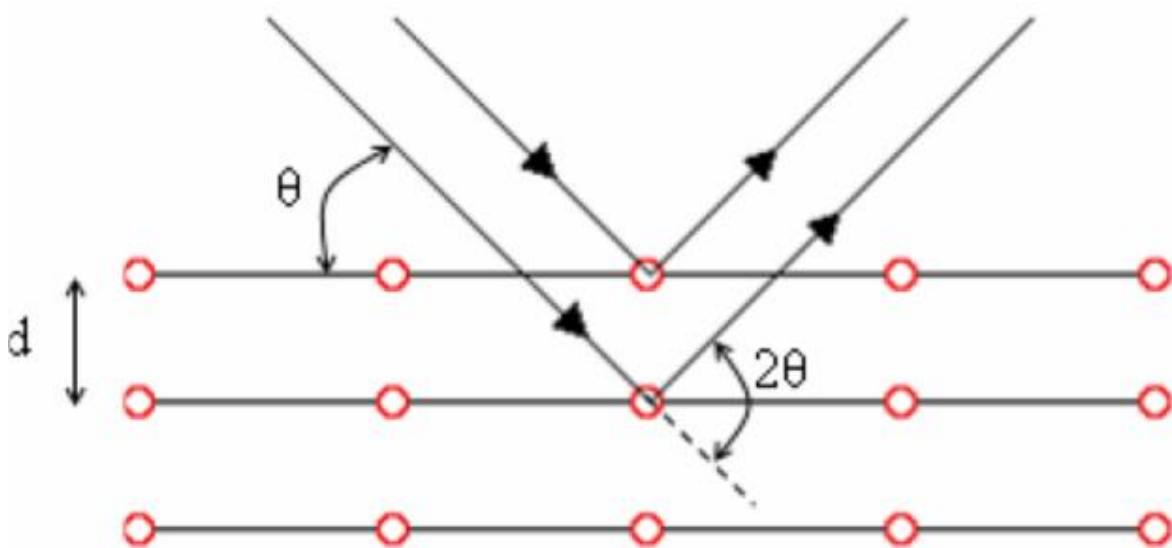


Figure II.5. La loi de Bragg

· Conditions expérimentales

Les analyses à la température ambiante ont été effectuées sur un diffractomètre de type X Pert Pro Panalitical en utilisant la raie $K\alpha_1$ du cuivre de longueur d'onde $\lambda=1,540598 \text{ \AA}$.

Les diffractogrammes ont été enregistrés de 0° à 80° (2θ) avec un pas de 0.01° .

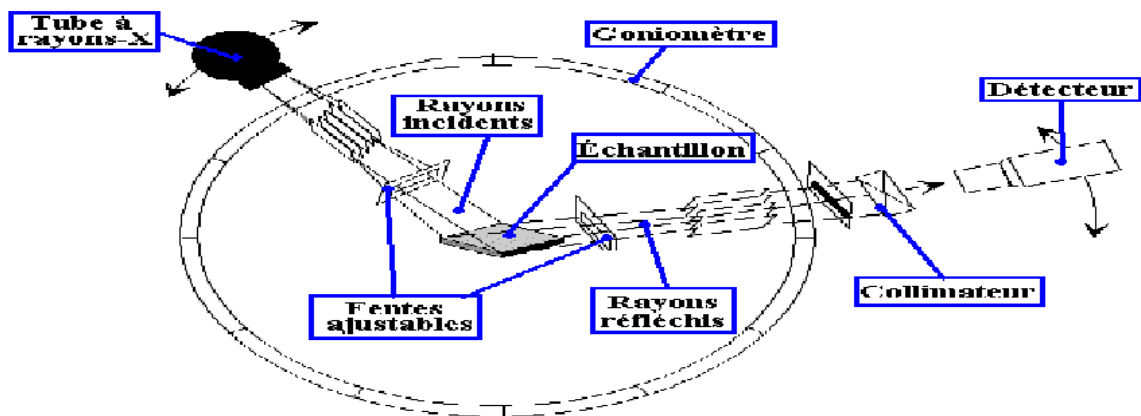


Figure III.6 . Schéma d'un spectromètre de diffraction des rayons X [26].

II.4.2. Identification des groupements fonctionnels existant dans les échantillons avec la Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF)

Dans cette étude, la spectrométrie IR est utilisée de façon complémentaire aux autres méthodes de caractérisations comme outil d'analyse minéralogique. La spectrophotométrie infrarouge est une méthode d'analyse non destructive pour l'échantillon, basée sur l'étude d'absorption par l'échantillon, ainsi une méthode d'analyse quantitative et à la fois qualitative. C'est une méthode d'analyse des environnements locaux quel que soit l'état physique du système étudié. [27]

· Principe

Dans les conditions normales de température et de pression (CNTP), les atomes et les groupements fonctionnels constituant la matière, sont animés de mouvement vibratoire. Si ces constituants sont exposés à un rayonnement électromagnétique dont la fréquence de vibrations proche de celle de l'une ou l'autre de leurs fréquences de vibrations propres, ils entrent en résonance, empruntant pour ce faire, de l'énergie dans le faisceau incident. Il y a alors absorption d'énergie.

Sous l'effet d'un rayonnement électromagnétique infrarouge, les liaisons moléculaires absorbent une partie de cette énergie et vibrent selon des mouvements de différents types(vibration d'élongation ou de déformation). [28]

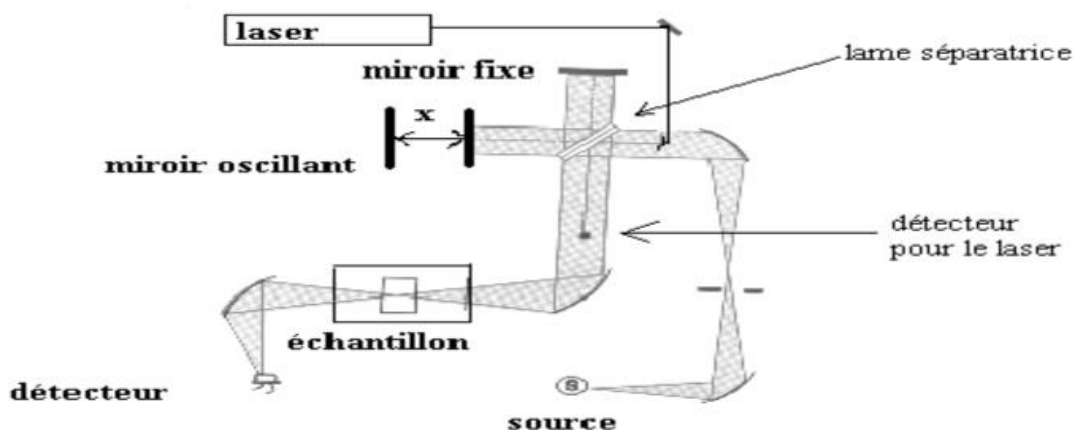


Figure II.7. Schéma du principe de la spectroscopie IR.

Le spectre IR conduit à l'obtention d'un spectre pour chaque longueur d'onde, le rapport des intensités transmittance (T) qui est exprimée en pourcentage (%) sur les spectres que nous avons obtenus. De même les longueurs d'onde sont exprimées sous forme de nombre d'onde ν (cm⁻¹) sachant que $\nu = 1/\lambda$ (pour moyen IR : 400-4000 cm⁻¹). [29]

Le domaine infrarouge, dans lequel se trouvent les énergies de vibration des liaisons moléculaires, est divisé en trois zones : [28]

- ✓ Proche infrarouge : $\lambda = 0.8$ à $2.5 \mu\text{m}$ (ou $\nu = 4000$ à 12500 cm^{-1}) ;
- ✓ Moyen infrarouge : $\lambda = 2.5$ à $25 \mu\text{m}$ (ou $\nu = 400$ à 4000 cm^{-1}) ;
- ✓ Lointain infrarouge : $\lambda = 25$ à $1000 \mu\text{m}$ (ou $\nu = 4000$ à 12500 cm^{-1}).

· Mode opératoire

L'analyse IR s'effectue sur des pastilles de KBr fabriquées en représentant les proportions suivantes : 300 mg de KBr et 5 mg de matériau finement broyé. La masse du mélange prélevée pour faire la pastille est de 30 mg.

Les analyses par spectroscopie infrarouge (IR) sont effectués dans le laboratoire de chimie industrielle de l'université A/Mira de Bejaia à l'aide d'un spectrophotomètre IR de type Affinity-1 SHIMADZU, représenté dans la figure II.8



Figure II.8. Image de l'appareille du spectrophotomètre IR(Labo 08 Bejaia)

II.4.3. Détermination de la composition chimique par la fluorescence [30]

La fluorescence X est une méthode spectrale d'analyse qui exploite la fluorescence des atomes dans le domaine des rayons X, afin d'obtenir des renseignements quantitatifs sur la composition élémentaire d'un échantillon solide. Lorsqu'un échantillon est irradié avec une source de photons à grande énergie (5 à 60 ke V), une photoluminescence située dans le domaine des rayons X, caractéristique des éléments présents, est émise par ce dernier. Cette fluorescence, perpendiculaire au faisceau primaire, se diffracte alors sur un cristal analyseur selon la loi de Bragg suivante :

$$\lambda n = 2 d \sin\theta \dots \dots \dots \text{I.3}$$

Ce mode d'analyse non destructif, réalisable dans la pratique pour tous les éléments à partir du bore (Z=5). Cette étape est donc nécessaire afin de quantifier les éléments contenus dans chaque échantillon.

La Figure III.9. représente Schéma de principe fonctionnement de la FRX

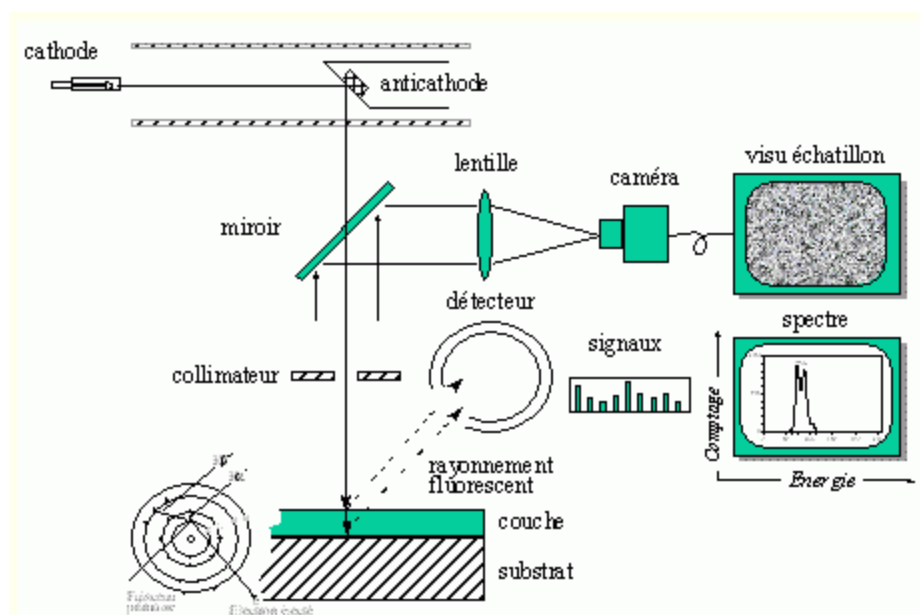


Figure III.9. Schéma de principe fonctionnement de la FRX [51]

II.4.4. Teneurs en métaux lourds

Les procédures d'extraction simple sont des méthodes qui s'exécutent en une seule étape. Elles sont retenues en sciences des sols afin de quantifier la disponibilité potentielle des métaux lourds, pour prévoir la prise des éléments essentiels, pour diagnostiquer l'insuffisance ou l'excès des éléments dans les sols ou encore pour pouvoir étudier le comportement physico-chimique des éléments de traces métalliques dans les sols. Elles sont encore aujourd'hui, largement employées en raison de leur facilité de mise en œuvre. [31] De

nombreux protocoles ont été développés ces dernières décennies, [32-33] parmi ces tests on trouve le test de lixiviation TCLP.

II.4.4.1. Extraction totale ou/ minéralisation (Test de lixiviation TCLP)

L'agence de protection de l'environnement, des États-Unis, a identifiée 40 produits chimiques toxiques. Pour déterminer le potentiel des pertes spécifiques de ces produits chimiques dans les déchets et dans les eaux souterraines, l'agence de protection de l'environnement a développé un procédé de lixiviation sous le nom de TCLP. Il est employé pour évaluer et estimer la quantité de contenu toxiques déchargée dans l'environnement et la quantité d'un élément toxique libérée dans des conditions d'essais dépassent les limites de normalisation. [34].

La lixiviation ou la percolation d'un matériau peut se produire sur le terrain, par exposition du matériau à l'infiltration naturelle ou aux précipitations ou au laboratoire par la mise en œuvre de test TCLP. [35]

Le procédé de lixiviation (TCLP) est employé par l'agence de protection environnementale des États-Unis pour déterminer la mobilité des produits organiques et inorganiques (40 constituant) dans le liquide, le solide et les pertes multiphasiques.

· Principe

Le principe des tests de lixiviation est de déterminer les phénomènes de fixation des contaminants et de comprendre les mécanismes de leurs relargage. Le principal agent susceptible de véhiculer les éléments toxiques vers l'environnement est l'eau.

Ces tests sont effectués sur un déchet sous forme d'une boue. Le test TCLP vise à caractériser le comportement du déchet en cours du temps, nous mettons en contact le déchet avec solution de lixiviation de volume fixe. [36]

· Mode opératoire

La démarche consiste à mettre en agitation 10g d'un échantillon dans une solution de lixiviation, le lixiviation est un mélange de 64.3 ml de la soude 1N et 5.7 ml d'acide acétique 1N, ajusté avec l'eau distillée jusqu'à 1l de solution. Le PH de la solution de lixiviation est de $4,93 \pm 0,05$, pendant 18 heures, à la fin du test, le produit de lixiviation obtenu est filtré et son pH est déterminé. Les filtrats obtenus sont ensuite acidifiés à pH= 2 avec du HNO_3 (65%) afin de les sauvegarder pour l'analyse. [37] Les analyses effectuées sur lixiviation sont récapitulées dans le tableau II.1

Tableau II.1. Différentes analyse effectuées sur le lixiviation.

Paramètre	Matériel et réactifs
Dosages des chlorures	Méthode de Mohr
Dosages des sulfates et du chrome(VI)	Spectroscopie UV-Visible;
Dosages du zinc, nickel, cadmium, cuivre, chrome et du plomb	Spectrophotométrie d'absorption atomique(SAA).

II.4.4.2. Analyse des anions

A. Dosage des chlorures : méthode de Mohr [38]

· Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de latente rouge caractéristique du chromate d'argent.

· Réactifs

- ✓ Acide nitrique pur ;
- ✓ Carbonate de calcium pur ;
- ✓ ·Solution de chromate de potassium à 10 % ;
- ✓ ·Solution de nitrate d'argent 0,1 N

· Mode opératoire

- ✓ On introduire 10 ml d'eau à analyser (préalablement filtrée) ;
- ✓ On ajoute 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de calcium et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 % ;
- ✓ On verse d'une burette de la solution de nitrate d'argent jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre.

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés.

· Expression des résultats

La concentration des chlorures dans nos échantillons est exprimée en milligrammes de ions de chlore par litre d'échantillon.

$$[Cl^-] = \frac{(C \times V)_{AgNO_3} \times 35.5 \times 1000}{V_{\text{échantillon}}} \dots \dots \dots \text{II. 8}$$

Avec :

C_{AgNO_3} : Concentration de $AgNO_3 = 0,1 \text{ mol/l}$;

V_{AgNO_3} : Volume d' $AgNO_3$;

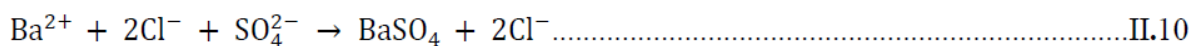
$V_{\text{échantillon}}$: Volume d'échantillon ;

Masse atomique de (Cl) égale à 35,5 g/mol.

B. Dosage du sulfate [38]

· Principe de dosage du sulfate

Le dosage des sulfates est basée sur la réaction en milieu acide, entre l'ion sulfate et le chlorures de baryum, qui conduit quantitativement à la formation de sulfate de baryum (sel très peu soluble) :



Réactifs

- ✓ Solution d'acide chlorhydrique au 1/10.
- ✓ Solution de Tween 20 à 25 %.
- ✓ Solution de chlorure de baryum stabilisée:
- ✓ Chlorure de baryum ($BaCl_2, 2 H_2O$) 10 g;
- ✓ Solution de Tween 20;
- ✓ Eau dé ionisée 100 ml.
- ✓ Solution étalon de sulfate de sodium à 150 mg/l
- ✓ Sulfate de sodium anhydre 0,221 g ;
- ✓ Eau déionisée 1000 ml.

C. Dosage du chrome(IV) [38]

· Principe

En solution légèrement acide, le chrome hexa valent réagit avec la diphénylcarbazide Pour donner une coloration rouge violet susceptible d'un dosage par spectrophotométrie UV.

· Réactifs

- ✓ Eau déionisée exempte de toute trace de chrome ;
- ✓ Acide nitrique (d = 1,40) ;
- ✓ Acide sulfurique chimiquement pur (d = 1,83) ;

- ✓ Solution d'acide sulfurique à 176 g/l environ :
- ✓ Acide sulfurique 100 ml ;
- ✓ Eau déminéralisée (1l).

Verser avec précaution 100 ml d'acide sulfurique dans 100 ml d'eau. Après refroidissement, transvaser dans une fiole jaugée de 1 L. Ajuster le volume.

- ✓ Alcool éthylique à 95°.
- ✓ Solution acide de diphénylcarbazine :
- ✓ Diphénylcarbazine chimiquement pure (0,2 g) ;
- ✓ Alcool éthylique à 95° (100 ml) ;
- ✓ Solution d'acide sulfurique à 176 g/L (400 ml).

Conservée au réfrigérateur et en flacon teinté, cette solution est stable un mois environ.

- ✓ Solution mère étalon de chrome (1 g/l) :
- ✓ Dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) (2,829 g) ;
- ✓ Eau déionisée (1000 ml).
- ✓ Solution fille étalon de chrome (5 mg/l) :
- ✓ Solution mère étalon (5 ml) ;
- ✓ Eau déionisée (1000 ml).

II.4.4.3. Analyse des cations

En remplissant les tubes à essais de la solution préparée pour l'analyse des cations puis on les fait passer par la spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAAF) et on lit la concentration.

A. Spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (SAAF)

· Définition

C'est une méthode d'analyse physico-chimique qualitative qui englobe une large gamme d'applications en particulier la chimie minérale. Elle permet de doser plus de soixante-dix éléments, métalliques et non métalliques, à l'état de trace (p.p.m) et même d'ultra traces (p.p.b). [39]

Cette méthode est basée sur la mesure de l'absorbance des atomes à l'état ionisé de l'élément, soumis à une lumière de longueur d'onde spécifique de l'élément à doser. [40]

· Principe

La figure II.11 ci-dessous présente le principe de fonctionnement de la Spectrométrie d'Absorption Atomique à flamme (SAA) où le faisceau lumineux issu de la source (1) traverse la chambre d'absorption (flamme ou four) (2) dans laquelle l'élément se trouve porté à l'état

atomique, avant d'être focalisé sur la fente d'entrée d'un monochromateur (3) qui sélectionne un intervalle très étroit de longueur d'onde. Le trajet optique se termine sur la fenêtre d'entrée du détecteur (4). [40]

On mesure ainsi l'affaiblissement du rayonnement. Les longueurs d'onde et les intensités énergétiques absorbées sont fonctions de la nature et de la concentration de l'élément. Ce qui nous permet de déceler (analyse qualitative) et/ou de doser (analyse quantitative) les éléments.

Absorption = Atom fondamental + $h\nu$ absorbé \rightarrow Atom excité.

$A = \log (I_0/I)$II.6

Où A est l'absorbance de l'échantillon à l'état de vapeur atomique.

La Figure II.11. représente le Principe de fonctionnement de la Spectrométrie d'Absorption Atomique à flamme (SAAF).

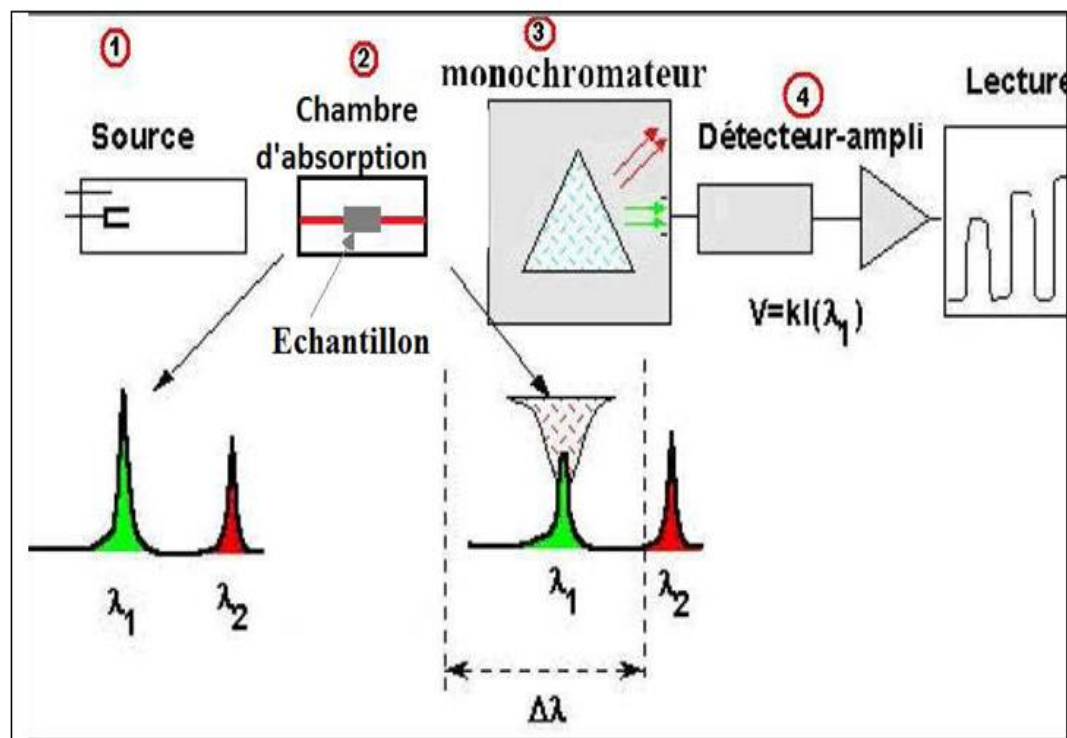


Figure II.10. Principe de fonctionnement de la Spectrométrie d'Absorption Atomique à flamme (SAAF).

conclusion

Plusieurs techniques sont utilisés dans L'analyse de la poussière de four a ciment pour la caractérisation thermique sont adaptées pour l'étude des transformations qui se produisent avec une consommation ou une libération d'énergie associée à une perte de masse.

La diffraction des rayons X apporte des informations complémentaires pour identifier la nature et la structure de produits cristallisés, la fluorescence X est une méthode permet d'obtenir des renseignements quantitatifs sur la composition élémentaire d'un échantillon solide.

CHAPITRE III
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1.INTRODUCTION

Les résultats obtenus par les différentes méthodes d'analyses et de caractérisation utilisées, ainsi que leurs interprétations sont consignés dans ce chapitre.

On rappelle que nos échantillons ont été prélevés au niveau de la cimenterie de L'afarge - M'sila, désignés comme EA, EB, EC, ED et CKD. et montrés sur la figure III.1.



Figure III.1. les point de prélèvement dans la cimenterie

III.2. COMPOSITION CHIMIQUE

Les analyses chimiques ont été réalisées au niveau de laboratoire de la cimenterie de L'afarge à M'sila à l'aide d'un appareil QCX (fluorescence X). Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau III.1. Pour les composés majeurs des échantillons des CKD, on trouve préalablement le quartz (SiO_2), l'oxyde de calcium (CaO) et l'alumine (Al_2O_3), les autres composés sont présents avec des teneurs faibles.

Tableau III.1. Composition chimique des échantillons EA, EB, EC, ED et CKD

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O
EA	28.03	8.06	4.05	33.18	1.91	0.12	0.87	0.03
EB	31.62	8.37	4.43	30.68	1.74	0.09	0.90	0.04
EC	26.57	5.93	3.06	34.56	1.38	0.07	0.76	0.02
ED	32.59	7.41	3.74	31.42	1.40	0.05	0.81	0.03
CKD	11.93	4.16	2.26	42.74	1.13	0.61	0.54	0.00

.MgO SiO₃ sont diminués lorsqu'on a éloigné la zone de production mais les autres éléments sont variés aléatoirement, ils dépendent de la composition du sol ; La comparaison de la composition des échantillons EA, EB, EC, ED montre une similitude dans les teneurs faibles en sodium, potassium, soufre et magnésium. Par contre, les teneurs en SiO₂, Al₂O₃ et CaO sont élevées dans nos échantillons. La présence de ces constituants dans les CKD peut engendrer des risques pour l'environnement (la production est provoquée par des maladies comme le cancer et a un mauvais effet sur la rentabilité de la production d'agriculture ...etc)

III.3. COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

Les spectrogrammes illustrés en figure III.2 à III.6 obtenus lors de la caractérisation minéralogique montrent la présence de plusieurs phases cristallisées à différents angles de diffraction contenant principalement la calcite, le quartz et la présence de phases contenant des métaux lourds tels que CrPO₄, CaZn(CO₃)₂, CaCO₃, SiO₂, Ca(Fe.Mg)(CO₃), Ca₃Si₂O₇, AlH(SO₄)₂, NaNO₃, 6NaAlSi₄O₄.2PbSO₄,

KNaCa₂(PO₄)₂, CaO, le pourcentage de ces éléments sont présentés dans le tableau III.1.

Les résultats obtenus sont présentés sur les figures III.2 à III.6

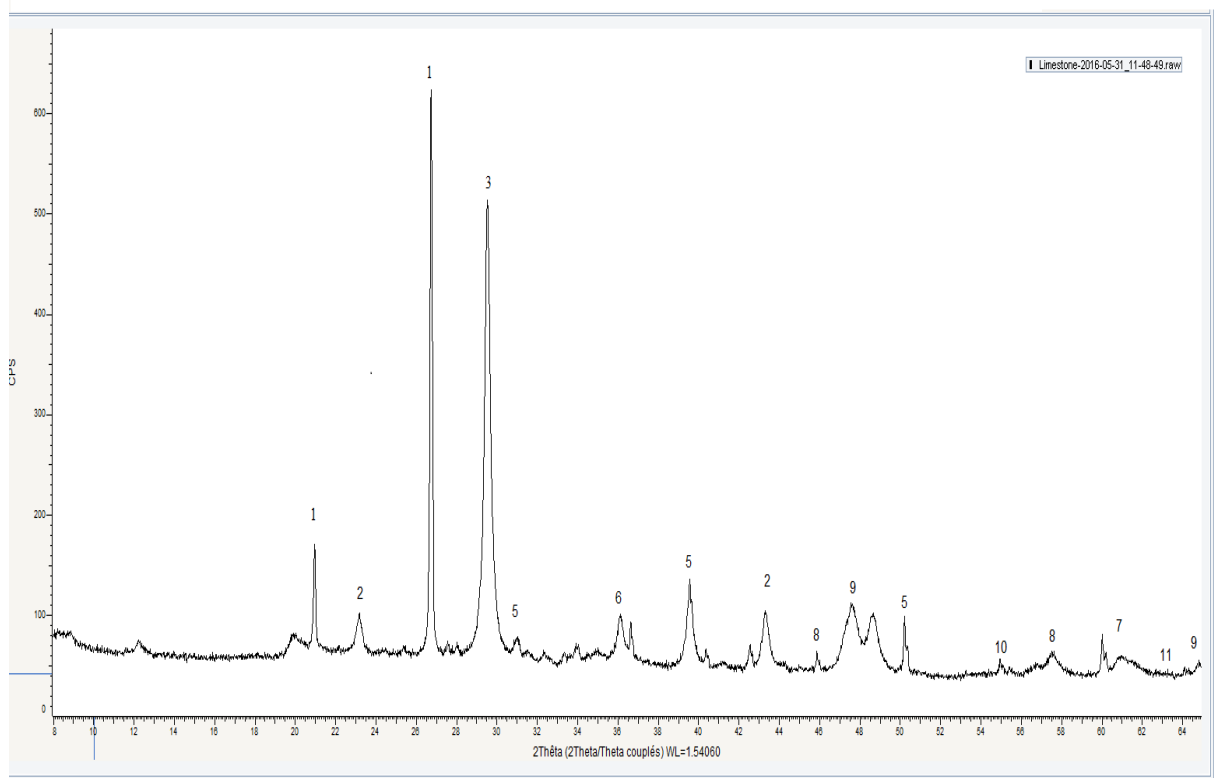


Figure III.2. Diffractogramme DRX de l'échantillon EA

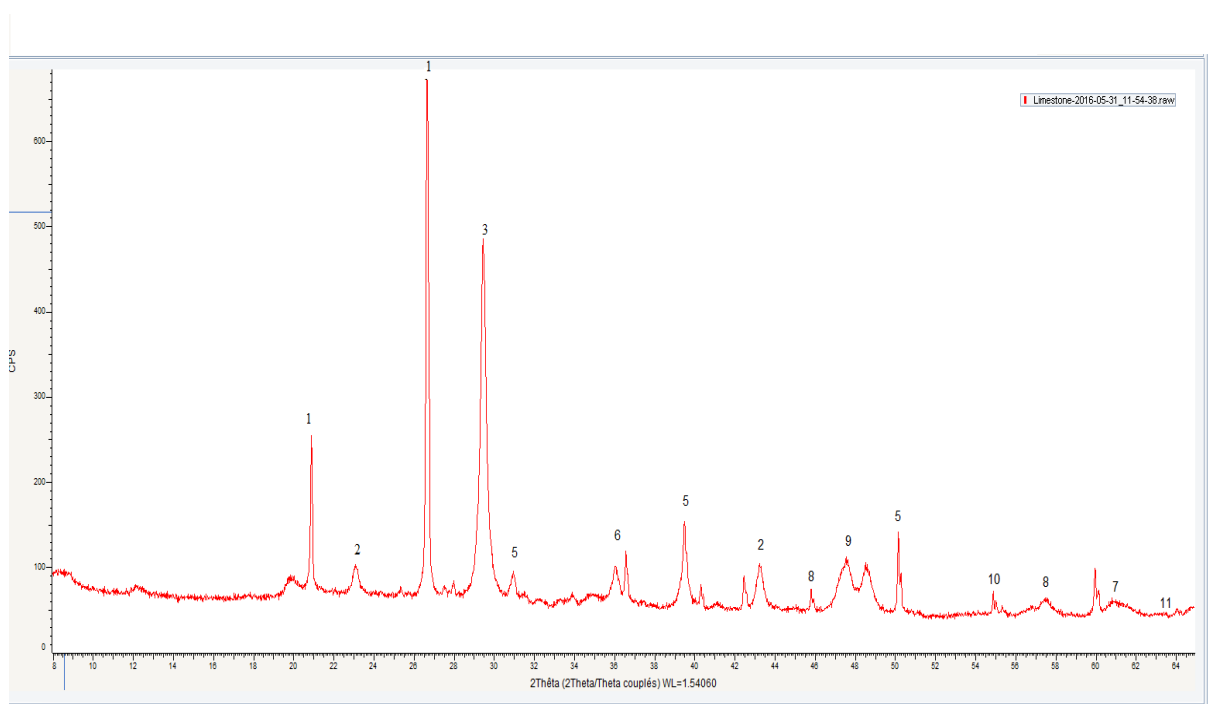


Figure III.3. Diffractogramme DRX de l'échantillon EB

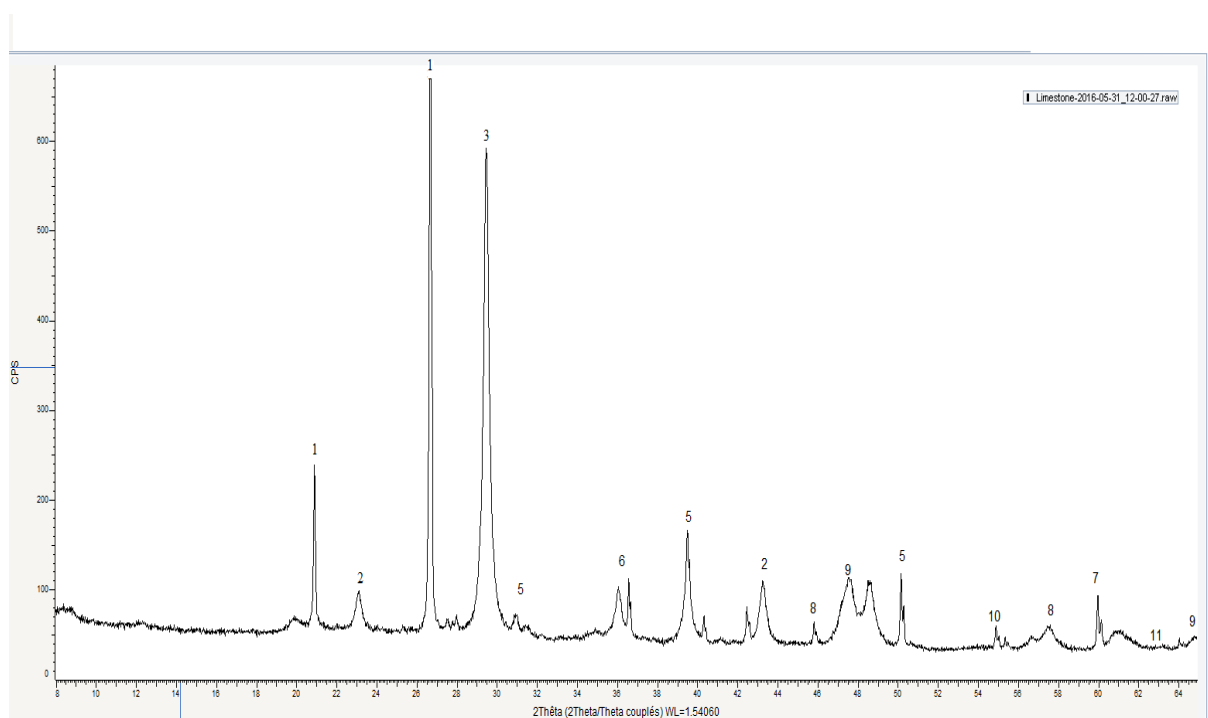


Figure III.4. Diffractogramme DRX de l'échantillon EC

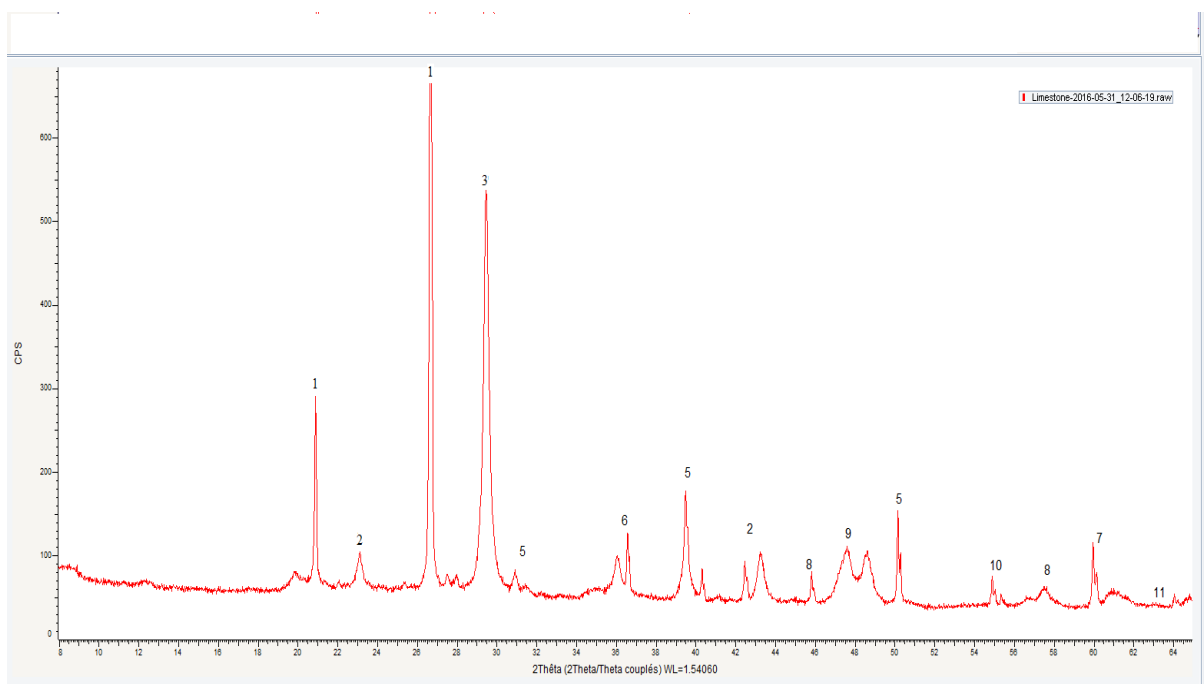


Figure III.5. Diffractogramme DRX de l'échantillon ED

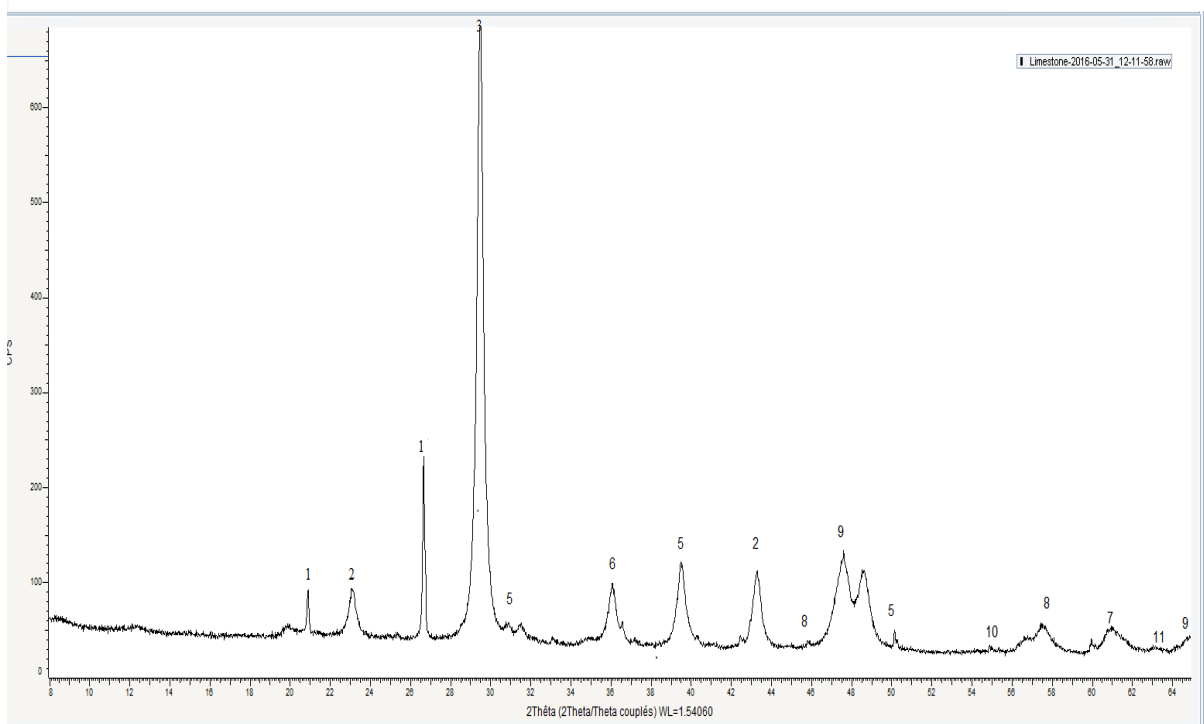


Figure III.6. Diffractogramme DRX de l'échantillon CKD.

Les différentes phases illustrées, sur les diffractogrammes de différents échantillons, sont consignées et résumées dans le tableau III.2. On constate la présence de métaux lourds, tel que le chrome, le zinc et le plomb, dans les phases détectées qui peuvent être source d'empoisonnement de l'environnement.

Tableau III.2. Phases identifiées pour les échantillons EA, EB, EC, ED, CKD.

Indices	Phase	Nom de la phase	Angles de diffraction
1	CaCO ₃	Calcite	20,85 et 26,78
2	SiO ₂	Quartz	23,24 et 43,27
3	Ca(Fe.Mg)(CO ₃)	Ankerite	29,46
4	Ca ₃ SiO ₂ O ₇	Rankinite	31,67
5	CrPO ₄	Chrome, Phosphate	30,79 et 39,38
6	CaZn (CO ₃) ₂	Minrecrodite	36,11
7	AlH (SO ₄) ₂	Aluminium d'hydrogène de Sulfate	41,03 et 60,88
8	NaNO ₃	Sodium de Nitrate	45,96
9	6NaAlSiO ₄ .2PbSO ₄	Sodium, Aluminium, Silice, plomb, Sulfate	47,56 et 64,84
10	KNa Ca ₂ (PO ₄) ₂	Potassium, Sodium, Calcium, phosphate	56
11	CaO	Oxyde de Calcium	63,20 et 77,46

Tableau III.3. Phases identifiées pour les échantillons EA, EB, EC, ED et CKD

	% Calcite	% Quartz	% Autre
EA	63.38	18.89	17.73
EB	54.54	25.96	19.50
EC	63.21	23.08	13.71
ED	51.58	29.11	19.31
CKD	85.33	5.46	9.21

II.4. ANALYSE PAR LA SPECTROPHOTOMETRIE INFRAROUGE (IR)

Le rayonnement infrarouge (IR) occupe la portion du spectre électromagnétique comprise entre celle du visible et celle des micro-ondes à savoir la région comprise entre 4000 et 400 cm⁻¹. Des informations utiles sur la structure d'un échantillon peuvent être obtenues par simple examen du spectre en se référant à des tables générales regroupant les fréquences des groupes fonctionnels caractéristiques. Ces dernières nous seront les plus utiles. Les résultats obtenus sont présentés sur les figures III.7 à III.11

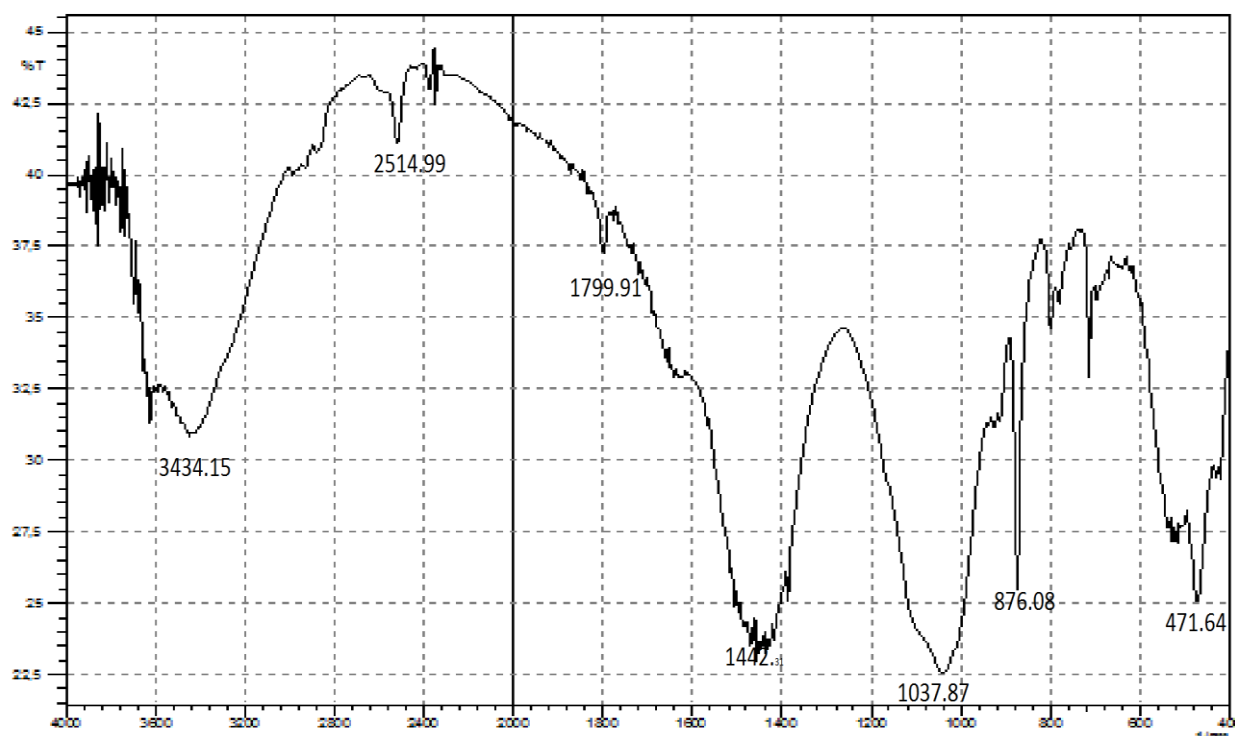


Figure III.7. Spectre infrarouge de échantillon EA.

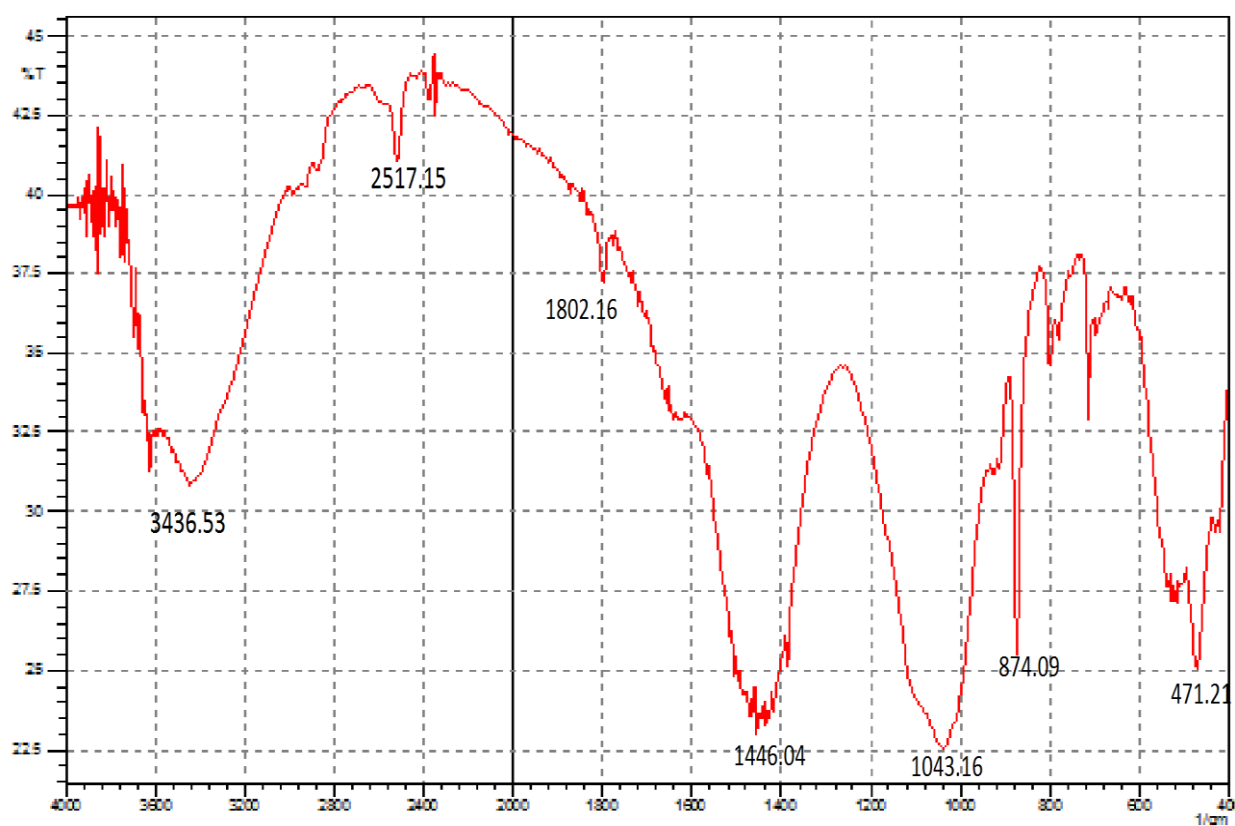


Figure III.8. Spectre infrarouge de échantillon EB.

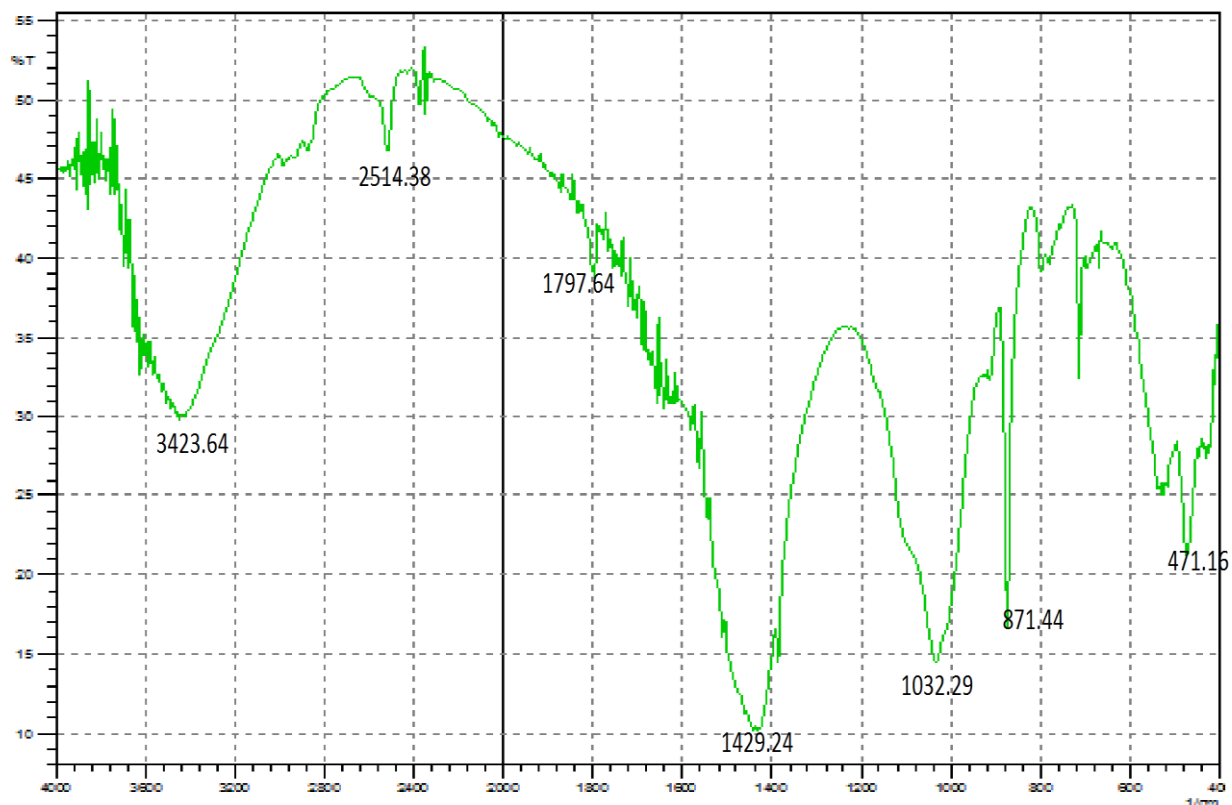


Figure III.9. Spectre infrarouge de échantillon EC.

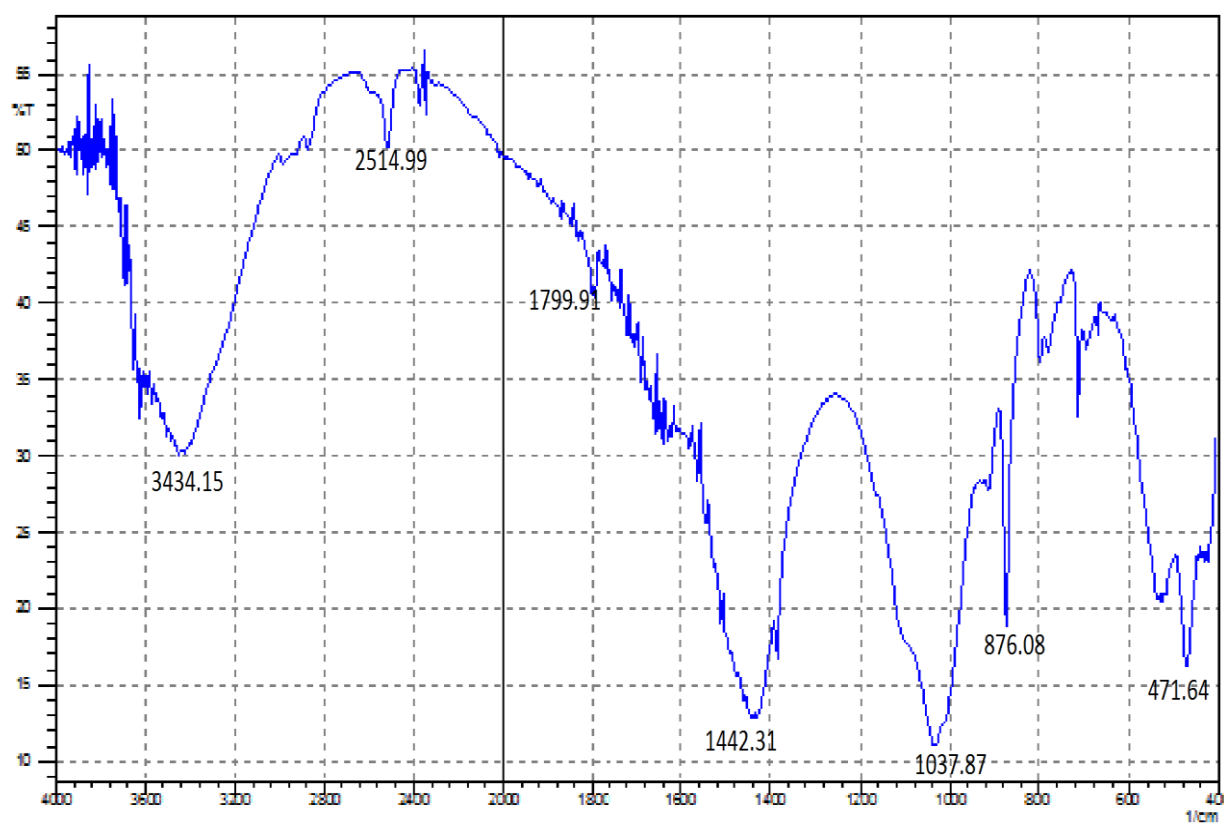


Figure III.10. Spectre infrarouge de échantillon ED.

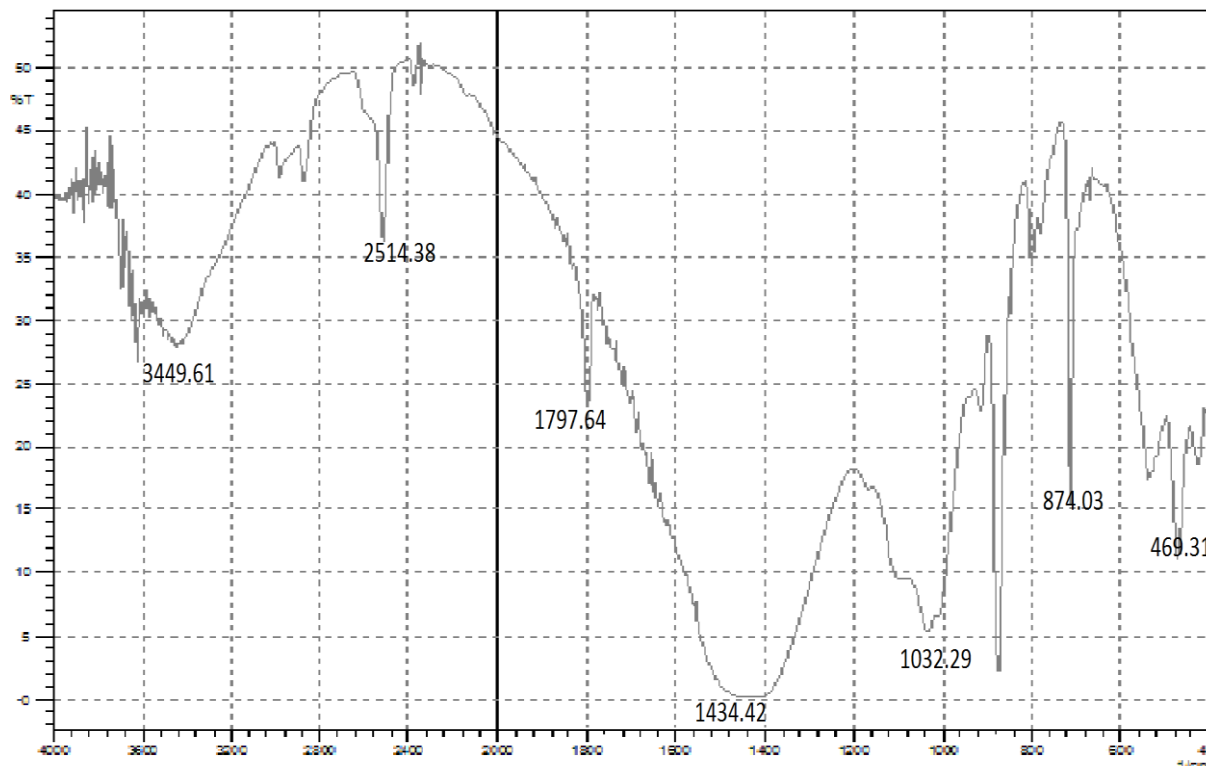


Figure III.11. Spectre infrarouge de échantillon CKD.

Les résultats regroupés dans le tableau III.4 confirment la présence de composés organiques dans nos échantillons, comme les amines et cycle aromatique. De ce fait, on conclut que ces composés peuvent être à l'origine de la pollution environnementale.

Tableau III.4. Résultats des analyses des échantillons EA, EB, EC, ED, CKD par spectrophotométrie IR.

Position d'ondes (cm-1)	Groupe ment fonctionnel	Constituant associé
3446,79	O-H	Hydroxyde
2515,17	O-H	Carboxylique
1799,57	C≡C	Alcyne
1427,32	-HC=CH- ou C-O	Cycle aromatique Carboxylate
1029,98	C-N	Amine
877,18	Si-O	Quartz
478,03	C-Cl	Chlorures

III.5. COMPOSITION CHIMIQUE ELEMENTAIRE - TEST TCLP

Le but de ce test est de mesurer les fractions maximales mobilisables des éléments considérés comme polluants tels que le zinc, le cadmium, le chrome, cuivre, ainsi que d'autres constituants. Ces données permettent de déterminer les quantités initiales de ces éléments dans les échantillons EA, EB, EC, ED et CKD. Les résultats du test TCLP effectué sur les échantillons EA, EB, EC, ED et CKD sont présentés dans le tableau III.5.

Tableau III.5. Evolution des concentrations des métaux lourds des échantillons EA, EB, EC, ED et CKD.

Désignation	Concentration en mg/Kg					
	Cd ⁺	Cu ⁺²	Zn ⁺²	Cr ⁺³	Ni ⁺²	Cl ⁻
Normes	2	100	300	50	50	15000
EA	0.2	2.86	0.18	0.5	0.16	1917
EB	0.16	2.76	0.14	0.44	0.14	2130
EC	0.08	1.64	0.01	0.48	0.04	1950
ED	0.08	0.64	0.01	0.34	0.02	1700
CKD	0.12	0.44	0.2	0.599	0.18	3195
Lac	/	0.0242	0.0116	/	/	/
puit	/	0.0097	0.2429	/	/	/

- **Teneurs en chrome**

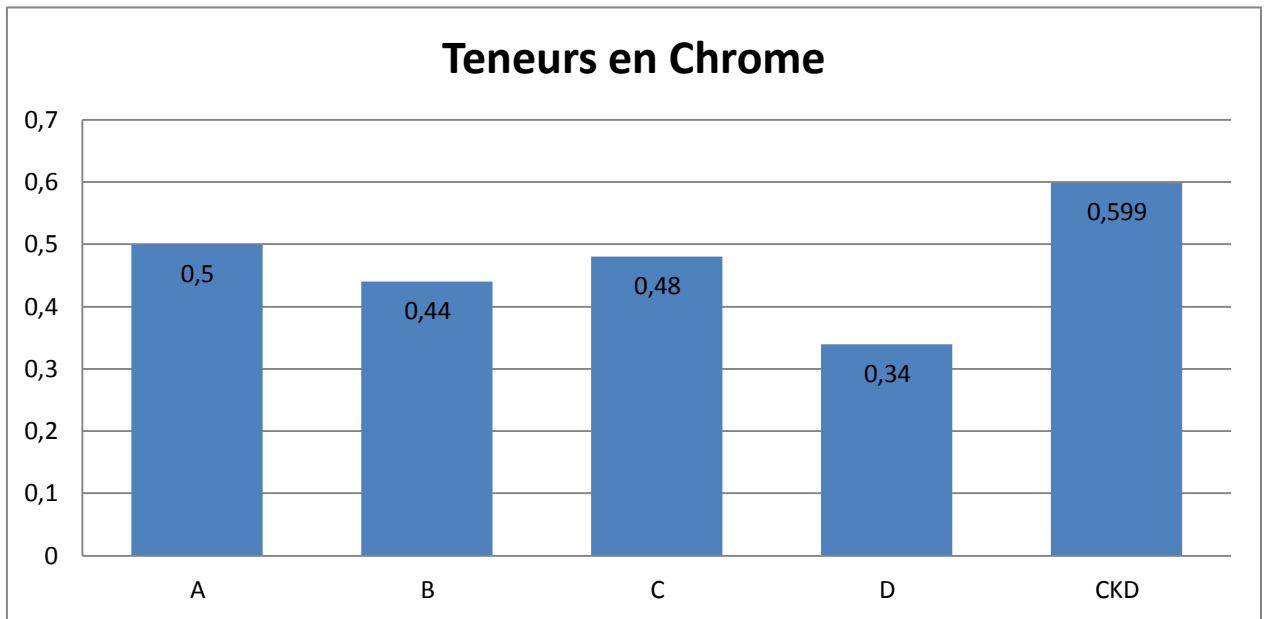


Figure III.12. Teneurs en Chrome .

D'après le graphe de Chrome, on remarque que les concentrations en chrome dans les échantillons.

Les valeurs de concentration sont convergentes et varient entre 0.599 et 0.34 mg/kg. On a dit que ces valeurs sont négligeables par rapport à la norme.

- **Teneur en Zinc**

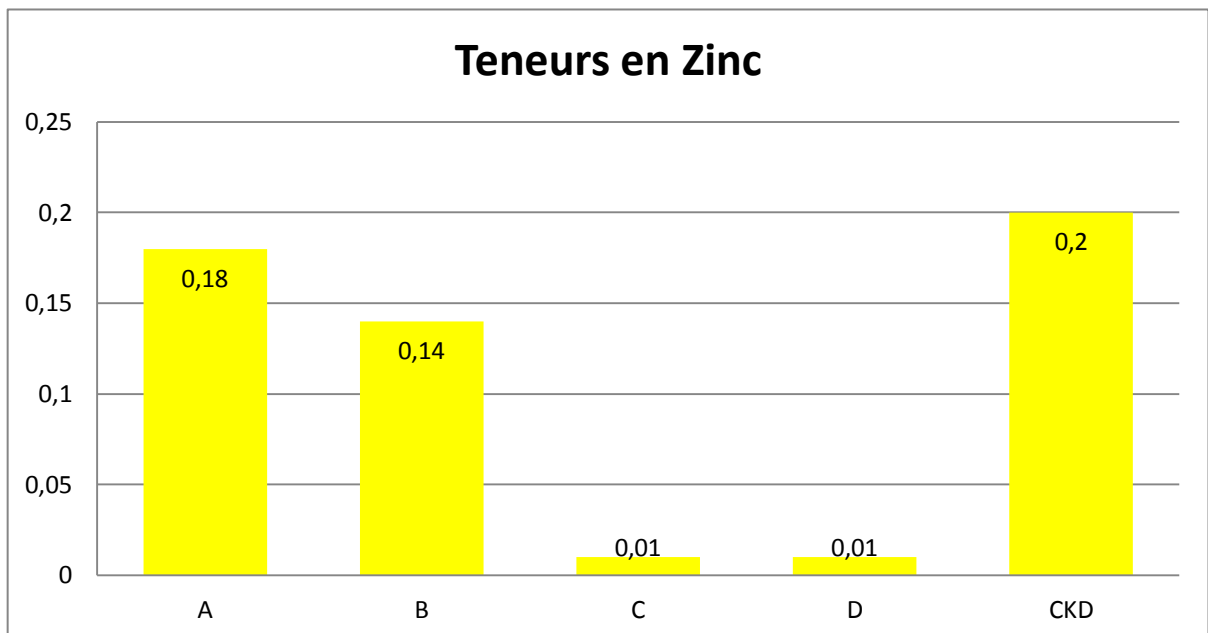


Figure III.13. Teneurs en Zinc.

D'après le graphe de Zinc, On remarque que la concentration de Zinc dans les échantillons prélevé à proximité de l'usine ce dernier les valeur sont varié dans intervalle de 0.01 à 0.2 mg/kg. Ces concentrations sont négligeables si on la compare à la norme.

- **Teneurs en chlorure**

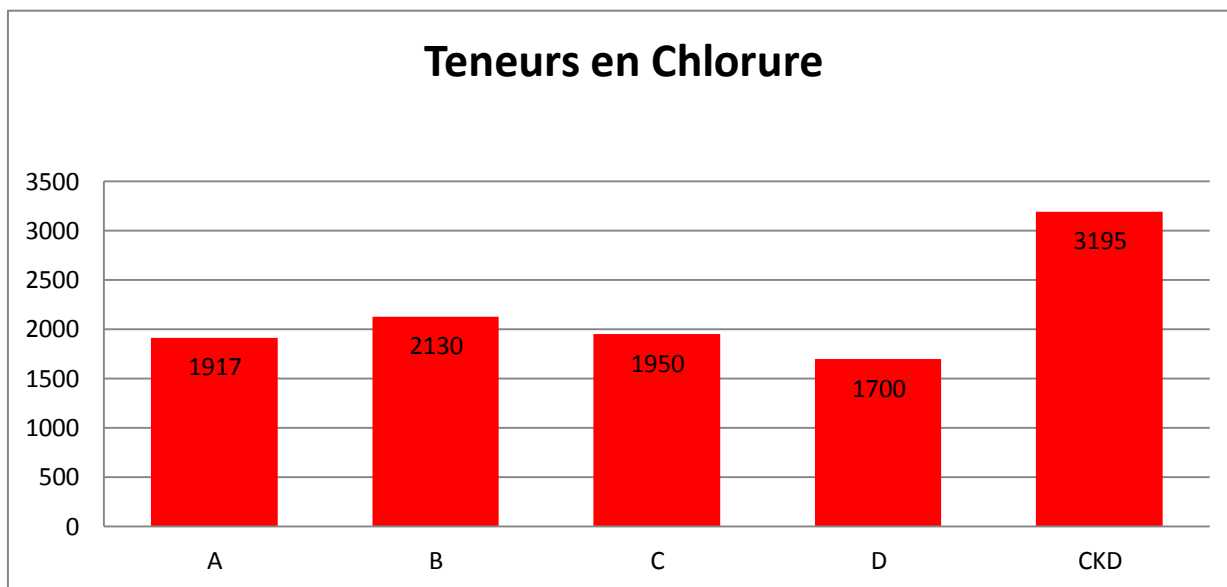


Figure III.14. Teneurs en Chlorure.

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenu sen concentrations variables dans les eaux naturelles et des sols, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Il sont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux. D'après les résultats regroupés dans le graphe on remarque que les concertations en chlorure dans les échantillons ne dépasse pas la norme.et les valeurs sont convergeant entre 1700 et 3195 mg/kg.

- **Teneurs en Cadmium**

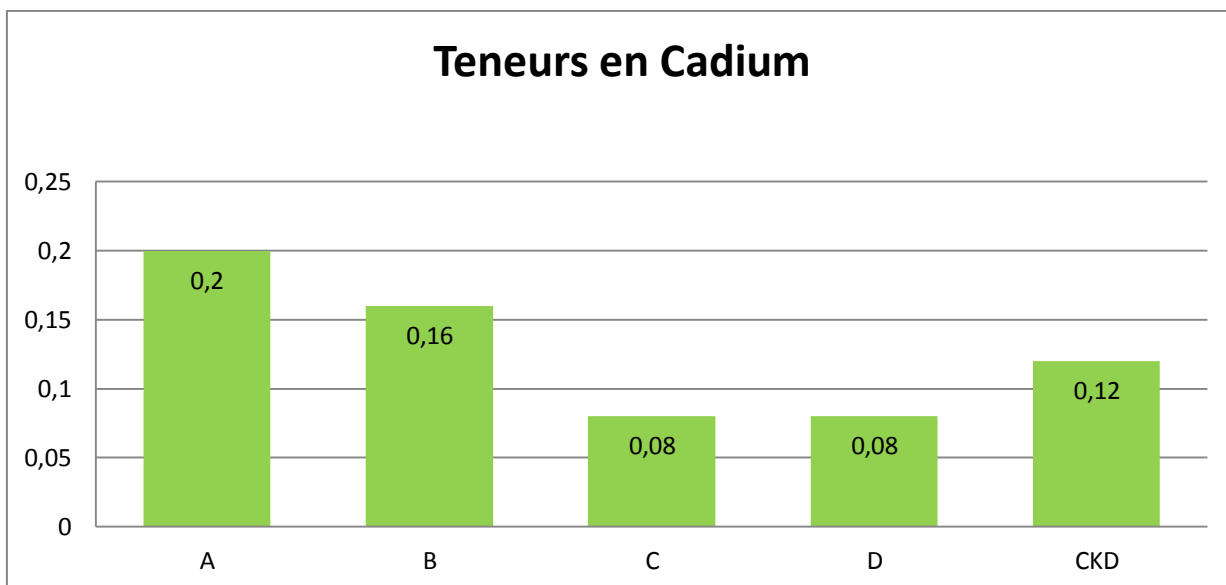


Figure III.15. Teneurs en Cadmium.

On remarque d'après le graphe que les concentrations en cadmium dans les échantillons varient entre 0.08 et 0.2 mg/kg. Ces concentrations sont négligeables si on la compare à la norme. Ce sont diminués lorsqu'on s'éloigne l'usine.

- **Teneurs en Cuivre**

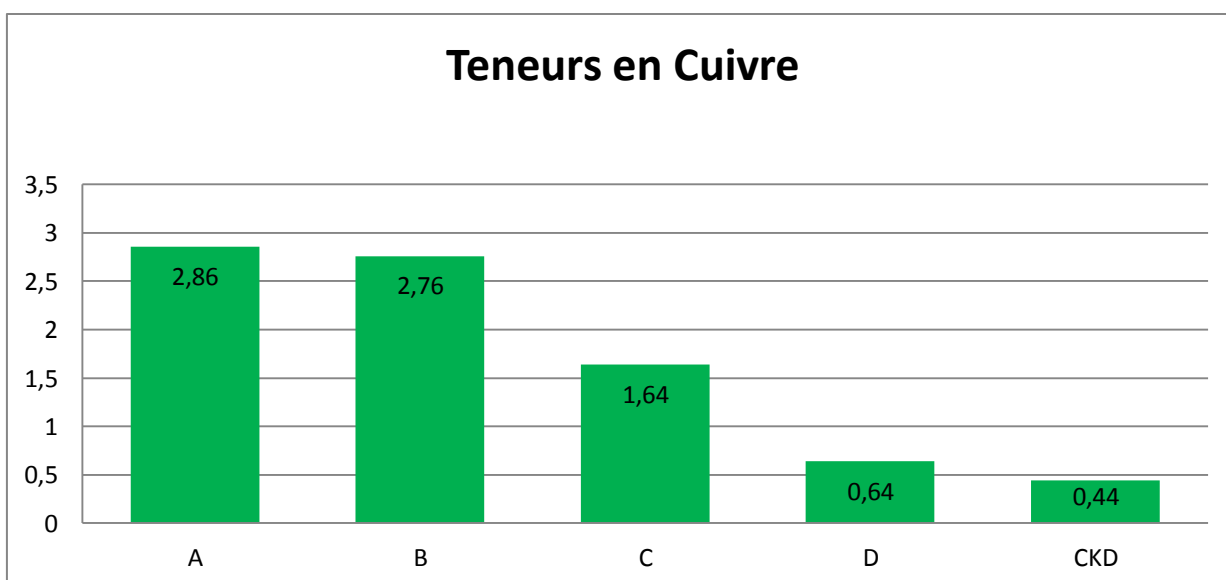


Figure III.16. Teneurs en Cuivre.

On remarque d'après les résultats de graphe de cuivre que les concentrations en cuivre dans les échantillons sont de l'ordre de 0.44 et 2.86 mg/kg, Ces concentrations sont

négligeables si on la compare à la norme. Ce sont diminué lorsqu'on s'éloigner l'usine.

- **Teneurs en Nickel**

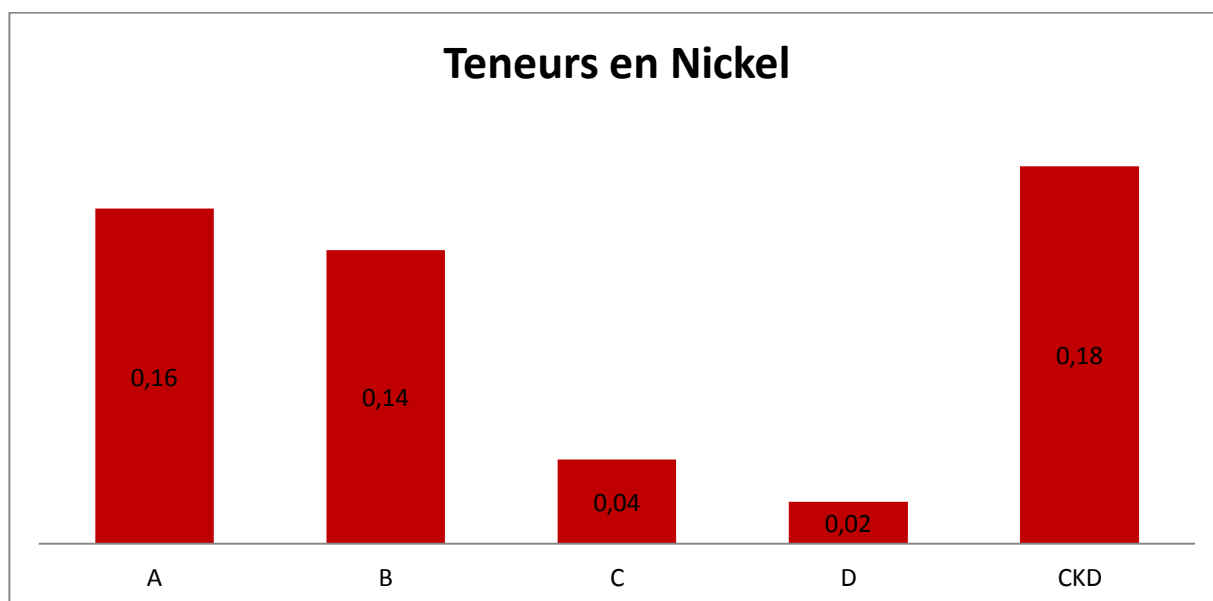


Figure III.17. Teneurs en Nickel.

D'après le graphe de Nickel on remarque que les concentrations en Nickel dans les échantillons sont de l'ordre de 0.02 et 0.18 mg/kg, Ces concentrations sont négligeables si on la compare à la norme.

III.6. Résultats d'analyses des eaux de puit et de lac par la Spectrophotométrie d'absorption atomique a flamme (SAAF) :

D'après les résultats de tableau III.5. ona :

.Faible teneur (concentration) de Zn dans le puit et dans lac.

.Faible teneur (concentration) de Cu dans le puit et dans lac.

Fe :

	[c]
lac	0
puit	0,0132

Une concentration nulle de Fe dans lac et faible dans puit.

Pb²⁺ :

	[c]
lac	0
puit	0,0440

Une concentration nulle de Pb^{2+} dans lac et faible dans le puit.

- D'après tout les résultats on remarque que les concentrations des métaux lourds sont faibles et perfoit nulles dans le puit et lac .

On conclu que tous les concentrations des éléments déterminants après le test de TCLP sont inférieure à la norme.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le but de notre étude est de déterminer par différentes méthodes de caractérisation les impacts des poussières du four à ciment (CKD) de la cimenterie de Lafarge à M'sila sur l'environnement.

Des différentes techniques de caractérisation telles que le test de lixiviation (TCLP) ont été réalisées afin de tirer des conclusions sur l'état des poussières du four.

- Les résultats de TCLP montrent des concentrations faibles en chlorure et en zinc.
- L'analyse par diffraction X a permis de mettre en évidence l'existence de systèmes poly-phasiques ou il a été identifié, comme phases majoritaires, le quartz, la calcite, ainsi que la présence des phases contenant des métaux lourds tels que le plomb, le zinc, et le chrome.
- L'analyse par la fluorescence X a montré que les composés majeurs des échantillons des CKD, sont le quartz (SiO_2), l'oxyde de calcium (CaO) et l'alumine (Al_2O_3), les autres composés sont présents avec des teneurs faibles.
- L'analyse par spectroscopie infrarouge montre la présence de la matière organique dans les poussières du four, caractérisée par la liaison $-\text{CH}=\text{CH}-$ ou par ($\text{O}-\text{H}$, $\text{C}\equiv\text{C}$, $\text{C}-\text{Cl}$etc) d'un cycle aromatique ; ces composés peuvent être à l'origine de la pollution environnementale.
- D'après toutes les analyses de nos échantillons on remarque qu'il y a des faibles impacts sur l'environnement de la cimenterie de Lafarge à M'sila.

Toutes les analyses réalisées convergent vers une conclusion que la cimenterie de M'sila n'affecte pas l'environnement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] BENDIB. A, *Historique du ciment et situation de la production du ciment en Algérie de 1962 à 2005. Groupe industriel et Commercial de Ciment et Dérives de l'Est/ GIC, (2006).*
- [2] Adaska, W.S. and Taubert, D.H., / *Beneficial Uses Of Cement Kiln Dust /, Presented to IEEE / PCA 50th Cement Industry Technical Conference, Miami, FL, May 19-22, 2008, pp.1-19.*
- [3] Naik, T.R., Canpolat, F. and Chun, Y.M.,/ *Uses of CKD other than for Flue Gas Desulfurization /, Center for by-products utilization, A CBU Report for Holcim (US), Report No. CBU-2003-35,2003, pp.1-33.*
- [4] / *Beneficial Use of Industrial By-Products /, Identification and Review of Material Specifications, Performance Standards, and Technical Guidance, Madison, Prepared For Inc. / NCASI Working Copy, 2003, pp.1-65*
- [5] Williams, R.J., / *Effects of Cement Kiln Dust (CKD) Chemistry and Content on Properties of Controlled Low-Strength Materials (CLSM) /, M.Sc Thesis, University of South Carolina, 2005, pp.1-100.*
- [6] HENNI-CHEBRA.K, BOUGARA.A,KADRI.E.,*Détermination du niveau d'empoussièrement engendrée par la fabrication du ciment.1^{er} Séminaire National de Génie Civil sur les Matériaux et Protection de l'Environnement, (2011).*
- [7] COMMISSION. E., *Document de référence sur les meilleures techniques disponibles industries du ciment, de la chaux et de la magnésie. Ministère de l'énergie et du développement durable et de la mer en France, Paris, p. 10-121, (2010).*
- [8] Ciment, St.-L., *L'intégration du développement durable dans la fabrication du ciment et du béton au Québec. Direction du patrimoine écologique et du développement durable, Ministère de l'Environnement. Québec. (2005).*
- [9] Fiches. T., *CIM béton, construire avec les produits préfabriqués en béton. Ecole française du béton, CERIB, Fédération de l'industrie du béton, (2006).*
- [10] STENGER R., *Partie I : Polluants contenus dans les fumées. Colorado Springs, USA, (1998).*
- [11] M. R. KHELIFA, S. BADA, M. AL-MUKHTAR., *Les cimenteries et l'environnement cas de la cimenterie de ain-touta., SBEIDCO – 1st International Conférence on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria), du 12-14 octobre (2009).*

- [12] Adaska, S. Wayne and Taubert, H. Donald, 2008, "Beneficial uses of cement kiln dust ", Report presented to the 50th cement industry technical conf., Miami, 19-22 May 2008, <http://www.concretethinker.com/content/upload/437.pdf>.
- [13] Klemm, W. A., 1993, / Cement kiln dust: a look at its uses and characteristics /, Proceedings of the 29th International cement seminar, U.S.A.
- [14] Al-Shadeed, Sabah O. Hamad, 2009, "Investigation of cement dust from Iraqi factories", PhD. Thesis, University of Technology.
- [15] SAMET, B. (1995) Effets des paramètres de cuisson sur la distribution des alcalis et sur l'hydratation des ciments, Thèse de doctorat es sciences appliquées, Université de Sherbrooke Québec, Canada, 200p.
- [16] BUCCHI, R. (1981) Features on the rôle of minor compounds in cement clinker, Part Ii, World Cement Technology., vol. 12, n06, p. 258-273.
- [17] TAGNIT-HAMOU A., SARKAR, S. L. The influence of varying sulfur content on the microstructure of commercial clinkers and the properties of cement, World Cement Technology, vol. 2 1, no 9, p. 389.
- [18] CPCA (Association Canadienne du Cement Portland) (1992). An Analysis of Selected Trace Metals in Cement and Kiln Dust, USA., 35 p.
- [19] AOUDIA M. T., Les rejets atmosphériques dans le secteur de la production du ciment et leurs impacts sur l'environnement. Moyens d'évaluation et de contrôle. Séminaire CETIM, Hôtel Hilton d'Alger, p.2-213. Du 28-30 Octobre (2001).
- [20] HARLEY. J. L'impact des fours à ciment sur l'environnement. Miza, groud Work, p.9. (2007).
- [21] SAMET, B., Effets des paramètres de cuisson sur la distribution des alcalis et sur l'hydratation des ciments. Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke Québec, Canada, p.200, (1995).
- [22] BUCCHI, R., Features on the rôle of minor compounds in cement clinker, Part II., World Cement Technology, vol. 12, n° 06, p. 258-273, (1981).
- [23] CPCA (Association Canadienne du Ciment Portland)., An Analysis of Selected Tracc Metals in Cement and Kiln Dust. USA, p. 35. (1992).
- [24] TAGNIT-HAMOU A., SARKAR, S. L., The influence of varying sulfur content on the microstructure of commercial clinckers and the properties of cement., World Cement Technology, vol. 21, n° 9, p. 389, (1990).

- [25] SAPHO. L., *migration cationique et anionique des métaux toxiques (plomb, chrome et zinc) dans les sols sous l'effet d'un champ électrique*, Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, (2000).
- [26] T. DELINEAU., *Les argiles du bassin des Charentes (France) : Analyses typologique, cristalochimique, spéciation du fer et applications*, Thèse INPL, (1994).
- [27] BOURRELIER, P. H. BERTHELIN, J., *Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Rapport n°42 à l'Académie des Sciences. Paris, France : Lavoisier Tec & Doc, p 440, (2008).*
- [28] BAIZE. D., *Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols. Edition INRA, (France) p 408, (1998).*
- [29] TOKALIOGLU. S, KARTAL. S, ELCI. L., *Determination of heavy metals and speciation in lake sediments by flame absorption spectrometry after a four-stage sequential extraction procedure. Analytical Chemical. Acte, p 33-40, (2000).*
- [30] AZIMI. S., *Sources, flux et bilan des retombées atmosphériques de métaux en ile de France. Thèse de doctorat, (2004).*
- [31] MCBRIDE, M. B., *Trace metals and sulfur in soils and forage of a chronic wasting disease locus, J. Environ Chem, p 134-139, 4 (2007).*
- [32] BOB. H. *Product Group Manager, Sylvania, Joe Howley, Environmental Marketing Manager, GE Lighting February 24, (2003).*
- [33] YUAN.V, CHANG. W & CHANG. B., *Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in sludge toxics. Tec Doc Lavoisier, Paris, ISBN, (2001).*
- [34] GARRABRANTS, A.C & KOSSON. D, S., *Use of a chelating agent to determine the metal availability for leaching from soils and wastes, in Waste materials in construction: putting theory into practice goumans/sende/vandersloot, editors, Elsevier science, Bv, p 229-239, (1997).*
- [35] ATKINS. M, MACPHEE. D, KINDNESS. A & GLASSER. F.P., *Solubility properties of ternary and quaternary compounds in the CaO-Al₂O₃-SO₃-H₂O system. Cement and Concrete Research, vol 21, p 991-998, (1991).*
- [36] VIOLAINE. M., *Modifications de la composition de déchets métallifères, miniers et industriels, stabilisés par liants hydrauliques et soumis à des tests de lixiviation, Thèse Doctorat, n° 07, (2007).*
- [37] VOGLAR. G.E & LESTAN. D., *Solidification/stabilization of metals contaminated industrial soil from former Zn smelter in Celje, Slovenia, using cement as a*

- hydraulic binder, Journal of Hazardous Materials, (2010).*
- [38] J. RODIER, B. LEGUBE, N. MERLET & coll., *L'Analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, 9^{ème} édition, (2009).*
- [39] FREJSEK., *Analyse de l'eau : aspect réglementaire et technique, p358, édition CRDP d'aquitaine France, (2002).*
- [40] ROUESSAC. F, ROUESSAC. A & CRUCHE. D., *Analyse chimique, Méthodes et techniques instrumentales modernes, Livre, Edition Dunod, (2004).*
- [41] Y. GUO, D. A. ROCKSTRAW., *Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation, Microporous and Mesoporous Materials. Vol 100, p 12–19, (2007).*
- [42] BOONAMNUAYVITAYA. V, CHAIYA. C, TANTHAPANICHAKOON. W., *The preparation and characterization of activated carbon from coffee residue, J. Chem. Eng. Japan*
vol 37, n° 12, (2004).
- [43] GILBERT. D., *Constantes des spectres infrarouges. Techniques de l'ingénieur (K1010), (1999).*
- [44] FARCAS. F & TOUZE. P., *La spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier, une méthode intéressante pour la caractérisation des ciments. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées 230, réf 4350, p 77-88, (2001).*
- [45] TOKALIOGLU. S, KARTAL. S, ELCI. L., *Determination of heavy metals and speciation in lake sediments by flame absorption spectrometry after a four-stage sequential extraction procedure. Analytical Chimical. Acte, p 33-40, (2000).*

ANNEXE

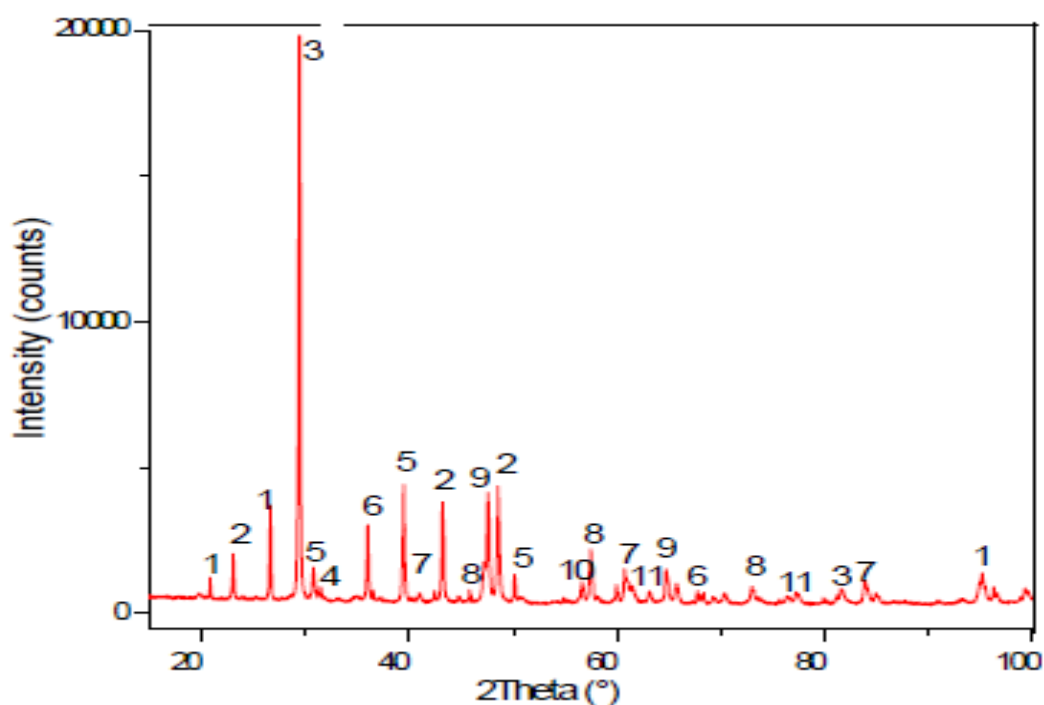


Figure.1. Diffractogramme DRX de l'échantillon CKD.

Tableau.1. Phases identifiées pour l'échantillon CKD.

Indice	Phase	Nom de la phase	angles de diffraction
1	CaCO ₃	Calcite	20,85 et 26,78
2	SiO ₂	Quartz	23,24 et 43,27
3	Ca(Fe.Mg)(CO ₃)	Ankerite	29,46
4	Ca ₃ SiO ₂ O ₇	Rankinite	31,67
5	CrPO ₄	Chrome, Phosphate	30,79 et 39,38
6	CaZn (CO ₃) ₂	Minrecrodite	36,11
7	AlH (SO ₄) ₂	Aluminium d'hydrogène de Sulfate	41,03 et 60,88
8	NaNO ₃	Sodium de Nitrate	45,96
9	6NaAlSiO ₄ .2PbSO ₄	Sodium, Aluminium,Silice, plomb, Sulfate	47,56 et 64,84
10	KNa Ca ₂ (PO ₄) ₂	Potassium, Sodium, Calcium, phosphate	56,86
11	CaO	Oxyde de Calcium	63,20 et 77,46

Norme des métaux lourds et les paramètres physique

Tableau.2. Différentes normes et références françaises de teneurs totales en métaux lourds dans les sols exprimées en mg/Kg /MS. [45]

	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn
Seuil d'anormalité	2	30	150	100	50	100	300	270
Seuil d'investigation	4	60	300	200	100	200	600	
Seuil de traitement	10	150	750	500	250	500	1500	
Seuil d'urgence	20	300	1500	1000	500	1000	3000	3000
Norme AFNOR NF U44-041(1985)	2		150	100	50	100	300	10
Article 11 de l'arrêté du 8/1/1998	2		150	100	50	100	300	

Tableau.3. Les paramètres limite réglementation française dans les sols agricoles (D'après le comité technique de qualité de sol, TC .190)

Paramètres	Normes
Les chlorures	15000 mg/Kg

Résumé :

Les cimenteries algériennes sont de plus en plus certifiées aux normes de qualité ISO 9002 et en cours de certification aux normes environnementales ISO 14000. Elles ne sont donc pas appelées uniquement à améliorer la qualité de leurs ciments et à baisser leurs coûts, mais aussi à remédier les problèmes de pollution causés par les rejets des poussières qu'elles dégagent à tous les niveaux de la fabrication de leurs ciments.

La cimenterie de L'afarj à Msila est l'une d'entre elle.

La catérésation de la poussière du four à ciment par défférents méthodes tell que DRX ,FX,IR ,SAA montre la présence des concentrations faibles en métaux lourds implique faibles impactes sur l'envirenement.

Summary :

Algerian cement plants are increasingly certified to the ISO quality standards 9002 and ongoing certification of environmental standards ISO 14000. They are therefore not called only to improve the quality of cement and to lower their costs, but also to address the pollution problems caused by waste they generate dust at all levels of the manufacture of their cements.

The cement plant lafarje to Msila is one of them.

Catérésation the dust of the cement kiln by defferents UDMA tell that XRD, FX, IR, AAS showed the presence of low concentrations of heavy metals involves low impacted on envirenement.

.