



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de chimie industrielle

## MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Génie chimique**

Réf. :

---

Présenté et soutenu par :

**Yahiaoui Fatima El-Zohra**

Le : 24 / 09 /2020

# Mise en place d'un système d'injection des déchets industriels et leur incinération dans les fours

---

**Jury :**

<b>DIAFI MALIKA</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Biskra</b>	<b>Président</b>
<b>SLIMANI ASSIA</b>	<b>MCB</b>	<b>Université de Biskra</b>	<b>Examineur</b>
<b>DALILA SMAIL</b>	<b>MCB</b>	<b>Université de Biskra</b>	<b>Encadreur</b>
<b>ABDELALI KHERCHI</b>	<b>Ingénieur</b>	<b>Cimenterie de Biskra</b>	<b>Co- Encadreur</b>

Année universitaire : 2019 – 2020



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de chimie industrielle

## MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine : Sciences et Techniques**

**Filière : Génie des procédés**

**Spécialité : Génie chimique**

Réf. :

---

Présenté et soutenu par :

**Yahiaoui Fatima El-zohra**

Le : 24 / 09 / 2020

# Mise en place d'un système d'injection des déchets industriels et leur incinération dans les fours

---

**Jury :**

<b>DIAFI MALIKA</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Biskra</b>	<b>Président</b>
<b>SLIMANI ASSIA</b>	<b>MCB</b>	<b>Université de Biskra</b>	<b>Examineur</b>
<b>DALILA SMAIL</b>	<b>MCB</b>	<b>Université de Biskra</b>	<b>Encadreur</b>
<b>ABDELALI KHERCHI</b>	<b>Ingénieur</b>	<b>Cimenterie de Biskra</b>	<b>Co- Encadreur</b>

Année universitaire : 2019 – 2020

## Résumé

Ce travail entre le cadre de la valorisation des déchets. Il peut d'une part montrer l'importance de la valorisation (l'élimination son aucune effet) et d'autre part aider au développement des débouchés des différentes filières de récupération des déchets.

Le ciment est l'un des matériaux de construction le plus utilisé dans le monde ; elle fait partie de notre vie, elle à mérité sa place par ces performances, sa souplesse d'emploi sa diversité dans les couleurs et les aspects. Afin d'assurer la croissance de cette matière de construction indispensable, l'approche du développement durable doit être intégrée à la production du ciment (l'utilisation des déchets dans la formulation de ciment ), afin de protéger l'environnement. C'est donc l'objectif principal de cette étude dont l'incinération des déchets au cours de la production de ciment son aucune influence sur la qualité dans le produits et sur l'environnement a été étudiier .Ce travail a été réalisés avec succès.

**Mots clés**: déchets, valorisation, ciment, clinker.

# *Remerciements*

En premier lieu, Je remercie Dieu qui m'a donné la force et le courage de réaliser ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements les plus sincères à mon encadreur **SMAIL Dalila** d'avoir accepté de m'encadrer, et de m'avoir procuré l'aide qu'il me faut pour réaliser ce travail.

Mes remerciements s'adresse aussi a Monsieur **KHERCHI Abdelali**, Ingénieur de la cimenterie El-Biskria, de BISKRA, d'avoir accepter de m'accorder un projet de fin étude au niveau de l'unité et de m'avoir accorder de l'importance pour suivre ce travail.

J'exprime mes vifs remerciements a **Mme DIAFI Malika** d'avoir accepté de présidé le jury pour juger mon travail.

Je remercie vivement **Mme SLIMANI Assia** d'avoir accepté de juger mon travail.

En fin, mes remerciements vont à toute l'équipe de la cimenterie et à tous ceux qu'on contribués de prêt ou de loin, au bon déroulement de ce travail.

# *Dédicaces*

Je dédie ce mémoire :

- A mon marie et ma famille
- Mes encadreurs « Smail Dalila » et « kherchi abdelali »
- A toutes l' équipe de cimenterie « Biskria »

# *Abréviations*

**T** : tonne

**MT** : million de tonne

**pH** : potentiel hydrogène

**mm** : Millimètre

**%** : Pourcentage

**g/t**: Gramme par tonne

**g** : gramme

**µm** : Micromètre

**°C** : degré Celsius

**m** : mètre

**T/h** : tonne par heure

**Kg**: kilo gramme

**ml**: Millilitre

**cm<sup>2</sup>/g** : centimètre carré/gramme

**S** : seconde

**T** : température

**HNO<sub>3</sub>**: Acide Nitrique

**Additif Wax** : C<sub>18</sub>H<sub>36</sub>O<sub>2</sub>N<sub>2</sub>

## Listes des figures

Figure II.1 : Schéma d'une carrière.....	13
Figure II.2 : Procédé d'extraction.....	14
Figure II.3 : Les phases d'un tir séquentiel.....	15
Figure II.4 : Les différentes étapes de transport de la matière.....	16
Figure II.5 : Photographies des roches de calcaires.....	18
Figure II.6 : Préparation de ciment cru.....	23
Figure II.7 : Quelque type broyeur.....	27
Figure II.8 : Principe de marche d'un cyclone.....	29
Figure II.9 : Principe de fonctionnement d'un échangeur.....	30
Figure II.10: Four .....	31
Figure II.11 : Réactions déroulant dans le four.....	32
Figure II.12 : Flamme.....	34
Figure II.13 : Refroidisseur.....	34
Figure III.1 : Classification des déchets (Leroy 1997).....	37
Figure III.2 : Stratégies de traitement des déchets.....	41
Figure III.3: Valorisation des déchets.....	42
Figure IV.1 : Pesé des masses.....	48
Figure IV. 2 : Mélange préparé masse d'un déchet avec 100 g de la farine.....	48
Figure IV.3 : Mélange dans le four a T=940°C.....	49
Figure IV.4 : Les étapes pour calculer la perte au feu.....	50
Figure IV.5 : Les étapes de détermination de pourcentage de chlorure.....	51
Figure IV.6: Les étapes de détermination de pourcentage de SO <sub>3</sub> .....	52
Figure IV.7 : Les étapes de la préparation d'une pastille.....	54

<b>Figure IV.8 : Préparation des échantillons.....</b>	<b>55</b>
<b>Figure IV.9 : Appareil de mesure de SSB.....</b>	<b>56</b>
<b>Figure IV.10 : Préparation de mortier.....</b>	<b>57</b>
<b>Figure IV. 11 : Préparation des échantillons pour la mesure des résistances.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure IV.12 : Incéniration de la matiere organique avant le mélange avec la farine.....</b>	<b>59</b>

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau I.1 : Principes caractéristiques des différentes voies.....</b>	<b>12</b>
<b>Tableau IV.1 : Les compositions du mortier.....</b>	<b>56</b>
<b>Tableau V.1 : Pourcentage de déchet.....</b>	<b>61</b>
<b>Tableau V.2 : La masse des déchets dans 100g de KN.....</b>	<b>61</b>
<b>Tableau V.3 : Résultats de l'analyse chimiques de mélange.....</b>	<b>62</b>
<b>Tableau V.4: Résultats des analyses par rayon X.....</b>	<b>63</b>
<b>Tableau V.5: Résultats des analyses physiques.....</b>	<b>64</b>

## Sommaire

Résumé.....	i
Remerciements.....	ii
Dédicace.....	iii
Abréviations.....	iv
Liste des figures.....	v
Liste des tableaux.....	vii
Sommaire.....	viii
Introduction générale.....	1
Références bibliographiques.....	4

## Partie bibliographique

### Chapitre I : L'industrie du ciment

I.1 Introduction.....	6
I.1.1 Historique des c.....	6
I.1.2 Nouvelle naissance (1817).....	6
I.1.3 Etape de fabrication (XIXe siècle).....	7
I.2.4 Innovation Lafarge (Twentieth Century.....	7
I.1.5 Historique des cimenteries .....	7
I.1.6 Effet sur l'environnement et la santé des polluants résultant de l'industrie du ciment... 8	
I.6.1.1 Impact sur l'environnement .....	8
I.6.1.2 Impact sur la santé humaine.....	8
<i>La maladie du poumon de saturation, de l'amiante « ASBSTOSE »</i> .....	8
a-1-Les méthodes de prévention .....	8
<i>a- Maladie pulmonaire silicose</i> .....	9
b-1-Les méthodes de prévention .....	9
<i>La maladie dermatite</i> .....	9
c-1-Les méthodes de prévention .....	10
<i>b- L'impact sur le sens de l'ouïe chez les humains</i> .....	10
d-1-Les méthodes de prévention .....	10
I.1.6.3 L'impacte sur la santé animale .....	10
I.1.6.4 L'impact sur les plantes .....	10

I.2 Procédés et techniques de fabrication du ciment.....	11
I.2.1 Différents procédés de fabrication du ciment .....	11
I.2.1.1 Procédé par voie sèche .....	11
I.2.1.2 Procédé par voie semi-sèche.....	11
I.2.1.3 Procédé par voies semi-humide .....	11
I.2.1.4 Procédé par voie humide.....	11

## **Chapitre II : Techniques de fabrication**

II.1 Introduction.....	13
II.2 La carrière.....	13
II.3. L'extraction.....	14
II.3.4 Le forage.....	14
II.3.5 Le déclenchement du tir .....	15
II.3.6 Le transport matière.....	16
II.3.6.1 Préparation de la matière première.....	16
Le calcaire.....	17
Les argiles.....	18
Les schistes .....	20
II.3.6.2 Le concassage .....	16
II.3.6.3 Les force de fractionnement.....	22
II.3.6.4 Choix du concasseur.....	22
II.3.6.5 L'atelier de concassage.....	22
II.4 Objectif de la préparation du cru .....	23
II.4.1 Choix de la composition minéralogique.....	24
II.4.2 Qualités du cru recherchées.....	25
II.4.2.1 Broyage.....	25
II.4.2.1.1 Procédés de broyage.....	26
a) Le broyage en circuit ouvert.....	26
c) Le broyage en circuit fermé.....	26
II.4.2.1.2 Préparation de la matière.....	27
II.5. le four.....	30
II.6. Le refroidisseur.....	34

## Chapitre III : Les déchets et leur valorisation

III.1 Définition.....	35
III.2 Classification des déchets.....	36
III.2.1 Les déchets ménagers et assimilés (DMA).....	38
III.2.2 Classification selon le producteur du déchet.....	38
III.2.3 Classification selon les propriétés du déchet.....	39
III.2.4 Classification selon le secteur de production.....	39
III.3 Traitement et valorisation des déchets.....	40
III.3.1 Définition du traitement des déchets.....	40
III.3.2 Stratégies de traitement des déchets.....	40
III.4 Pourquoi valoriser ?.....	42
Références bibliographiques.....	44

## Chapitre IV : Partie Pratique

IV.1 Introduction.....	46
IV.2 Paramètres chimiques.....	46
IV.2.1 Analyse Chimique .....	46
-Calcul et pesés des masses.....	46
-Préparation de mélange (farine+déchet) qui entrée après dans le four .....	47
IV.2.1.1 Calcul de la perte au feu (PF).....	48
IV.2.1.1.1 Appareillage.....	48
IV.2.1.1.2 Mode opératoire .....	48
IV.2.1.2 Détermination de chlorure.....	49
IV.2.2.2.1 Mode opératoire.....	49
IV.2.1.3 Détermination de SO <sub>3</sub> avec Appareil ELTRA CS 800.....	50
IV.2.1.4 Préparation des pastilles des échantillons pour XRF (Zetium) .....	52
IV.2.1.4.1 Mode opératoire.....	52
IV.3 Analyse Physiques .....	53
IV.3.1 Préparation des échantillons .....	53
IV.3.2 Détermination des paramètres physiques .....	54
IV.3.2.1 Détermination de SSB .....	54
IV.3.2.2 Détermination de la résistance.....	54

IV.3.2.2.1 Préparation du mortier .....	55
IV.3.2.2.2 Préparation des éprouvettes.....	55
IV.3.2.2.3 Essais des éprouvettes .....	56
IV.3.2.2.3.1 Résistance à flexion .....	56
IV.3.2.2.3.2 Résistance à la compression.....	57
IV. 4 Analyse de quelques types des déchets incinérés.....	57

## **Chapitre V : Résultats et discussion**

V.1 Résultats des calcul de masses.....	60
V.2 Résultats des paramètres chimiques.....	60
V.3 Résultats des paramètres chimiques du mélange.....	61
V.4 Résultats de l'analyse chimique obtenus par rayon X .....	63
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>65</b>

# **Introduction générale**

## Introduction

Le développement des activités humaines et industrielles concourt inéluctablement à l'augmentation de la production de déchets qui ont des impacts néfastes sur la santé humaine et l'environnement. Le traitement de ces déchets et leur élimination deviennent impératifs. Alors tout problème réside dans la recherche de solutions adaptées, écologiquement compatibles et en harmonie avec les directives environnementales et les intérêts socioéconomiques [1].

La production mondiale des déchets a doublé durant la dernière décennie et, selon une étude de la Banque mondiale publiée en 2012 (Hoorweg et Bhada- Tata, 2012), elle devrait encore augmenter de 69 % d'ici à 2025, si les tendances se poursuivent. Cette croissance est liée à l'évolution des pratiques de consommation et des modes de vie comme à l'augmentation des revenus [2].

L'industrie en Algérie a une part de responsabilité majeure dans la pollution globale du pays, notamment l'industrie pétrochimique, chimique, métallurgique et de traitement des minerais [3].

« L'Algérie produit annuellement près de 34 millions de tonnes de déchets, d'une valeur avoisinant les 40 milliards de DA, néanmoins les taux de recyclage demeure « infime », a déploré ». Le ministre de l'Environnement et Energies renouvelables .  
FATIMA ZAHRA ZEROUATI.

Selon les résultats d'une étude réalisés par le ministre de tutelle, « **un volume de 34 millions de tonnes de déchets/an est produits en Algérie, dont 13 millions de tonne de déchets ménagers assimilés** ». Ce volume de déchets est appelé à atteindre, d'après l'étude, les 70 millions de tonnes à l'horizon 2035. A indiqué Mm .FATIMA ZAHRA ZEROUATI dans son allocution d'ouverture des première assises régionales Centre-Ouest sur l'économie circulaire.

Certes, l'industrie de production reste un moteur essentiel de la croissance économique et de la compétitivité, mais il est également reconnu qu'une réduction de la pollution et l'utilisation rationnelle des ressources et de l'énergie, constituent des impératifs de développement durable et rendent fréquemment les coûts unitaires des produits moins élevés [3].

Cette situation nécessite, a-telle soutenu, < l'impératif d'une orientation, vers l'économie circulaire, qui nous permettra, dans une première étape, la réaction de 1000.000 postes d'emploi, dont 40.000 directs>.

Néanmoins, la ministre a estimé que concrétisation de cet objectif est tributaire « d'une révision de la législation relative à collecte et l'élimination des déchets », notamment celle concernant « la loi 19.01 datée de 2001, relative a la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets », et ce de façon à l'adapter aux nouvelles exigences socio-économiques et environnementales [4]

N'oublions pas les nuisances de l'industrie sur les ressources :

- L'exploitation des ressources naturelles telle que pratiquée actuellement n'est pas sans effets négatifs sur l'environnement :

o Cicatrices dans le paysage (carrières et mines).

o Destruction du patrimoine forestier.

o Sur exploitation des ressources (extraction abusive des sables de mer)[3].

Parmi les sources de déchets cité précédemment, on note les sources des déchets du aux cimenteries qu'ayant des différents types des déchets qui sont produits après de la fabrication de ciment.

Le ciment est un liant hydraulique (qui durcit sous l'action de l'eau), utilisé dans la préparation du béton, et aujourd'hui le plus souvent employé dans la confection des dallages, des parpaings, et des mortiers.

En 2008, plus de deux milliard de tonnes de ciment étaient produites par an dans le monde, à 80% produits et consommés dans les pays émergents, avec une croissance de plus de 5% par an de 1991 à 2008.

En 2006, pour le seul Europe, ce sont 267 millions de tonnes, soit 13% de la production mondiale. [5]

Le besoin de ciment implique un taux élevé de déchets, donc il faut des solutions pour l'éliminer et c'est le but de ce projet qui basé sur l'incinération des déchets et leur effets sur la qualité de ciment dans la cimenterie de Biskria.

Le mémoire a été conçu en plusieurs partie. La partie bibliographique comporte trois chapitres , le premier chapitre est porté sur l'industrie de ciment, le deuxième donne des informations générales sur les techniques de fabrication et le troisième introduit des connaissances sur les déchets et leurs valorisation. Quand à la partie expérimentale, un chapitre qui donne une description générale des matériaux, des procédés de préparation et les techniques de caractérisation et un autre chapitre qui traite les résultats obtenus et leurs discussion.

Enfin une conclusion générale clôture ce modeste travail.

## Références bibliographiques

[1] Souabi S., Touzare K., Digua K., Chtioui H., Khalil. F., et Tahiri M ., "Triage et valorisation des déchets solides à la décharge publique de la ville de Mohammedia" , les technologies de laboratoire , Vol : 6 , N°25, pp 121-130, 2011.

[2] Hoornweg D. et P. Bhada-Tata (2012), What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management, Urban Development Series Knowledge Papers, n° 15/98, Banque mondiale, Washington D.C.

[3] Anonyme 1., 2001. CNRS, INRA, INSERM Gestion des déchets : guide pour les établissements publics d'enseignement supérieur ou de recherche. 194 p.

[4] [www.asp.dz](http://www.asp.dz)

[5] [www.ciment.com](http://www.ciment.com)

# **Partie bibliographique**

# Chapitre I : L'industrie du ciment

## I.1 Introduction

Le ciment est le plus important matériau de construction de notre temps. C'est un produit «high-tech» issu de la nature, qui a bénéficié d'un développement s'étendant sur des siècles. Le ciment est plus précisément un liant. Le matériau de construction proprement dit, c'est le béton, qui base sur sa composition / qualité sur le ciment ce dernier est le composants le plus chère du béton.

L'industrie du ciment est considérée comme l'un des industries les plus stratégiques. C' est une simple industrie par rapport aux grandes industries, et repose sur la disponibilité des matières premières nécessaires.

### I.1.1 Historique des ciments

Le ciment hydraulique est un lien et un élément clé des différents types de béton et de mortier, qui est utilisé comme une sorte de colle pour assembler le sable et le gravier. Bien qu'elle ait été utilisée par les anciens Egyptiens et les Romains, mais il a été redécouvert au début du XIXe siècle et a évolué au fil des décennies.

Dans le passé lointain, les anciens utilisaient, un mélange de chaux et de limon, de sable et de l'eau dans l'établissement de leur bâtiments, il a été utilisé par les anciens Egyptiens depuis 2600 ans. Au cours du premier siècle de notre ère, les Romains ont perfectionné l'industrie cimenterie ou ils ont découvert que l'ajout d'un sol volcanique pris de la zone Bzula, près de Naplouse, leur permettra d'obtenir un mélange approprié pour le contrôle des eaux souterraines [1] .

### I.1.2 Nouvelle naissance (1817)

En 1817, Louis Vicat jeune ingénieur travaillait sur les caractéristiques hydrauliques (eau) à mélange « de cendres volcanique de calcaire », et il a été le premier à pouvoir déterminer les rapports de calcaire et Alsalkia nécessaire pour un mélange particulier peut ensuite être brûlé à une température donnée et écrasé pour les applications industrielles, à savoir ciment. Bien que cette découverte est due à lui, mais il n'a pas marqué un brevet quand il a publié les résultats de ses recherches.

### **I.1.3 Etape de fabrication (XIXe siècle)**

Joseph Aspdin Alasctldin a apporté des améliorations dans la composition de ciment développée par Louis Vicat, et en 1824 a obtenu un brevet pour un type de ciment appelé **sclérose**, le nom de Portland à l'ampleur de similitude avec les types de roches dans la région de Portland dans le sud de l'Angleterre il a construit la premier usine de ciment en France en 1864 à Blgnesmir. En 1868, Lafarge a commencé à produire du ciment dans la province d'Ardèche Thiel (Ordasha). Avec l'évènement de nouveaux procédés et plus de vitesse dans l'industrie du ciment, qui a connu une floraison remarquable.

### **I.2.4 Innovation Lafarge (Twentieth Century)**

Les découvertes de Lafarge fourni un monde et ont été importantes comme une étape notable au début du XXe siècle :

- 1- Emergence sur le marché du ciment blanc, un type de ciment utilisé dans sa fabrication de kaolin (argile chinoise pure) au lieu de limon, qui a profitez de la même propriété de résistance du ciment gris, mais il offre des avantages esthétiques mieux que son prédécesseur.
- 2- La découverte du ciment fondu en 1908 aux mains de gloz pied, le directeur du laboratoire de recherche de Lafarge. Ce ciment fabriqué à partir de calcaire et de bauxite, résiste à des conditions environnementales extrêmes, ainsi que les températures élevées, qui en plus si polyvalent qu'il peut être utilisé comme haut performance comme un lien, ou comme un réacteur chimique dont des applications nombreuses et variées.
- 3- Lafarge continue à ce jour dans la poursuite vers la réalisation de nouvelles innovations et leurs travaux en cours pour améliorer les propriétés du produit de ciment.

### **I.1.5 Historique des cimenteries**

La première usine de ciment a été créée par Dupont et démarre en 1846 à Boulogne-sur mer qui se situe au nord de la France. Le développement n'a pu se faire que grâce à la naissance de matériel nouveaux : four rotatif et broyeur à boulets surtout. Les procédés de fabrication se finirent sans cesse : en 1870, pour produire une tonne de clinker (constituant de base du ciment) il fallait 40 heures, aujourd'hui, il faut à près 3 minutes.

En France, avant la dernière guerre, la production était faible, comme l'indiquent les statistiques suivantes :

- En 1880 : 100 000 T.
- En 1920 : 800 000 T.
- En 1938 : 3800 000 T.

Le ciment s'est surtout développé à partir de 1950 (7,4MT) du fait de l'essor du béton et des besoins de la reconstruction. La production a progressée de façon régulière jusqu'à 1974, date à laquelle le niveau le plus haut a été atteint 33,5MT. En 2004, elle était de 21MT.

## **I.1.6 Effet sur l'environnement et la santé des polluants résultant de l'industrie du ciment**

### **I.6.1.1 Impact sur l'environnement**

La production de ciment, en particulier dans les anciennes usines produisent de grandes quantités de dioxyde de carbone, 5% du total des émissions résultant des activités humaines est dû au ciment.

### **I.6.1.2 Impact sur la santé humaine**

Causée par la fabrication du ciment et le traitement des maladies de l'amiante de la substance, qui est une maladie grave entraînant la mort, y compris :

#### ***c- La maladie du poumon de saturation, de l'amiante « ASBSTOSE »***

Il est fibrose linéaire affecte les bronchioles respiratoire et des poumons, causée par l'inhalation de amianthus de poussière et cela en fonction de la taille, en tant que milieu et les particules de grande taille (supérieure à 10 microsecondes) est plus une cause de processus amiantose.

#### **a-1-Les méthodes de prévention**

- Travaillent dans une atmosphère humide ou dans des dispositifs couverts placés dans les lieux bas.
- Les travailleurs doivent prendre des masques anti-poussière.
- Doit surveiller l'air ou de l'air moins une fois par mois.

- Vous ne pouvez pas accepter tout travailleur sans certificat de qualification par les travailleurs d'un médecin et ce certificat doit être renouvelé au moins une fois par ans.
- Ne sont pas acceptés les travailleurs âgés de moins de 18 ans qui souffrent d'une invalidité totale ou d'une mauvaise santé.

#### ***d- Maladie pulmonaire silicose***

Cette maladie est causée par l'inhalation de l'oxyde de silicium, de la poussière ou sulais libre (SiO, et celui-ci est seul qui provoque la maladie silicose pulmonaire, comme l'activité qui donne des poussières contenant, un diamètre de particule inferieur (5 micro seconde), le danger commence quand plus de 3000-4000 molécules dans la molécule (centimètre cube), de l'air.

#### **b-1-Les méthodes de prévention**

La prévention de cette maladie il n'y a pas de remède qui peut arrêter le processus de fibrose pulmonaire. Mais si le travailleur à une distance de la poussière la maladie peut être évitée

#### ***e- La maladie dermatite***

Cette maladie est plus de maladies professionnelles et les infections de la peau et la cause des personnes exposées à ces blessures sont ceux qui sont aux prises avec le ciment et les maintiennent dans l'usine de ciment. Lorsque ces infections notent sur le cou et les épaules des personnes) qui déplacent le ciment, en particulier dans les jours de temps chaud. Ciment gravité de bas (pH>10) (donc son rôle incendiaire et inflammatoire au niveau des voies respiratoires, ce qui provoque la rhinite muqueuse, qui peut se développer dans un trou dans la barrière nasale et inflammation des voies respiratoires si le cette exposition sévère et la poussière à long terme, conduisant à des infections et des bronches chroniques (bronchite).

Il est le plus enclin aux membres de la dermatite, nous trouvons : (dos, les mains, les doigts, les angles, les pieds, le visage), et au niveau des yeux conduit à des infections sévères telles que les tissus et les paupières conjonctifs chronique, et apparaissent dans le type d'allergie( œil douloureux, les larmes, les tumeur note sur le sourcil).

### **c-1-Les méthodes de prévention**

- Doit minimiser le contact de la peau avec du ciment en utilisant des gants et des crèmes et des acides gras.
- De bons soins physiques avec lavage des mains avec de l'eau pure.
- Tout cuir coup doit être bien traité.
- Le personnel doit cimenter les nouveaux travailleurs doivent se soumettre à la sélection médicale, étant donné que les personnes qui ont la peau sensible ne peuvent pas pour eux de travailleurs dans ces endroits.

### ***f- L'impact sur le sens de l'ouïe chez les humains***

Le bruit est un problème de santé pour les travailleurs de l'usine et de la population et peut les poser à des maladies telles que l'hypertension artérielle.

### **d-1-Les méthodes de prévention**

- Doit intervenir au niveau de la machine, de développer des matériaux ou de la transformation ou modifier certains des morceaux.
- Vous devez isoler le plus de bruit des machines dans des lieux privés.
- Les travailleurs doivent porter des masques et encapsulation oreille.

### **I.1.6.3 L'impacte sur la santé animale**

Poussière ciment à un impact significatif sur la santé des animaux, où la combinaison de régime alimentaire entre l'herbe et ciment, et éliminé ainsi les sessions génétiques.

### **I.1.6.4 L'impact sur les plantes**

L'industrie du ciment est mauvais sur l'environnement et menace la région environnante à travers les sécrétion posé par les unités industrielles de déchets gazeux et liquides qui ont un effet négatif sur la végétation dû à la cumulation d'une épaisse couche de poussière de ciment sur les feuilles des arbres, ce qui conduit à une production moche de légumes et de fruits, en plus du risque d'intoxication humaine lorsqu'elle est ingérée, ainsi lorsque les animaux mangent ces herbes.

## **I.2 Procédés et techniques de fabrication du ciment**

La production du ciment est un procédé complexe en Algérie qui est en plein émergence comme le montre les statistiques suivantes (source : Secrétariat d'état au plan Algérien) :

1977 : 2,2 millions de tonnes, 1982 : 8,0 millions de tonnes

1979: 4,5 millions de tonnes, 1985 : 10,5 millions de tonnes

En France, la production en 1988 se situait à 25 MT.

### **I.2.1 Différents procédés de fabrication du ciment**

Il existe quatre grands procédés de fabrication du ciment : la voie sèche, semi-sèche, semi humide et humide :

#### **I.2.1.1 Procédé par voie sèche**

La matière broyée et séchée passera d'abord dans un préchauffeur à cyclone avec ou sans precalcination (de type AT 'air-through' ou AS 'air séparé), puis dans un four tubulaire de 80m. C'est le procédé le plus récent et plus répandu car il est moins énergivore, mais il nécessite la mise en œuvre de moyens importants de captation des poussières (électro-filtres, filtres cyclones et multi cyclone, dépoussiéreurs électroniques .....).

#### **I.2.1.2 Procédé par 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 et Grille LEPOL puis dans le four.

#### **I.2.1.3 Procédé par voies semi-humide**

La pâte est d'abord débarrassée de son eau dans des filtres-presses . Le gâteau de filtre-presse est ensuite extrudé sous forme de granules et introduit dans un préchauffeur à grilles ou directement dans un sécheur pour fabrication du cru.

#### **I.2.1.4 Procédé par voie humide**

La farine cru 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 (jusqu'à 200m. Ce procédé consomme beaucoup de combustible pour évaporer l'eau excédentaire : c'est pourquoi avec le premier choc pétrolier de 1973, les procédés voie sèche et semi-sèche lui

sont préférés car ils sont plus économiques en besoin énergétiques. La voie humide est amenée à disparaître car elle présente l'inconvénient de consommer de 30% à 40% d'énergie en plus par rapport à la voie sèche. Le tableau I.1 résume les différentes caractéristiques des divers voies.

**Tableau I.1** : Principes caractéristiques des différentes voies

Procédé	humide	Semi-sèche			
		sèche	humide	préchauffage	précalcination
<b>Capacité maximale (T /J)</b>	3000	2320	3270	3800	2740 AT 7600 AS
<b>Consommation calorifique (MJ/TKk)</b>	6400	3900	4530	3836	3750 AT 3430 AS
<b>Consommation (électrique (KWh /Tc)</b>	120	106	135	110	110
<b>Longueur de four</b>	40-232	24 -75	40-90	40-95	54-110
<b>Diamètre de four</b>	2,2-6,6	2 ,3- 6	3,6-6,6	2,8-6	3,5- 5,9
<b>Débit sortie</b>	100-3350	100-2400	400-3000	200-3500	1500- 8500
<b>Humidité de l'alimentation</b>	24-48	10-15 <sup>a</sup>	17-22	≤ 8 <sup>b</sup>	≤ 8 <sup>b</sup>

a : chaleur supplémentaire pour sèche la matière première

b : chaleur supplémentaire nécessaire au dessus de 8%

# Chapitre II : Techniques de fabrication

## II.1 Introduction

Toute usine existante ou toute implantation de nouvelle usine nécessite une connaissance approfondie des gisements de matières premières :

- **Qualités** : composition chimiques dont dépend la possibilité de fabriquer du ciment, régularité qui conditionne la bonne marche de l'usine au jour le jour et la production d'un ciment aux qualités constantes ; humidité et propriétés mécaniques qui entrent en compte dans le choix du procédé d'extraction
- **Les réserves** : qui conditionnent la faisabilité de l'usine, la capacité de production, la pérennité dans le temps
- **Le coût d'exploitation** : tributaire du coût d'extraction, de transport jusqu'à l'usine

La géologie d'une région déterminera l'emplacement possible de la carrière, ensuite coût de transport autorisations, possibilité d'achat détermineront l'exploitation ou non du site.

## II.2 La carrière

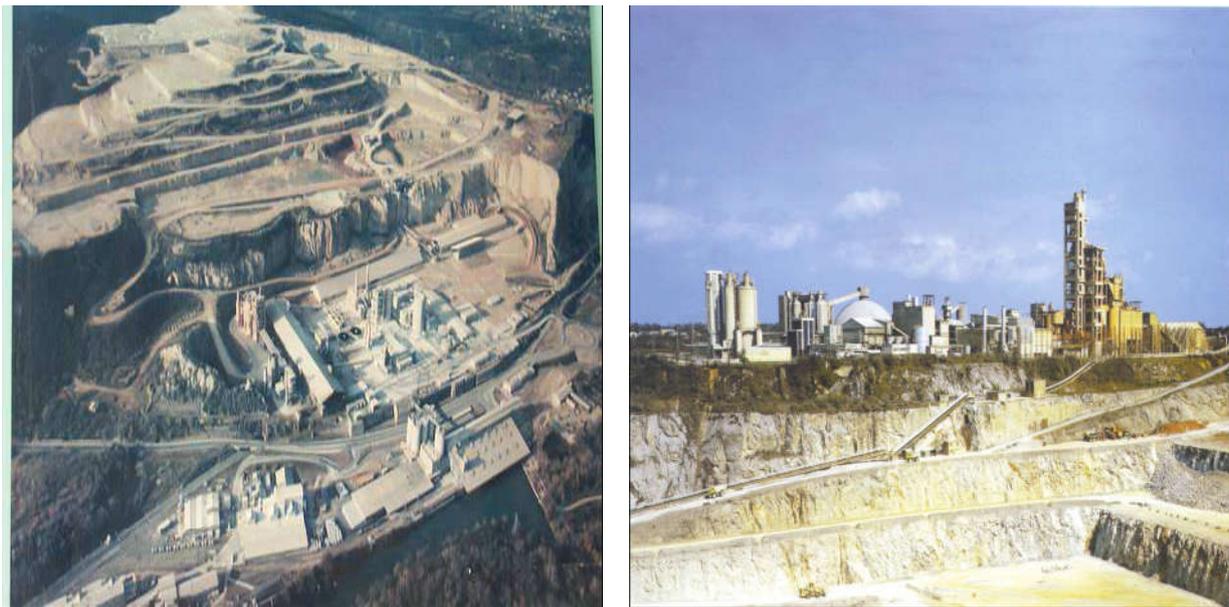
La géologie d'une région déterminera l'emplacement possible de la carrière, ensuite coût de transport autorisations, possibilité d'achat détermineront l'exploitation ou non du site. Chaque usine dispose d'une ou plusieurs carrières d'où elle extrait tout ou partie des matières premières nécessaires pour préparer le cru. Examinons le front de taille d'une de ces carrières.



**Figure II.1 : Schéma d'une carrière**

## II.3 L'extraction

L'exploitation des carrières de cimenteries se fait à ciel ouvert, le plan guide d'exploitation élaboré par les géologues à partir des sondages et analyses effectuées sur le site permet à l'exploitant de gérer au mieux son gisement en tenant compte des impératifs financiers et réglementaires. L'exploitation peut se faire en butte (Le Teil) ou en fouille (SPLC, Contes)



(a)

(b)

**Figure II.2 : Procédé d'extraction**

Pour la figure I.2(a) l'exploitation se fait en butte, à flanc de colline (le Teil)

Pour la figure I.2 (b) l'exploitation se fait en fouille, on creuse un « Puit » (SPLC)

## II.3 Le forage

La sondeuse va établir un maillage de trou de mine dans lesquels les explosifs seront Introduits.

Le déclenchement de chaque détonateur se fera en différé de façon à limiter autant que possible les nuisances (sonores, vibration, poussières ...).

L'explosif nitraté (émulsion de nitrate d'ammonium et de fuel, gel étanche à l'eau) introduit dans le trou, ce dernier est rebouché.

## II.5 Le déclenchement du tir

D'une façon générale la mise à feu des tirs d'abattage est effectuée électriquement par détonateurs électriques (elle est possible par amorces et cordeau détonant). La gestion électronique des tirs permettra des plans de tir de 5 à 7 rangées de trous (jusqu'à 99 trous) de façon à augmenter les dimensions de l'abattant. Le décalage entre chaque détonateur de l'ordre de quelques micros secondes.

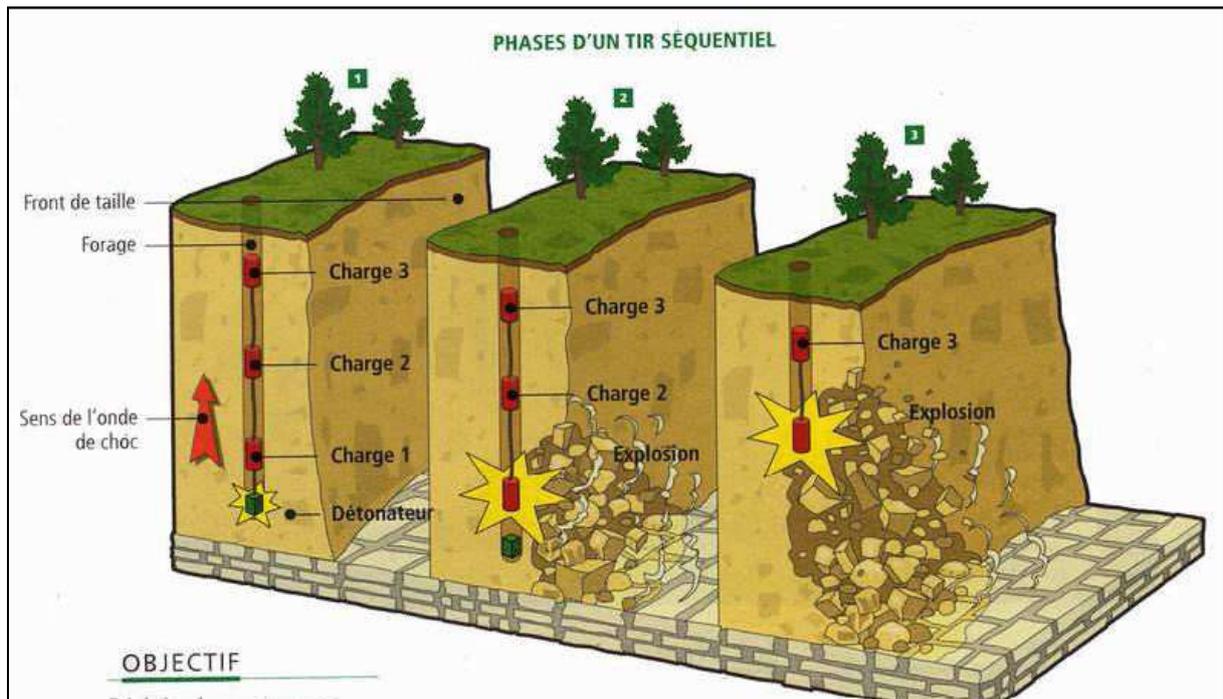


Figure II.3 : Les phases d'un tir séquentiel

Après le tir, une reconnaissance du chantier par la personne compétente assure la détection de tout incident de tir avant l'autorisation de reprise des matériaux abattus. La consommation d'explosif varie suivant la nature de la roche abattue, en général de 80 à 120 g/T.

Les paramètres influents sont : la dureté de la roche, sa structure (massive, fissurée, bancs plus ou moins épais, bancs durs et tendres alternés ...), la fragmentation recherchée, la nature de l'explosif, la préparation du tir (maillage, diamètre, inclinaison, séquence de mise à feu, répartition des explosifs dans le trou de mine ...)

## II. 6 Le transport matière

Le tir effectué et après les vérifications de sécurité (incident de tir, bloc suspendu, talus instable), la roche abattue est transportée jusqu'au concasseur par chargeuses, dumper (tombereau), ou bandes transporteuses.



Le Teil



Alimentation du concasseur par chargeuses



Dumper, Le Teil



bande transporteuse

### Figure II.4 : Les différentes étapes de transport de la matière

Les bandes transporteuses ne peuvent recevoir que des produits relativement fins donc emploi limité aux matériaux directement exploitables par des engins à godets ou après un concasseur mobile.

#### II.6.1 Préparation de la matière première

Le constituant principal du ciment est le clinker qui est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de calcaire et d'argile (matière première), en proportion moyenne 80 et 20% :

## **a- Le calcaire :**

**Etymologie** : du grec *chalix, chaux*. **Roche sédimentaire** essentiellement composée de « Carbonate de calcium » de formule chimique «  $\text{CaCO}_3$  ». Le calcaire fait partie des roches carbonatées. Un terrain ou une formation rocheuse est considéré comme calcaire lorsqu'il contient plus de 50% de  $\text{CaCO}_3$ .

Leur couleur peut varier du blanc au noir en passant par toute la gamme des gris, des beiges ou des roux. Ils peuvent être durs et compacts ou au contraire tendres et poreux. Ils peuvent présenter un grain très fin ou au contraire avoir une texture grossière (gros cristaux, débris de coquilles ou oolithes).

Le géologue peut vérifier sur le terrain qu'une roche est calcaire par l'action de l'acide qui provoque un dégagement gazeux de  $\text{CO}_2$ , cette réaction est utilisée également en laboratoire pour déterminer de façon rapide le titre en  $\text{CaCO}_3$ .

Pour un calcaire cimentier la teneur en carbonate de calcium doit être supérieure à 75%, et sa teneur en argile inférieure à 1.20g/100g.

Les calcaires ne sont jamais constitués de carbonates de calcium pur. Ils peuvent contenir :

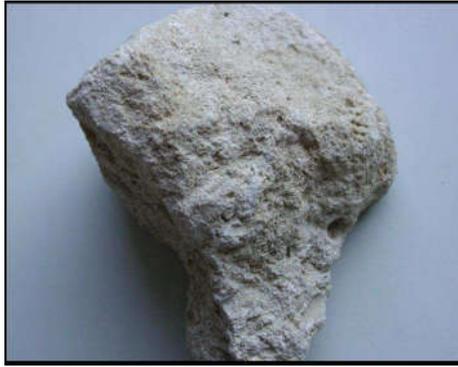
- des éléments argileux, si la proportion de ceux - ci est importante on passe à un calcaire marneux puis à une marne.
- de la silice libre : plus ou moins diffusée ou sous forme de grain, ou sous forme de silex
- de la dolomie (carbonate double de chaux et de magnésie)

**La craie** : blanchâtre, tendre et friable plus de 90% de  $\text{CaCO}_3$ , c'est une roche souple formée par l'accumulation d'algues microscopiques.

**Le marbre** : calcaire dur, coloré par des impuretés

**La calcite** : carbonate de calcium cristallisé, roche transparente quand elle est pure (utilisée en optique) entre 75 et 90 % de  $\text{CaCO}_3$

**Tartre et concrétions** : dépôts dans conduite d'eau, stalactites et stalagmites des grottes [2] .



**Calcaire**



**Calcite**



**Galet de craie**



**Marbre (Guillestre 04)**

**Figure II.5 : Photographies des roches de calcaires**

#### **b- Les argiles :**

**Étymologie** : en principe, elle découle du latin *argilla*. **Roches sédimentaires stratifiées** provenant de la destruction par érosion de terrains granitiques, elles sont d'origine détritique.

Roches composées principalement de silicates en feuillets, d'alumine, plus ou moins hydratés. Les plus abondants des roches sédimentaires: 50% des sédiments totaux (69 % des sédiments continentaux). Constituants principaux des sols, formés de particules fines, de l'ordre du  $\mu\text{m}$ .

Suivant les gisements les argiles sont des roches :

- Tendres elles peuvent être rayées à l'ongle
- Imperméables car formées de particules très fines
- Plastiques : mélangées à l'eau on peut facilement les mettre en forme

- Diversement colorées : les différentes couleurs sont dues aux impuretés (noires, jaunes, bleues ...) [2] .

Intérêt économique: ciment (avec calcaire) céramiques (poteries, briques, tuiles), pharmacie et cosmétique (excipient neutre, absorbant), pigments (ocre avec du fer, blanche lorsqu'elle est calcaire tel une marne, ou un kaolin, ocre jaune en présence d'oxyde de fer hydraté, ou rouge) [2]

### 1. Principaux composants

- Minéraux argileux dominants ;
- Quartz: micro quartz d'origine éolienne jusqu'à 30% de la roche ;
- calcédoine, opale: forme mal cristallisée et hydratées de la silice origine organique (plantes, plancton) ;
- oxydes et hydroxydes de fer: hématite, goethite ;
- sulfure de fer (pyrite) en milieu réducteur ;
- gibbsite (oxyde d'aluminium) sous climat chaud et humide)
- carbonates (calcite, dolomite) ;
- matière organique: pollens, spores, débris ligneux ;
- matière amorphe (décomposition par bactéries).

La quantité de matière organique intervient est associé au degré d'oxydation du fer, donc la couleur :

- Matière organique abondante : milieu réducteur donc fer réduit (ferreux), couleur noir, gris, vert.
- Matière organique absente: fer oxydé rouge.

Les argiles très riches en matière organique évoluée, en profondeur forment les roches mères d'hydrocarbures.

Les argiles d'origine marine ou lacustre sont souvent riches en calcaire et sont alors des argiles marneuses.

Les argiles lagunaires renferment souvent de fins cristaux de gypse (argile et marne gypsifères) [2] .

## I. Argiles nobles pour produits céramiques

Les argiles nobles sont des matériaux de composition variable au sein desquels la kaolinite est la phase prédominante, les autres constituants principaux étant d'autres minéraux argileux, le quartz et la matière organique. La plupart des gisements exploités sont d'origine sédimentaire détritique, résultant de l'érosion, du transport et de la sédimentation d'argiles kaoliniques générées par l'altération des roches granitiques.

Les principaux gisements français, dans les bassins "des Charentes" et de Provins, sont d'âge tertiaire.

Contrairement aux kaolins, les traitements appliqués aux argiles nobles ne les transforment pas fondamentalement.

Les produits sont commercialisés sous différentes formes: argiles crues, ou chamottes résultant de leur calcination.

Les argiles nobles sont utilisées, dans des proportions variables, pour la fabrication de différents produits céramiques: produits réfractaires, céramiques sanitaires, carreaux de revêtement, vaisselle et poteries [2]

## II. Argiles communes pour produits de terre cuite

Les argiles communes pour produits de terre cuite sont des roches très répandues à la surface de la terre. Sur le plan géologique, les argiles communes pour produits de terre cuite sont des roches d'origine, d'âge et de composition variées. Elles sont essentiellement constituées d'un mélange de minéraux argileux (illite, kaolinite, smectite) et de différentes impuretés (sable siliceux, oxydes métalliques, calcite, matières organiques...). Les produits de terre cuite sont essentiellement destinés au secteur du bâtiment [2]

### c- Les schistes

L'étymologie de ce mot en éclaire le sens. On retrouve dans ce mot la racine grecque *skhizein*, « fendre », devenue en latin *schisto*, « qui se sépare », « qui se divise » : **les schistes sont des roches d'aspect stratifiées, feuilleté**. Roches argileuses durcies et feuilletées sous l'effet de hautes pressions. Il s'agit en fait de couches d'argile transportée et donc transformée ayant subi de fortes pressions géologiques, donc de **roches métamorphiques**. Elles sont très

répandues dans les séries sédimentaires, soit seules, soit en alternance avec d'autres roches, grès par exemple. Leur composition chimique est voisine de celle des argiles. Certains schistes particuliers peuvent être chargés de différentes substances comme les matières organiques (schistes bitumineux ou houillers) ou bien uniquement composés de couches alternées de mica et de quartz (micaschiste), talcschistes, calcschistes. Dans ces derniers cas, leurs compositions n'ont plus qu'un lointain rapport avec l'argile et c'est l'étymologie du mot schiste qui semble avoir gouverné le choix de l'appellation.

## 1. Principaux types de schistes

Il est préférable de réserver le nom de schistes aux roches dont le feuilletage est d'origine mécanique (ne pas confondre avec les dépôts stratifié). Parmi ces derniers, les *schistes argileux* sont des roches cohérentes, finement cristallisées, dans lesquelles on peut rencontrer du quartz, de la séricite, de l'illite, de la chlorite, de la calcite, de la pyrite et de la magnétite. Leur coloration est variable : noire (matières organiques, graphite), verte (chlorite), rouge ou violette (oxydes de fer), bigarrée (sels de fer).

Les principales variétés sont :

- *schistes bitumineux*, qui donnent par distillation des hydrocarbures (huile de schiste). On en a exploité en France dans les bassins d'Autun (Saône-et-Loire) et d'Aumance (Allier).
- Les *schistes carburés* renferment une proportion assez élevée de graphite et sont utilisés pour le dessin.
- Les *schistes alunifères* contiennent de l'alun provenant en partie de la décomposition de la pyrite. Ils peuvent être employés à l'amendement des vignobles, d'où le nom de *schistes ampéliteux* (du grec *ampelos*, vigne) donné à certains.
- Les *schistes ardoisiers* ou *ardoises* sont plus durs et très fissiles. On les exploite en Anjou (Trélazé), en Bretagne (bassin de Châteaulin), dans les Pyrénées et le Massif central, dans les Ardennes (à Fumay), où ils ont une coloration violette.
- Les *phyllades* se rapprochent beaucoup des ardoises, dont elles se distinguent à l'œil nu par leur aspect plus lustré et plus brillant (schistes satinés). Leur coloration est variable, sombre en général. L'abondance de quartz et aussi de grenat caractérise la *novaculite* ou *coticule* (pierre à aiguiser), gris jaunâtre, exploitée à Vieil-Salin en

Belgique. Si certains minéraux (andalousite, staurotide, grenats, magnétite, glaucophane) deviennent apparents à l'œil nu, on passe aux *schistes à minéraux*.

### **I.6.2 Le concassage**

Le concasseur est situé le plus près possible du front de taille afin de diminuer au maximum les déplacements des outils de chargement. Il assure la fragmentation des matériaux et la sélection de la granulométrie recherchée.

La première opération de concassage mécanique date de 1858, les premiers concasseurs à mâchoires ont été développés aux Etats Unis vers 1865. Ordinairement le terme de concasseur est réservé aux machines qui travaillent sur des matériaux de duretés moyenne à forte (roches minéraux, produits industrie chimique) avec des dimensions à l'entrée de 100 à 1500 mm et avec un taux de réduction amenant la dimension à 5/300 mm à la sortie.

### **II.6.3 Les force de fractionnement**

La fragmentation s'obtient par la rupture de la cohésion des matériaux sous l'action de forces externes qui peuvent être apportés par l'un des quatre modes fondamentaux :

- La compression
- La percussion
- Le cisaillement
- La trituration

### **II.6.4 Choix du concasseur**

Les paramètres qui déterminent le choix d'un concasseur sont :

- La nature des matériaux de carrière : humidité, cohésion, composition chimique (silice) déterminant l'abrasivité du matériau
- La dimension du matériau entrant et la granulométrie souhaitée en sortie
- L'efficacité du concassage compte tenu de la nature des matériaux
- Les débits demandés
- L'investissement

Le concassage s'effectue en général en 2 étapes :

- Le concassage primaire qui réduit la taille des matériaux en blocs de 150 à 200 mm

- le concassage secondaire qui réduit la taille en fragment de 20 à 35 mm, taille admissible par les broyeurs crus.

Le rapport de réduction des concasseurs exprime le quotient entre le diamètre maxima à l'entrée du concasseur et le diamètre maxima observé en sortie.

### II.6.5 L'atelier de concassage

L'atelier de concassage est le plus souvent implanté près de la carrière, le transport d'un matériau concassé étant plus économique que le transport de gros bloc.

L'atelier de concassage se compose :

- d'une trémie d'alimentation dans laquelle le matériau est déversé par les engins de chargement (chargeuses, dumper, pelles)
- d'un système d'alimentation (tablier métallique ou un transporteur avec crible)
- d'un concasseur (ou 2)
- d'un circuit d'évacuation
- éventuellement d'un crible et d'un recyclage (circuit fermé).

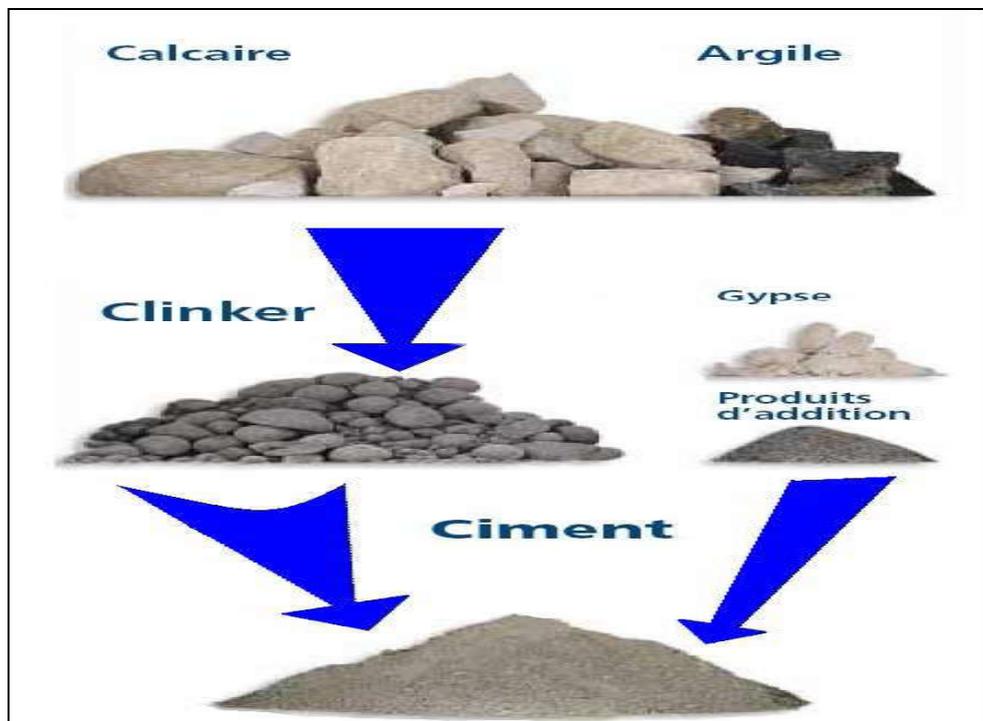


Figure II.6 : Préparation de ciment cru

## II.7 Objectif de la préparation du cru

Il n'existe pratiquement pas de gisement naturel dosé pour la fabrication d'un ciment portland correct. Il est donc nécessaire de préparer le cru par mélange de matières. Le cas le plus simple correspondant à celui où on dispose d'un gisement sous dosé en chaux et d'un gisement surdose. Le plus souvent les carrières sont hétérogènes et conduisent à mélanger plusieurs types de matières premières. De même il est parfois nécessaire, pour ajuster la composition du ciment, de faire des additions de matières premières extérieures à la carrière : Sable ( $\text{SiO}_2$ ) – Bauxite ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) etc.....

Quelquefois on est amené à introduire dans le cru des matériaux qui sont des sous-produits d'autres industries et qui par suite ont un prix de revient intéressant : Pyrite grillée ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), sable de fonderie, boues d'alumine etc.....

La préparation du cru constitue le premier atelier de la chaîne de fabrication. Il conditionne la qualité du produit fini (le ciment) puisque la composition chimique recherchée doit être réalisée dans cet atelier.

De la préparation du cru dépend le bon déroulement des opérations ultérieures.

L'atelier de préparation doit fournir à l'atelier cuisson un produit prêt à cuire sous une forme facilitant les réactions chimiques.

Le calcul d'un cru consiste à rechercher les pourcentages des différents matériaux à adopter afin d'obtenir :

- Un produit de composition correcte (objectif : les caractéristiques produits finis)
- Un prix de revient le plus intéressant possible
- - Un cru pouvant être préparé et cuit dans de bonnes conditions (le moins de problèmes de fabrication possible).

### II.7.1 Choix de la composition minéralogique

Rappel de quelques notions de physico-chimie du ciment :

Éléments contenus dans le cru	Constituants du clinker
$\text{SiO}_2$ (S)	
$\text{Al}_2\text{O}_3$ (A) Eléments	$\text{C}_3\text{S}$ (Alite)
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (F) principaux	$\text{C}_2\text{S}$ (Bélite) Eléments
$\text{CaO}$ (C)	$\text{C}_3\text{A}$ (Célite) principaux
	$\text{C}_4\text{AF}$
$\text{MgO}$ (M)	

$K_2O$ (K)	Eléments	$CaSO_4$	Eléments
$Na_2O$ (N)	mineurs	$K_2SO_4$	Mineurs
$SO_3$			
Cl		$Na_2SO_4$	
		$CaCO_3$	

## II.7.2 Qualités du cru recherchées

Le cru doit présenter dans ce but les qualités suivantes :

Composition chimique aussi proche que possible de la composition désirée, en tenant compte de l'influence du combustible. Cette qualité est assurée en contrôlant le cru tout au long de son élaboration par des prélèvements d'échantillons (manuel ou automatique) et analyses, ou contrôle en ligne non destructif (gammamétrie).

### II.7.2.1 Broyage

L'importance du broyage en cimenterie est considérable, tant au niveau du cru où il conditionne pour une bonne part (avec la finesse combustible) la cuisson, qu'au niveau du clinker où il prend une part prépondérante sur la qualité du ciment fabriqué.

En effet, pour la préparation des matières crues destinées à la fabrication du ciment, le broyeur a plusieurs fonctions :

- 1) fragmenter et réduire les matières premières en poudre très fine pour favoriser les réactions chimiques pendant la cuisson ou broyer finement les matières dans les broyeur ciments pour favoriser l'hydratation des ciments.
- 2) homogénéiser et souvent sécher un mélange brut de plusieurs constituants

La plupart des broyeurs sont des broyeurs à boulets horizontaux à 2 chambres. La 1ère a un rôle de concassage et la 2ème a un rôle de finisseur. Dans le cas de matières humides à traiter on a recours à une chambre de séchage. Pour la préparation du ciment, le broyeur a pour fonction de fragmenter le clinker afin d'obtenir un produit très fin qui satisfasse aux normes.

### II.7.2.1.1 Procédés de broyage

Que ce soit pour le broyage du cru ou le broyage du clinker on peut rencontrer 2 types d'atelier de broyage :

- Le broyage en **Circuit ouvert**
- Le broyage en **Circuit fermé**

#### a) Le broyage en circuit ouvert

##### Principe de marche

La matière entre dans le broyeur, tombe dans la première chambre où elle est préparée par concassage et attrition, puis elle est broyée le plus fin possible dans la deuxième chambre. L'exploitation en circuit ouvert est adaptée :

- à un broyage d'une  **finesse moyenne**
- lorsqu'il n'est pas nécessaire d'avoir une **répartition granulométrique** très stricte

Dans ce cas, le produit sort du broyeur à la finesse requise : **sans passer par un séparateur**

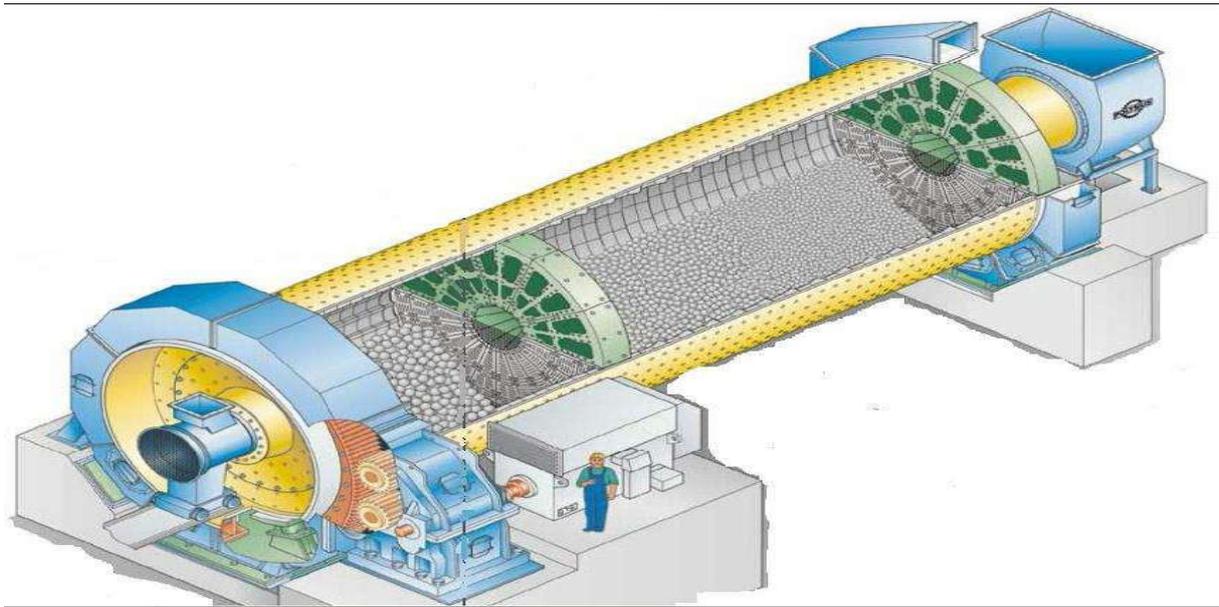
#### b) Le broyage en circuit fermé

##### Principe de marche

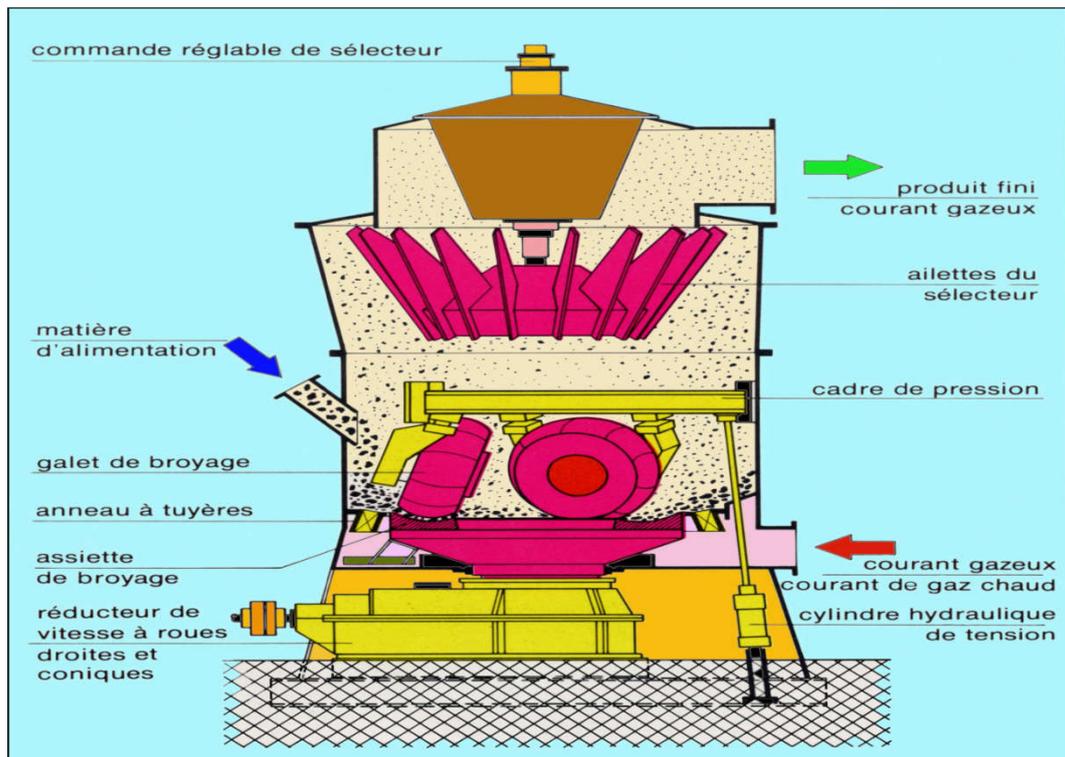
La matière pénètre dans la première chambre où elle est concassée, puis traverse une cloison et entre dans la deuxième chambre où elle est finement broyée. Sortie broyeur le produit passe par un séparateur qui trie les fines, envoyées au produit fini, le reste retourne dans le broyeur tant qu'il n'a pas la finesse désirée.

Ce type d'atelier se caractérise par :

- **un broyeur à 2 chambres** (3 chambres pour les très anciens broyeurs)
- **un ventilateur** d'exhaure pour le tirage broyeur et souvent un ventilateur d'exhaure pour le tirage séparateur
- **un élévateur**
- **un séparateur**



Broyeur horizontal



Broyeur vertical

Figure II.7 : Quelques types de broyeur

### II.7.2.1.2 Préparation de la matière

#### a) Le cyclone

Le cyclone assure 2 fonctions principales :

- L'échange thermique GAZ / MATIERE
- La séparation GAZ / MATIERE après l'échange thermique

Les cyclones et les carneaux sont en acier de qualité courante, ils sont briquetés intérieurement pour limiter les pertes de chaleur par rayonnement et protéger la tôle des agressions thermiques et mécaniques. Les clapets sont en acier réfractaires. Ils sont constitués d'un cylindre avec arrivée des gaz tangentielle et prolongés d'un cône de récupération des poussières.

Les poussières sont évacuées par un double clapet ou un sas qui assure l'étanchéité (entrée d'air), les gaz partiellement dépoussiérés repartent par le tube central appelé jupe emportant les particules très fines.

Les cyclones n'ont pas de moyens de réglages mécaniques. Son fonctionnement est basé sur deux principes :

- Le mélange gaz matière subit en arrivant dans un cyclone une détente qui occasionne la chute brutale de la vitesse des gaz qui transportent la matière et donc entraîne une diminution de la vitesse des particules.
- Lorsque leur énergie cinétique devient inférieure à leur poids il se produit une décantation le long des parois du cyclone qui permet aux particules les plus grosses de tomber dans la goulotte de sortie, ensuite le gaz et les particules restantes sont soumises à une centrifugation qui projette la matière contre les parois intérieures du cyclone, le gaz est à nouveau épurés des particules les plus grosses (le frottement des particules le long des parois du cyclone diminue leur force centrifuge et provoque leur chute), cependant les plus fines sont emportées, qu'il faut piéger dans un filtre avant le rejets des gaz dans l'atmosphère. Ils sont efficaces sur les grosses particules ( $>15\mu\text{m}$ ).

Ce type de matériel met en jeu une force mécanique (pesanteur, inertie ou force centrifuge) pour faire migrer les poussières hors du courant du gaz porteur et assurer leur séparation.

En effet la masse volumique des poussières est environ 1000 fois supérieure à celle des gaz. Ce matériel peut garantir des rejets de 250 à 120 mg/m<sup>3</sup> et il est souvent utilisé en pré-dépoussiérage.

Le cyclone se compose d'un carneau avec une arrivée tangentielle prolongée d'un cône de récupération des poussières.

Les poussières sont évacuées par une goulotte de sortie équipée d'un clapet (simple ou double) ou d'un sas qui assure étanchéité et minimise les entrées d'air.

Les gaz dépoussiérés repartent par le tube plongeur central appelé jupe.

Les cyclones ne disposent d'aucuns moyens de réglage.

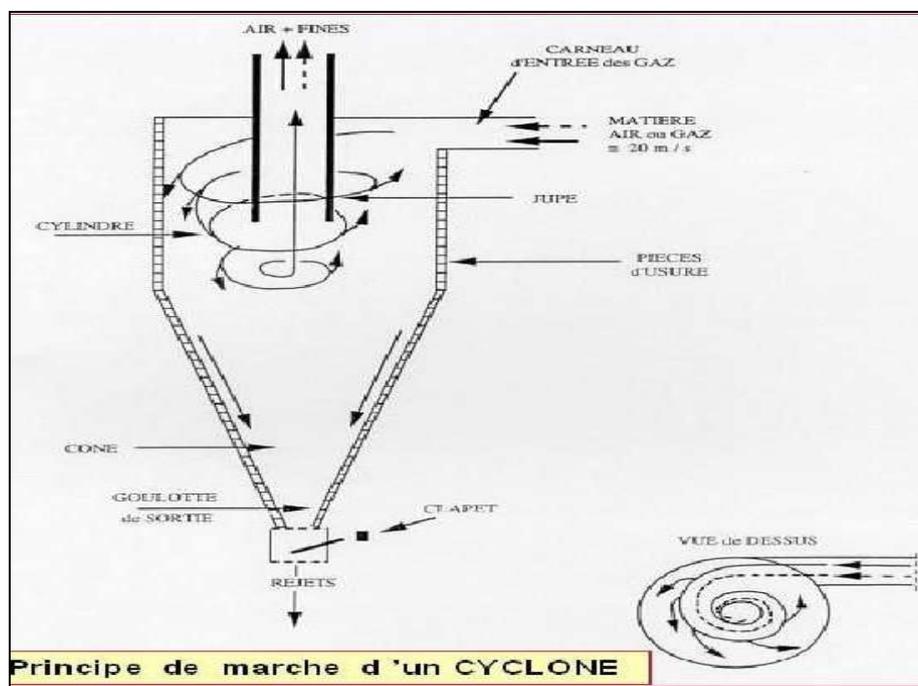


Figure II.8 : Principe de marche d'un cyclone

## b) La tour

La farine sèche (de 20 à 80°C) est introduite dans la partie supérieure d'une **tour à cyclones** pour y être préchauffée avant son introduction dans le four avec pour objectif une déshydratation complète et un taux de décarbonatation le plus élevé possible (de 25 à 30 % pour une tour à cyclones simple). L'échangeur comporte plusieurs étages de cyclone et il existe plusieurs types de tour.

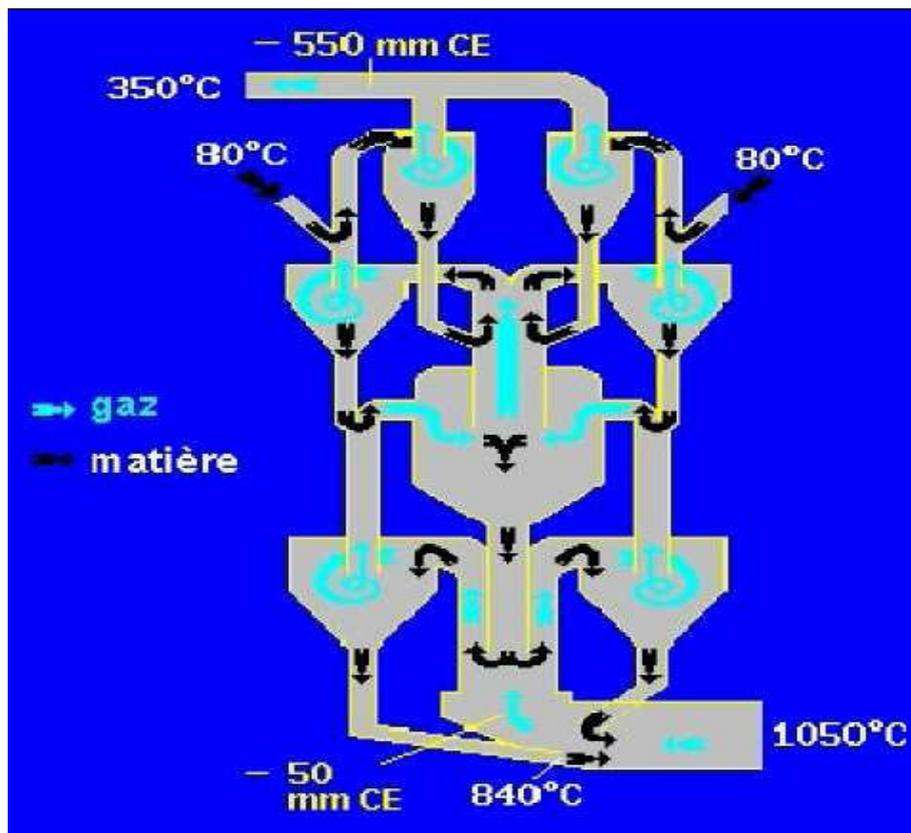


Figure II.9 : Principe de fonctionnement d'un échangeur

## II.8 four

Dimensions : 55,0 à 85 m. de longueur, diamètre : de 3,0 à 6,0 m et une inclinaison de 2,5 à 3,5 %

Epaisseur de la virole : de 20 à 40 mm ( 100 mm aux bandages ) en acier ordinaire, le four se dilate en fonction de la température , vitesse de rotation de 1,0 à 3,0 tours par minute.

Le four repose sur 2 ou 3 appuis par des **bandages** (anneaux d'acier de 20 à 100t) et des **galets**.

Martres, cas particulier : Four 1, année 1956, Ø3, 75 à 3,45 m x 161,85 m, 6 appuis, poids estimé tournant en prod 1642 t, en moyenne 35 t/h, Four 2, année 1966, Ø5 à 4,35 m x 133 m, 5 appuis, poids estimé tournant en prod

2136 t, en moyenne 50 t/h

Le four est entraîné par un moteur électrique à vitesse variable qui attaque par l'intermédiaire d'un réducteur un ensemble pignon et couronne dentée et est muni d'un moteur auxiliaire le **vireur** (1 tour en 15 mn), d'un groupe de secours, d'une butée hydraulique, de ventilateurs de zone, il est garni de briques réfractaires, il est équipé de nombreux capteurs.

Température Farine entrée Four : **900°C environ**, taux de décarbonatation : **30 % environ**  
**tour simple et grille Lepol, 90 % environ tour à précalcinateur**

Température gaz sortie four **1000 à 1100°C** environ, temps de séjour de la matière de 30 à 45 minutes environ suivant les conditions de fonctionnement. La décarbonatation se finit dans le four (dégagement de CO<sub>2</sub>) la température augmente ensuite permettant la clinkérisation (1238 à 1450°C) apparition du C 4AF, C3A, C2S, C3S.



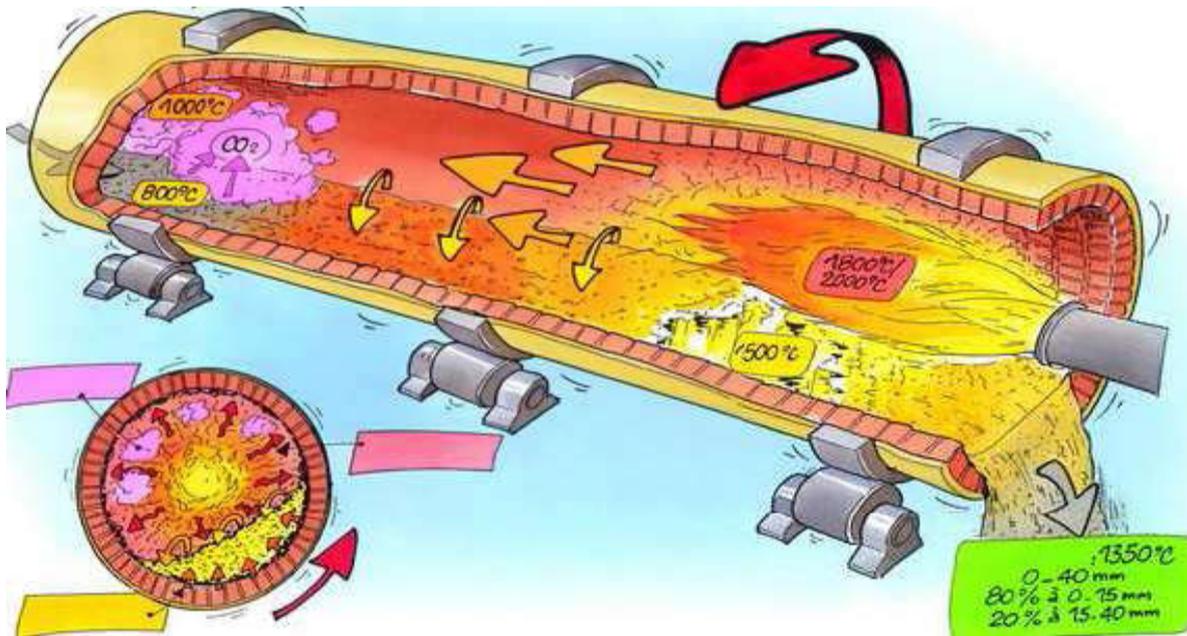
**Figure II.10: Four**

### **Les réactions dans le four**

La cuisson agit sur la qualité du clinker et du ciment (broyabilité, résistances) par :

- la température et le temps de clinkérisation (profil thermique, cristallisation, chaux libre)
- La volatilisation (chlore, soufre, alcalins)
- Le refroidissement du clinker (blocage des phases et cristallisation).

C'est une opération qui a un gros impact sur la réactivité du clinker et la qualité du produit fini.



**Figure II.11 : Réactions déroulant dans le four**

- fin de la **Décarbonatation**  $\text{CaCO}_3$  ,  $\text{CaO} + \text{CO}_2$  de 800° C jusqu'à 850°C
  - montée en température de 850 à 1200°C.
- **Clinkérisation** : qui se déroule essentiellement entre 1200 et 1500°C.
  - A partir de 1200°C apparition de phase liquide du eaux alcalins ( $\text{Na}_2\text{O}$  et  $\text{K}_2\text{O}$ ) et magnésie ( $\text{MgO}$ ) dans un premier temps.
  - Entre 1260 et 1338°C formation de C4AF et C3A.
  - Dès 1338° C, C4AF et C3A donnent naissance à la phase liquide qui favorise les réactions chimiques solide / solide entre silice et chaux, et donc, l'aptitude à la combinaison du cru.

Il est intéressant pour la régularité de la cuisson d'une part et la régularité des résistances d'autre part de constituer un cru qui conduit à un clinker dont le pourcentage de phase liquide et le pourcentage de C3S soient des constantes.

La quantité de phase liquide présente dans le four peut être calculée par avance dans le cru grâce aux formules de LEA :

$$\text{à } 1338^\circ\text{C} : \% \text{ Phase Liquide} = 6,1 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$$

Dans cette formule nous pouvons voir l'impact attendue du  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (fer = fondant) sur la phase liquide, mais également l'impact des éléments mineurs (mineurs = en petits %) tels

que les alcalins  $\text{Na}_2\text{O}$  et  $\text{K}_2\text{O}$ , ainsi que celui de la magnésie  $\text{MgO}$ . Ces éléments mineurs sont en petites quantités dans le cru et le clinker car ils ont un impact élevé sur les caractéristiques du ciment et du béton.

- De  $1338^\circ\text{C}$  à  $1420^\circ\text{C}$  combinaison du C2S

- à partir de  $1420^\circ\text{C}$  formation du C 3S par réaction du C2S avec la chaux restante à partie.

Généralement, la réaction n'est pas totale et il reste un peu de chaux non combinée : c'est la chaux libre dont l'excès peut être nocif dans le ciment (risque d'expansion).

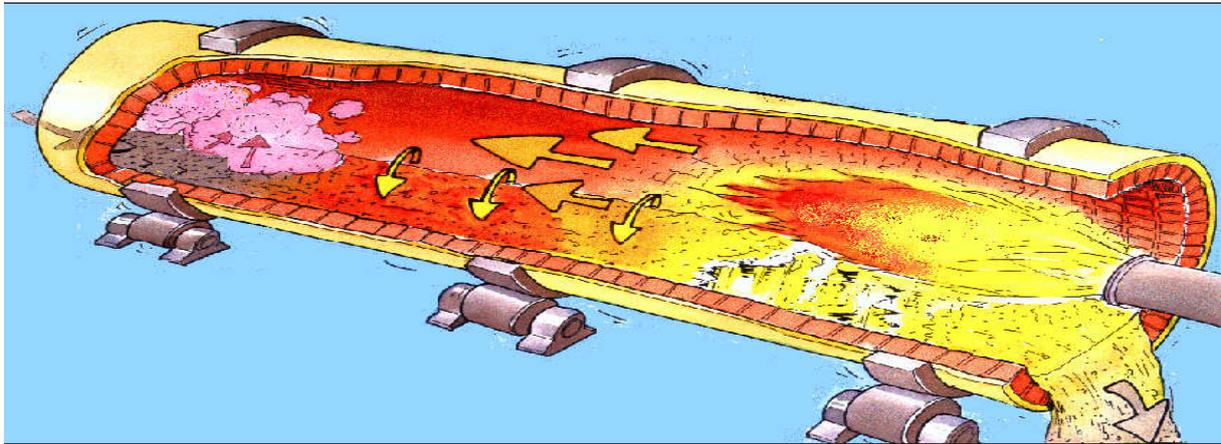
à  $1450^\circ\text{C}$  : % Phase Liquide =  $3 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 2.25 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$

Habituellement la phase liquide conseillée pour une cuisson facile est : de  $17\% <$  phase liquide  $<$  à  $25\%$ .

#### - **La flamme :**

Pour optimiser les conditions de cuisson il faut obtenir une flamme courte et pincée grâce à une forte impulsion, une combustion à la bonne granulométrie (taille des grains pour un combustible solide, taille des gouttelettes pour un combustible liquide), une flamme centrée sur l'axe du four, un débit combustibles adapté et précis, des combustibles de qualité régulière (PCI, %  $\text{H}_2\text{O}$ , viscosité), de l'air en quantité suffisante ( $5\%$  d'air correspond à  $1\%$  d' $\text{O}_2$ ) et à une température d'air secondaire suffisante.

- Une flamme courte, chaude, bien axée permet de réaliser une bonne cuisson : bonne combinaison, peu de chaux libre, cristaux C3S et C2S petits et réactifs, bonne broyabilité, résistances correctes ;
- Une flamme longue, sans compensation de combustible est moins chaude, la cuisson sera moins bonne, le % de chaux libre augmente (l'expansion lors de l'hydratation augmente), baisse du C3S (les R28j baissent), % de C2S augmente (la broyabilité du clinker diminue) ;
- Une flamme longue, avec compensation de combustible est plus chaude, la cuisson sera plus forte, le % de chaux libre baisse, la taille des cristaux augmente (la réactivité du clinker baisse donc le temps de prise augmente, la broyabilité diminue).

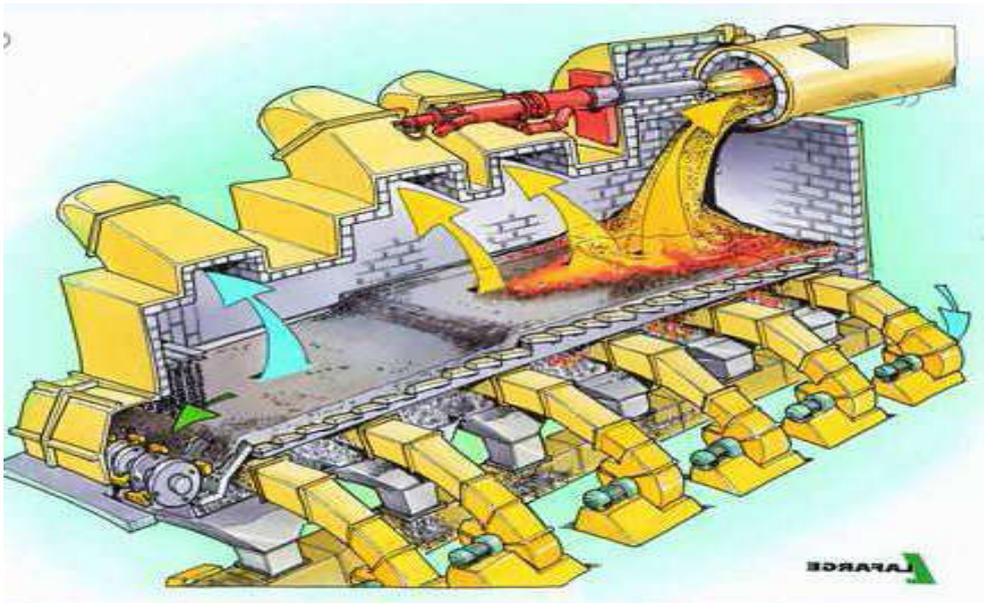


**Figure II.12 : Flamme**

## II.9 Le refroidisseur

Le clinker sort du four à une température supérieure à 1350°C, le passage dans le refroidisseur a plusieurs fonctions.

C'est un appareil qui a pour but de **tremper** et **refroidir** le clinker, **recupérer des thermies** pour l'air de combustion et éventuellement un broyeur cru ou charbon. Le refroidisseur est un échangeur thermique. Il existe plusieurs types de refroidisseurs : vertical, rotatifs, à ballonnets, à grilles mobiles, à grilles statiques.



**Figure II.13 : Refroidisseur**

## Chapitre III : les déchets et leur valorisation

### III.1 Définition

Dans le secteur des déchets, le rôle des définitions (et du vocabulaire) est particulièrement critique.

Ainsi, selon la loi 01-19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, le déchet est défini comme étant tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériaux, produit ou, plus généralement, tout objet, bien meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer

D'après, (Anonyme 1, 2001) [3] « Les termes de "bien meuble" et "abandon" font appel à des notions de droit civil appartenant à la terminologie du droit des biens. Le terme "abandon" pourrait rattacher juridiquement le déchet "bien meuble" à la catégorie des "choses sans maîtres", choses volontairement délaissées par leur propriétaire.

Cependant, la notion de détenteur et la définition de l'abandon renvoient implicitement à la responsabilité du producteur et/ou du détenteur de déchets. Aussi, derrière tout déchet surtout générateur de nuisances, se trouve une personne physique qui le produit ou le détient et qui en est responsable jusqu'à son élimination finale. Et ce même si le déchet n'est plus physiquement entre ses mains (Anonyme 1, 2001) [3].

Pour (BERTOLINI, 1990) [4], le déchet est défini "comme un produit dont la valeur d'usage et la valeur d'échange sont nulles pour son détenteur ou son propriétaire. Ce déficit en valeur économique tient du fait que le déchet n'est pas un produit rare, contrairement à l'air par exemple».

Par ailleurs, pour le dictionnaire LAROUSSE, un déchet est un débris ou tous les restes sans valeur de quelque chose ou encore tout ce qui tombe d'une matière qu'on travail (exemple : un déchet radioactif). C'est donc toute matière ou objet indésirable abandonné sur la voie publique, même les cadavres d'animaux, bref une réunion de résidus hétérogènes (SOTAMENOU, 2005)[5].

En résumé, Le déchet est défini, comme « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire » (tout résidu d'une

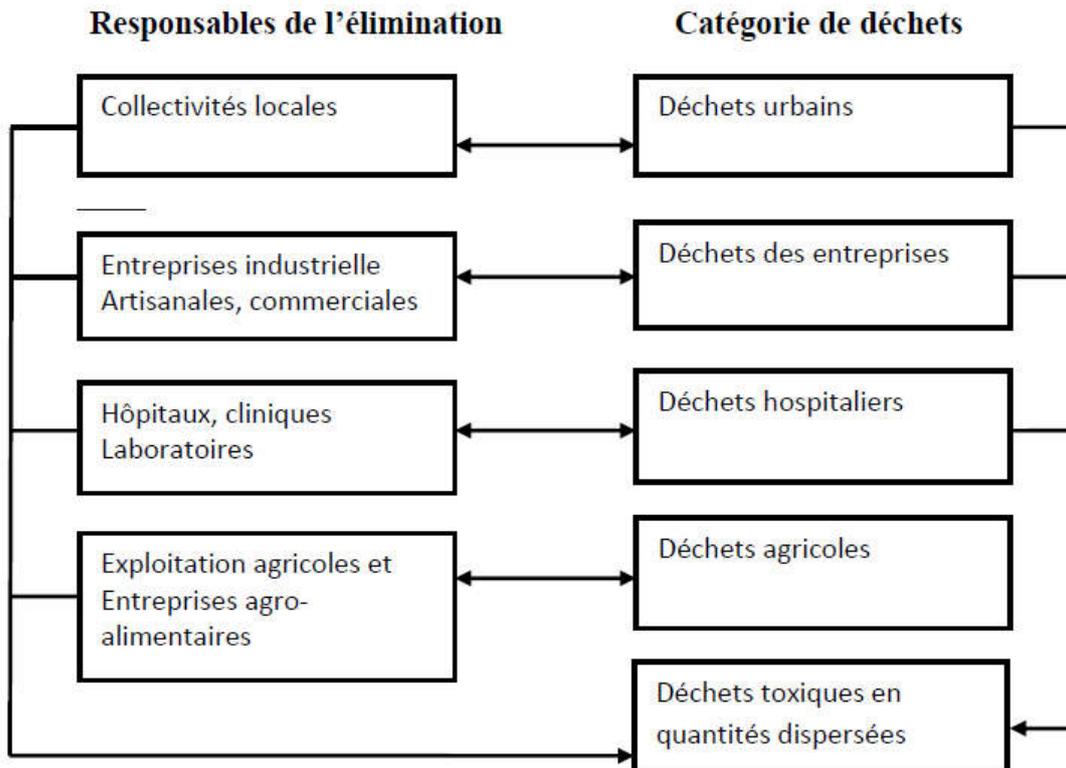
production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné.

Dans ce cadre, le déchet dispose d'un statut juridique spécifique qui a pour objectif d'éviter les risques pour l'environnement et la santé publique qui pourraient être liés au fait que le déchet a été abandonné. La qualification de déchet entraîne l'obligation de respecter un certain nombre de précautions nécessaires pour assurer la bonne gestion, des déchets, c'est-à-dire leur collecte, transport, valorisation et élimination dans le respect de l'environnement et de la santé humaine.

Certains déchets peuvent avoir une utilité, c'est-à-dire un potentiel de valorisation et donc une valeur économique ; ils peuvent être vendus et achetés. La réglementation et la jurisprudence prévoient dans quelles modalités les déchets peuvent quitter le statut de déchet.

### **III.2 Classification des déchets**

Il existe une grande variété de déchets. Ils peuvent être classés selon différents critères : producteur du déchet, propriétés du déchet, secteur où est produit le déchet. Ce classement permet de distinguer les règles applicables par les acteurs de la gestion des déchets et de moduler ces règles en fonction des capacités du producteur et des risques associés à la manipulation du déchet. Et selon (LEROY, 1997) [6], on distingue les déchets urbains, les déchets des entreprises (appelés aussi déchets industriels), les déchets hospitaliers, les déchets agricoles et les déchets particuliers en quantité limitée, appelés autrefois DTQD (déchets toxiques en quantités dispersées), désignés actuellement sous les noms de DSM (déchets spéciaux des ménages), DTQL (déchets toxique en quantités limitées). La distinction entre ces diverses catégories fait référence aux autorités responsables de l'élimination, sauf en ce qui concerne les déchets dispersés que l'on retrouve dans toutes les catégories (Fig.III.1).



**Figure III.1** : Classification des déchets (Leroy 1997)[6].

D'après (DAMIEN, 2006) [7], on décline les différentes catégories des déchets en tenant

compte de certains aspects des déchets :

1. Caractère dangereux ou non ;
2. Caractères physiques, chimiques et biologiques (fermentescible, inflammable, etc...) ;
3. Secteur producteur (industrie, collectivités, particuliers) ;
4. Composition, usage (emballage, électroménager, véhicule).

Donc, les différents types de déchets

- Les déchets ménagers
- Autres types de déchets
- Déchets organiques ou déchets de l'assainissement
- Déchets des entreprises : déchets produits par les entreprises de toutes activités

### III.2.1 Les déchets ménagers et assimilés (DMA)

Cette catégorie recouvre :

1. Les ordures ménagères (OM)

2. Les déchets municipaux (DM) ou urbains, les résidus urbains (déchets du nettoyage),

(Leur traitement relève de la responsabilité des municipalités qui peuvent en déléguer la responsabilité à des sociétés ou des syndicats).

3. Les déchets occasionnels (déchets verts, encombrants et déchets de bricolage)

Ainsi Les ordures ménagères dans la commune de Constantine (Tab.2), présentent les caractéristiques suivantes (Anonyme 2, 2005) :[8]

- La présence importante de la matière organique (71%) dans les différents quartiers qui s'explique par la forte concentration des habitations dans des agglomérations caractérisées par une forte densité de la population, évaluée à 2081 hab. /Km<sup>2</sup> (Anonyme 2, 2005)[8].
- La quantité significative de la matière plastique (12.5%).

### III.2.2 Classification selon le producteur du déchet

Les déchets peuvent être divisés en deux classes :

- les « **déchets ménagers** », dont le producteur initial est un ménage ;
- les « **déchets d'activités économiques** » (DAE), dont le producteur initial n'est pas un ménage.

La gestion des déchets ménagers relève de la responsabilité des collectivités territoriales, dans le cadre du « service public de gestion des déchets ».

La gestion des déchets d'activités économiques est de la responsabilité du producteur initial de ces déchets, qui peut par exemple contractualiser avec un prestataire privé pour l'enlèvement et la gestion de ses déchets, dans le respect des exigences réglementaires concernant le tri des déchets des professionnels.

Dans ce cadre, de manière générale, les déchets des activités économiques ne relèvent pas du service public de gestion des déchets. Les collectivités peuvent cependant faire bénéficier les professionnels de ce service, pour certains types de déchets appelés « assimilés », pour lesquels il n'existe pas de sujétions techniques particulières par rapport à

la gestion des déchets des ménages. On parle alors de « déchets ménagers et assimilés » (DMA). Les collectivités peuvent fixer des limites de quantités pour la prise en charge de ces déchets assimilés.

### III.2.3 Classification selon les propriétés du déchet

Les déchets peuvent être divisés en trois catégories :

- les **déchets dangereux (DD)** : ils s'agit des déchets qui présentent une ou plusieurs des 15 propriétés de danger définies au niveau européen : inflammables, toxiques, dangereux pour l'environnement... Les déchets dangereux font l'objet de règles de gestion particulières en raison des risques particuliers d'impact environnemental et sanitaire associés à leur manipulation.
- les **déchets non dangereux (DND)** : il s'agit de déchets qui ne présentent aucune des 15 propriétés de danger définies au niveau européen. Les règles de gestion sont plus souples que pour les déchets dangereux. Il s'agit par exemple de biodéchets, de déchets de verre ou de plastique, de bois, etc.
- les **déchets non dangereux inertes** : parmi les déchets non dangereux, ce sont des déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas les matières avec lesquelles ils entrent en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine. Il s'agit en majorité de déchets provenant du secteur du bâtiment et des travaux publics (déchets de béton, de briques, de tuiles, etc.).

### III.2.4 Classification selon le secteur de production

La « nomenclature des déchets » est une codification réglementaire établie au niveau européen qui permet d'identifier chaque type de déchet par un code à six chiffres faisant référence au secteur de production du déchet. Les déchets dangereux sont signalés par une étoile après le code.

La nomenclature des déchets est la référence en termes de classification des déchets. Le code du déchet issu de cette nomenclature est nécessaire dans tous les documents officiels de gestion de ce déchet

### **III.3 Traitement et valorisation des déchets**

On a longtemps considéré les déchets comme des matériaux qui ne servent plus et qu'il faut jeter. Il existe quatre façons de se débarrasser des déchets : les jeter, les enterrer, les brûler ou les composter (BERG & al, 2009) [9].

#### **III.3.1 Définition du traitement des déchets**

la loi 01-19 du 12 décembre 2001, définit le traitement des déchets comme toute mesure pratique permettant d'assurer que les déchets sont valorisés, stockés et éliminés d'une manière garantissant la protection de la santé publique et/ou de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets.

Selon LEROY, (1997) [6] traiter un déchet c'est lui permettre soit d'être valorisé : cas de tous les tris, récupération, transformations qui permettront de lui trouver une utilisation, soit d'être rejeté dans le milieu extérieur dans des conditions acceptables.

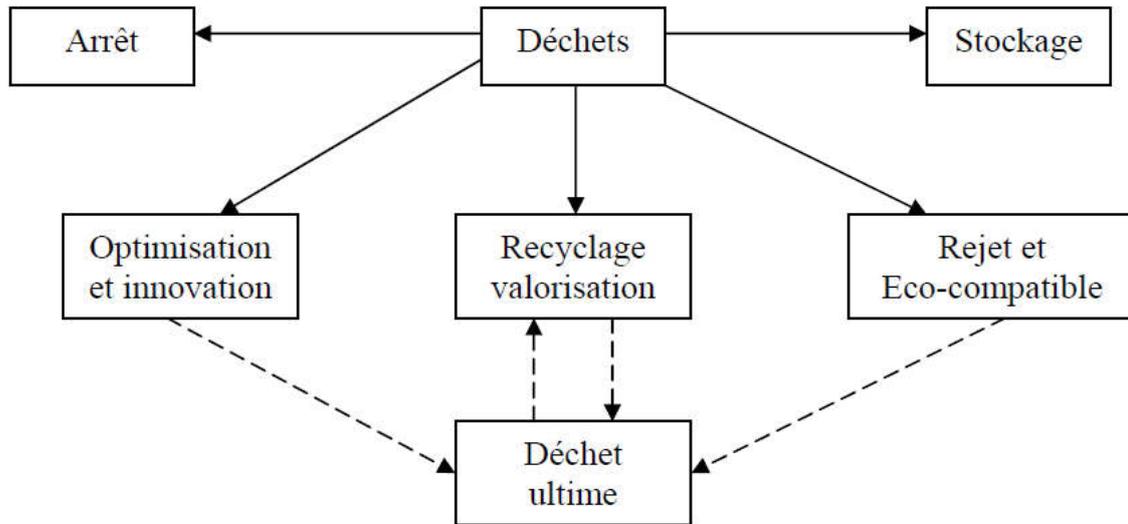
#### **III.3.2 Stratégies de traitement des déchets**

Malgré les quantités importantes des déchets dans notre pays et dans le monde une gestion des déchets solides n'est pas à l'heure actuelle développée. Quelquefois la récupération de certaines matières valorisables est pratiquée, mais la qualité reste très insuffisante. La stratégie d'une bonne gestion des déchets s'appuie sur deux grands principes :

- Il faut prendre en compte simultanément les notions de matière, d'énergie, d'environnement et d'économie.

- Des lorsque ces stratégies ont pour objectif le retour des déchets dans le milieu naturel, il y a lieu de s'inspirer des lois qui régissent le fonctionnement de ce milieu.

Ces lois existent à travers les cycles bio-géochimiques qui régissent la circulation des éléments chimiques[10]. La gestion des déchets passe par cinq stratégies possibles qui sont représentés à la figure III.2.



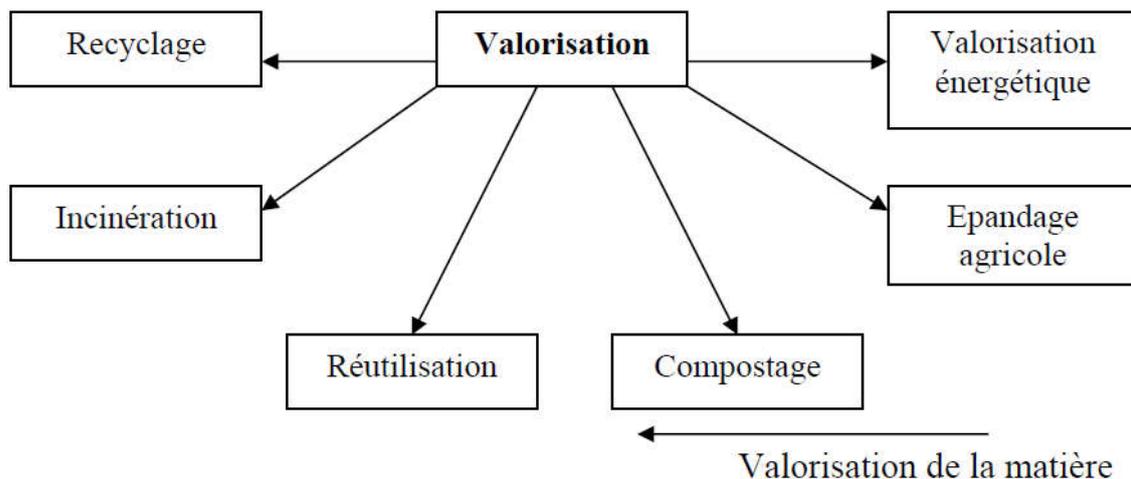
**Figure III.2** : Stratégies de traitement des déchets [10].

Seules les stratégies de valorisation, de rejet éco-compatible et de stockage concernant directement la gestion des déchets[10].

Leur mise en œuvre concrète passe par un certain nombre de filières techniques, elles articulent autour des objectifs généraux suivants :

- Valorisation énergétique.
- Valorisation en matière première organique et minérale.
- Valorisation en science des matériaux.
- Valorisation en agriculture.
- Valorisation en technique de l'environnement.
- Technique dite d'élimination.

Ces objectifs sont représentés à la figure III.3.



**Figure III.3:** Valorisation des déchets [10].

On entend par :

**Récupération** : séparation de certains produits ou matériaux des déchets à des fins de réemploi de réutilisation et de recyclage.

**Recyclage** : réintroduction d'un matériau récupéré dans le cycle de production dont il est issu (même circuit de fabrication).

**Compostage** : Le procédé de traitement biologique de déchets et la transformation des constituants organiques d'un déchet en un produit stabilisé (compost).

**Incinération** : C'est un procédé thermique qui consiste à la destruction complète du déchet et sa transformation en éléments simples et inertes sous l'action d'une forte chaleur et de l'oxygène de l'air.

Il faut noter que les résidus solides de combustion (cendres, mâchefers...) représentent 25 % à 30 % du poids des déchets, ils sont valorisés entant qu'ajouts cimentaires.

**Valorisation** : Selon la loi 01-19 , la valorisation des déchets est toutes les opérations de réutilisation, de recyclage ou de compostage des déchets. Autrement dit, tout traitement où utilisation des déchets qui permet de leur trouver un débouché ayant une valeur économique positive. Le terme général valorisation englobe réemploi recyclage et réutilisation.

### III.4 Pourquoi valoriser ?

L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la

nature et l'environnement. Les arguments peuvent être résumés en :

- Augmentation de la production.
- Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé.
- Une législation de plus en plus sévère.
- Une meilleure gestion de la recherche.

## Références bibliographiques

- [1] **HAZOUMA, K., BATTA, IMEN.,** (2015 /2016) Industrie cimentière :procédés de fabrication du ciment, Université Mohamed Khider-Biskra, Biskra, Algérie
- [2] Document chef de poste Algérie 2004
- [3] **ANONYME 1., 2001.** CNRS, INRA, INSERM Gestion des déchets : guide pour les établissements publics d'enseignement supérieur ou de recherche. 194 p.
- [4] **BERTOLINI.G., 1990.** Le marché des ordures. Edition : L'harmattan, Paris.
- [5] **SOTAMENOU. J., 2005.** Efficacité de la collecte des déchets ménagers et agriculture urbaine et périurbaine dans la ville de Yaoundé. Mémoire de D.E.A, Université de Yaoundé II, Cameroun. 100 p.
- [6] **LEROY. JB., 1997.** Les déchets et leurs traitement : les déchets solides industriels et ménagers. Edition : Presse Universitaires de France, Paris, 3<sup>ème</sup> édit. 127 p.
- [7] **DAMIEN. A., 2006.** Guide du traitement des déchets. 4<sup>ème</sup> édition, Dunod, Paris. P 3-16, 279- 293.
- [8] **ANONYME 2. 2005.** Schéma directeur de gestion des déchets solides urbains groupement de Constantine Direction d'assainissement et d'environnement Constantine.
- [9] **BERG.LR, RAVEN.P.H, HASSENZ AHL.D.M., 2009.** Environnement. Edition : De Boeck, Bruxelles. 605-619.
- [10] **ZEGHICHI, L** (2006), *Etude des bétons basiques a base des différents granulats*, Doctorat en Sciences, Université Mohamed Khider-Biskra, Biskra, Algérie.

# **Partie Expérimentale**

## Chapitre IV : Partie Expérimentale

### IV.1 Introduction

L'étude de la possibilité d'injection des déchets et son influence sur la qualité de clinker, ciment et le matériel de la cimenterie, basé sur l'analyse des différentes quantités dans le but de choisir la meilleure.

L'étude est basé sur l'analyse chimique de mélange de déchets avec de la farine et les paramètres physique de clinker par utilisation d'une huile comme adjuvant et comparé ces résultats avec les analyses témoins de la ligne N°2 de la cimenterie (Paramètres Chimiques de la farine et les analyses physiques de clinker et gypse de même ligne).

Les méthodes d'analyses portent sur la détermination des paramètres chimiques (Perte au feu, pourcentage de chlorure, pourcentage de  $SO_3$  et rayon X) et les paramètres physiques (temps de broyage, résistance, SSB et la finesse) et les comparé avec les paramètres de la hot mil son déchets de la cimenterie.

Les paramètres visés sont : le poids pour trouver le dosage des déchets dans la boite a fumée.

### IV.2 Paramètres chimiques

#### IV.2.1 Analyse Chimique

Dans ce travail cinq types de déchets solides ont été choisi avec trois masses bien déterminés pour chacun (Plastique, Bois, médicament, manche de filtre et matière organique).

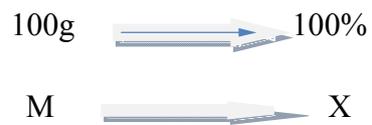
#### Calcul et pesé des masses

Le calcul se fait sur trois masses de déchets ( $m=1$ tonne, 2tonne et 20kg) . Le choit de ces masses est en fonction du débit de la ligne N°2 de la cimenterie qui est de l'ordre de  $D=400$  T/h ( $1T=1000000g$ ). L'étude a été faite sur une masse de farine de cette même ligne qui est de l'ordre de 100g.

Le pourcentage des déchets est calculé comme suit:

$$\begin{array}{ccc} 400000000 & \xrightarrow{\hspace{2cm}} & 100\% \\ M \text{ déchets} & \xrightarrow{\hspace{2cm}} & X \end{array}$$

La masse des déchets dans 100g de la farine



**Figure IV.1 :** Balance pour la pesé des masses

**- Préparation de mélange (farine+déchet) a mettre dans le four :**

On mit chaque masse de déchet solide avec 100g de farine puis on met chaque mélange dans le four à une température de  $T=940^{\circ}\text{C}$  pendant une heure.



**Figure IV. 2 :** Mélange préparé d'un déchet avec 100 g de farine



**Figure IV.3 :** Mélange dans le four a T=940°C

#### **IV.2.1.1 Calcul de la perte au feu (PF)**

La perte au feu est le pourcentage de matière éliminée au cours de la calcination à l'air d'un échantillon sous une température de 940°C. Elle peut être appliquée sur toutes les matières solides. Par calcination à l'air, le gaz carbonique et l'eau sont volatilisés. Les éléments oxydables éventuellement présents peuvent être oxydés.

##### **IV.2.1.1.1 Appareillage**

L'appareillage contient une capsule en céramique, balance de précision à 0,1 mg près, four à 940°C , un dessiccateur et gel de silice.

##### **IV.2.1.1.2 Mode opératoire**

Le mode opératoire contient les étapes suivantes :

- Peser et noté la masse d'une capsule en céramique  $m_1$  ;
- Peser et noté la masse de mélange  $m_e$  ;
- Placer la capsule dans le four à 940°C pendant une heure ;
- Sortir la capsule du four et laisser refroidir quelques minutes dans un dessiccateur,
- Peser et noter la masse de la capsule après perte au feu  $m_2$  ;

Pour estimer les valeurs de la perte au feu , la formule suivante a été utilisé :

$$PF= \left[ \frac{(m_1+m_e) - m_2}{m_e} \right] * 100 \dots \dots \dots III.1$$

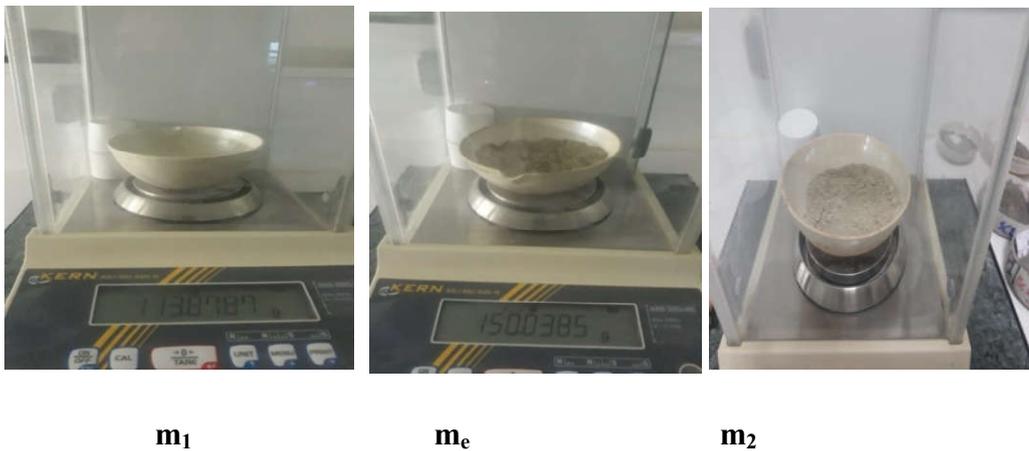
Avec :

PF : Perte au feu

$m_1$  : masse de la capsule vide en g

$m_e$  : masse de mélange en g

$m_2$  : masse finale (capsule+mélange calciné)



**Figure IV. 4** : Etapes pour le calcul la perte au feu

#### **IV.2.1.2 Détermination de chlorure**

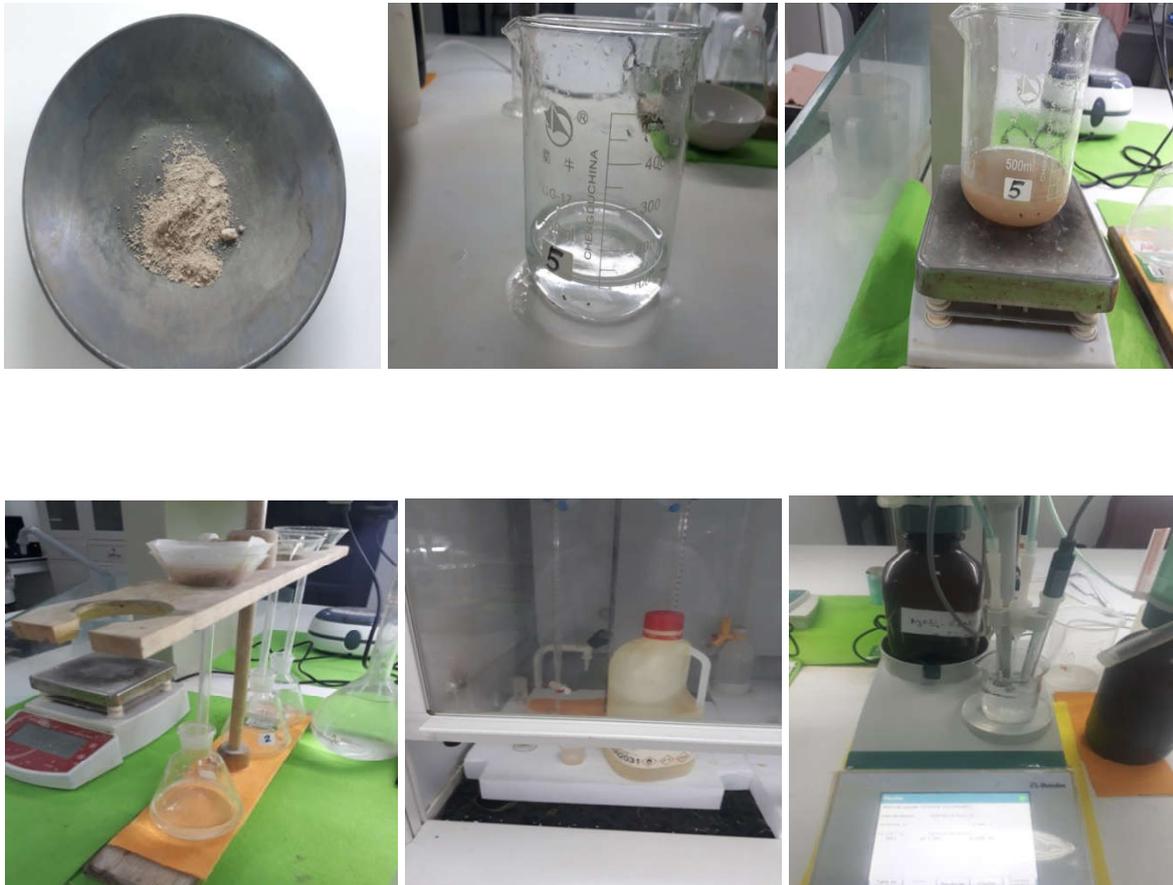
Le principe est solubilisation des chlorures, précipitation des chlorures au moyen du nitrate d'argent, suivi de titrage par potentiomètre au moyen d'une électrode d'argent en présence d'une solution tampon : il est à observer une brusque variation de potentiel quand du nitrate d'argent est ajouté en excès.

##### **IV.2.2.2.1 Mode opératoire**

Le mode opératoire utilisé comporte les étapes suivantes :

- Pesez exactement une masse  $m$  de l'échantillon dans un bécher de 250ml, ajout 100ml d'eau distillée ;
- Placez le bécher sur un Agitateur magnétique ;
- Filtrez la solution dans un erlenmeyer de 250 ml a travers un papier filtre, rincez le papier filtre rapidement avec l'eau distillée. Prenez 80ml de filtra et ajoutez avec précaution 5ml d'acide Nitrique concentré ;

- Mettez la solution filtré dans le potentiomètre et attendez jusqu'à l'obtention le pourcentage de chlorure. La figure suivante rassemble les étapes utilisés pour la détermination de pourcentage de chlorure.



**Figure IV. 5:** Etapes de détermination de pourcentage de chlorure

#### IV.2.1.3 Détermination de $\text{SO}_3$ avec un appareil ELTRA CS 800

Cette instruction nous indique la détermination de  $\text{SO}_3$  dans les matières finies (ciment) semi- fini (clinker bay-passe.....) et matière premier de calcaire.

**1-** Manipulation ELTRA CS 800 : Les étapes sont le suivantes :

- Pesé une masse  $m=0,2\text{g}$  d'échantillon dans des nouveaux creusets en céramique puis mettre le creusé dans l'appareil ;
- Ajouté à l'échantillon le fer et le tungsten ;
- Ouvrir bouteille d'oxygène et vérifier la pression  $P=1,5$  bar ;
- Mettre l'appareil en position 2 ;

2- Saisir les paramètres de l'échantillon :

- identification de l'échantillon ;
- Poids d'échantillon en mg ;
- Sélection et l'application ;
- Cliquer sur Analyse : F5-analyse ;

3- L'appareil en cours d'analyse :

- Affichage du résultat ;
- Déchargement d'échantillon : attention l'échantillon est très chaud ;
- Collecter les creusets utilisés dans un bocal en acier ;
- Mettre l'appareil en position1 (mode en veille).



Figure IV.6: Etapes de détermination de pourcentage de  $\text{SO}_3$

#### **IV.2.1.4 Préparation des pastilles des échantillons pour XRF (Zetium)**

Il s'agit d'une méthode de préparation des pastilles afin de les utiliser en spectromètre XRF(Zetium) (figure III.7).

##### **IV.2.1.4.1- Mode opératoire**

Les étapes sont les suivantes :

- Peser 20g de l'échantillon dans une balance de 0,1 g et ajoutez 1g de l'additif Wax ( $C_{18}H_{36}O_2N_2$ );
- Placer environ 5g d'échantillon dans le broyeur et démarrer pendant 10 secondes pour rinçage ;
- Placer l'échantillon dans le bol et fermé avec son couvercle et mètre le tout dans le broyeur à disque et fermer a porte du broyeur ;
- Pousser le bouton de synchronisation puis le bouton du programme (bouton de démarrage) et attendre jusqu'à ce que l'opération de broyage soit terminée ;
- Prendre 10g de l'échantillon broyé ;
- Placer l'anneau en acier dans la machine (presse hydraulique) ;
- A l'aide d'une spatule verser la matière dans l'anneau et uniformiser la surface de la matière ;
- Fermé la porte de la presse et appuyer sur le bouton synchronisation, puis sur le bouton du programme choisi (bouton de démarrage), attendre jusqu'à ce que l'opération de pression soit terminée ;
- Ouvrir la porte et prendre l'anneau avec précaution (ne pas toucher la face supérieure de la pastille ave doigts), nettoyer la face inferieur avec un pinceau ;
- Sur la face inferieur, inscrire à l'aide d'un crayon l'identification de l'échantillon.



**Figure IV. 7 :** Etapes de la préparation d'une pastille

### **IV.3 Analyse Physiques**

#### **IV.3.1 Préparation des échantillons**

Dans cette analyse on a choisit directement un pourcentage de déchet liquide (huile) qu'est de 0,1%. L'échantillon est un mélange de 95% clinker et 5% de gypse (CEMI) et dont les quantités sont déterminé d'après l'identification de  $SO_3$  de chaque composant.

### IV.3.1.1 Préparation d'échantillon de mélange

Pour déterminer la bonne masse de clinker et de gypse, il faut prendre le pourcentage de  $SO_3$  qui est dans les normes par rapport a 5kg ciment (mélange) :

$M(\text{clinker})=4890\text{g}$

$M(\text{gypse})=110\text{g}$

Détermination de la mase d'huile :

$M(\text{mélange}) \longrightarrow 100\%$

$M(\text{huile}) \longrightarrow 0,1\%$

Deux échantillons ont été préparer :

- mélange 1 : (clinker+gypse) ,
- mélange 2 : (clinker+gypse+huile),

Un broyage de chaque mélange pendant 40 minutes puis faire les analyses.



**Figure IV. 8** : Préparation des échantillons

### IV.3.2 Détermination des paramètres physiques

#### IV.3.2.1 Détermination de SSB

Les étapes sont les suivantes :

- Prendre une masse de l'échantillon et la faire placer dans l'appareil de mesure et attendre jusqu'a l'affichage de valeur mesurer ;



**Figure IV. 9** : Appareil de mesure de SSB

### IV.3.2.2 Détermination de la résistance

#### IV.3.2.2.1 Préparation du mortier

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques de ciment et notamment la résistance à la compression.

Les compositions du mortier à tester sont les suivant :

**Tableau IV.1** : Compositions du mortier

Composants	Dosage pondéral
Ciment	450 g
Sable normalisé (Norme en196-1)	1350 g
Eau de gâchage	225 ml
Le rapport E/C	0,5

- Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment soigneusement
- Mettre alors le malaxeur en marche à petite vitesse
- Après 30 seconde, introduire le sable normaliser et continuer a malaxer.
- Enlever à l'aide d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois



**Figure IV.10 : Préparation du mortier**

#### **IV.3.2.2.2 Préparation des éprouvettes**

- Préparer une série des moules de dimension  $4 \times 4 \times 16$  cm ;
- Le moule et sa hausse fermement fixes à la table à choc ;
- Remplir avec précaution à l'aide d'une cuillère convenable, le moule à mortier et dans chaque compartiment de celui-ci ;
- Etaler la couche uniformément en utilisant une spatule adéquate (le tenir verticalement et avec des mouvements de va et vient) ;
- Démarrer ensuite l'appareil à choc pour 60 coups ;
- Introduire la seconde couche, niveler avec la spatule et démarrer l'appareil pour 60 autres coups ;
- Retirer avec précaution le moule de table et ôter la hausse, enlever immédiatement l'excès de mortier avec une règle métallique plate animée de lents mouvements ;
- Lisser la surface des éprouvettes en tenant la règle presque à plat ;
- Etiquetter les moules pour identification ;
- Placer sans tarder les moules dans une armoire humide à régulation de température ;
- Immerger sans tarder les éprouvettes dans un bain d'eau régulation de température à  $20^{\circ}\text{C}$  ;
- L'éprouvette pour 2 jours, 1 éprouvette pour 7 jours et 1 éprouvette pour 28 jours.

#### **IV.3.2.2.3 Essais des éprouvettes**

##### **IV.3.2.2.3.1 Résistance à flexion**

- Placer le prisme dans le dispositif de flexion avec une face de moulage sur les rouleaux d'appui,

- Appliquer la charge verticalement et faire augmenter uniformément la charge jusqu'à rupture.

#### IV.3.2.2.3.2 Résistance à la compression

- Placer le demi-prisme en compression sur les faces latérales de moulage ;
- Centrer chaque demi-prisme dans le compartiment d'essai ;
- Appliquer la charge verticalement et faire augmenter uniformément la charge jusqu'à rupture.



**Figure IV. 11:** Préparation des échantillons pour la mesure de la résistance

#### IV. 4 Analyse de quelques types des déchets incinérés

Mettre une quantité des déchets dans le four à  $T=940^{\circ}\text{C}$  pendant une heure.

Pour préparer la pastille, il faut prendre une quantité de 20g de l'échantillon (déchet incinéré+farine), on a choisit la grande masse utilisé précédemment.

$$\begin{array}{l}
 100\text{g} \quad \longleftarrow \text{X max\%} \\
 20\text{g} \quad \longleftarrow \text{X déchets incinéré}
 \end{array}$$

Après l'incinération on met cette quantité avec 20 g de la farine pour déterminer l'analyse chimique avec les rayons X .



**Figure IV.12** : Incinération de la matière organique

## **Résultats et discussion**

## Chapitre V : Résultats et Discussion

Cette partie rassemble les résultats obtenus de la partie expérimentale réalisée au laboratoire de la cimenterie de la wilaya de BISKRA

### V.1 Résultats des calcul de masses

Le tableau V.1 donne les résultats des différents pourcentages des masses des déchets calculés d'après le débit:

**Tableau V.1 :** Pourcentage de déchets

Masse des déchets (g)	Pourcentage X (% dans débit de la ligne 2)
M=2000000	0,05
M=1000000	0,25
M=20000	0,5

Le tableau suivant représente les résultats de déchets dans 100 g de KN :

**Tableau V.2 :** La masse des déchets dans 100g de KN

Pourcentage X	Masse des déchets dans 100g de la farine (g)
0,05	0,05
0,25	0,25
0,5	0,5

### V.2 Résultats des paramètres chimiques

Les résultats de paramètres chimiques de déchets à T=940°C incinéré et une masse m=0,5g sont résumés dans le tableau suivant:

100g  $\longrightarrow$  0,5%  
20g  $\longrightarrow$  X déchets incinéré

### V.3 Résultats des paramètres chimiques du mélange

Les résultats des paramètres chimiques sont résumés dans le tableau V.3 :

**Tableau V. 3** : Résultats de paramètres chimiques de mélange

Matière/Paramètre	Masse des déchets	PF	% Cl	% SO <sub>3</sub>	
Mélange cru	///	(33.80 à 39.1)	(0.01 à 0.2)	(0.06 à 1.06)	
Hotmil					
KINFEED		36	0,09	0,69	
	Plastique	0,05	35	0,06	1,19
		0,25	35	0,03	1,11
		0,5	35	0,05	1,22
	Bois	0,05	36	0,04	1,44
		0,25	35	0,04	1,39
		0,5	35	0,03	1,44
	Manche a filtre	0,05	33	0,08	1,32
		0,25	34	0,08	1,35
		0,5	36	0,06	1,25
	Médicament	0,05	32	0,03	1,34
		0,25	35	0,05	1,25
		0,5	35	0,05	1,26
	Matière organique	0,05	36	0,05	0,93
		0,25	34	0,04	1,15
		0,5	33	0,04	1,29

Notre interprétation est basée sur la comparaison des résultats chimique de kinfeed, ciment (clinker,gypse) et physique de ciment avec les analyses des échantillons préparé dans le laboratoire et les normes des composants chimiques et physiques utilisé dans les cimenteries.

- Les résultats de tableau 3 montrent que les valeurs de la PF et le pourcentage de Chlore de mélange (déchets, farine) sont dans les normes (mélange cru) et parallèles avec les valeurs de la PF et le pourcentage de Chlore de KINFEED.

#### V.4 Résultats de l'analyse chimique obtenus par rayon X

Les résultats de l'analyse chimique déterminés par rayon-X est montré dans le tableau 4 :

**Tableau V. 4:** Résultats de l'analyse chimique par Rayon-X

<b>Composition chimique</b>	<b>Masse</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>LSF</b>	<b>MS cal</b>
<b>Min target</b>		<b>9.10</b>	<b>2.00</b>	<b>1.00</b>	<b>39.00</b>	<b>0.5</b>	<b>0.06</b>	<b>91</b>	<b>2.1</b>
<b>Max target</b>		<b>16</b>	<b>4.50</b>	<b>3.80</b>	<b>45.20</b>	<b>4</b>	<b>1.06</b>	<b>110</b>	<b>2.4</b>
<b>Hotmil</b>		17,780	5,218	3,159	65,149	2,542	1,616	109,689	2,122
<b>KINFEED</b>		12,743	3,144	2,409	42,104	1,649	0,744	102,8	2,385
<b>Plastique</b>	0,05	13,37	3,17	1,98	41,15	2,25	0,79	96,92	2,69
	0,25	13,321	3,140	1,97	41,25	2,25	0,79	97,55	2,71
	0,5	13,37	3,20	1,97	41,12	2,26	0,78	96,80	2,69
<b>Bois</b>	0,05	13,75	3,30	1,91	40,49	2,40	0,81	92,81	2,74
	0,25	13,50	3,27	1,92	40,73	2,40	0,83	94,92	2,70
	0,5	13,37	3,27	1,90	40,90	2,40	0,82	96,13	2,68
<b>M. filtré</b>	0,05	13,29	3,28	1,90	40,99	2,40	0,82	96,84	2,66
	0,25	13,25	3,27	1,89	41,03	2,42	0,82	97,26	2,66
	0,5	13,18	3,26	1,94	41,01	2,44	0,85	97,59	2,64
<b>Médicament</b>	0,05	12,03	2,94	1,94	42,45	2,56	0,86	110,52	2,57
	0,25	12,31	3,06	1,99	42,09	2,46	0,84	106,95	2,54
	0,5	12,717	3,13	1,93	41,62	2,47	0,84	102,62	2,61
<b>M. organique</b>	0,05	13,202	3,18	1,93	41,36	2,20	0,78	98,55	2,68
	0,25	13,15	3,17	1,93	41,35	2,22	0,79	98,90	2,68
	0,5	12,22	2,99	1,96	42,18	2,29	0,81	108,08	2,57
<b>Bois incinéré</b>		12,311	3,10	2,05	42,47	1,93	0,77	107,621	2,49
<b>Médicament incinéré</b>		12,613	3,194	2,177	42,265	1,714	0,715	104,360	2,441
<b>M. organique incinéré</b>		12,499	3,166	2,143	41,844	1,689	0,708	104,278	2,448
<b>Clinker+Gypse</b>		20,603	4,696	3,439	64,857	2,358	2,334	99,073	2,533
<b>Clinker+Gypse+Huile</b>		20,515	4,580	3,388	64,972	2,460	2,419	99,882	2,575

Tous les résultats de tableau 4 (résultats de rayon X) des analyses chimiques de mélange (déchets, farine) et mélange (déchets incinéré, farine) sont dans les normes (mélange cru) et parallèles avec les résultats de rayon X de KINFEED, et les résultats des analyses chimiques de mélange (clinker, gypse et huile) sont parelles avec les résultats physiques de mélange (clinker, gypse).

- **Calcul de la masse de l'échantillon :**

**Tableau V. 5:** Résultats des analyses physiques

<b>Composition/Résultats</b>	<b>SSB</b>	<b>Resistance (2j)</b>	<b>Resistance (7j)</b>	<b>Resistance (28j)</b>
<b>Clinker+Gypse</b>	3157cm <sup>2</sup> /g	20 ,2	33 ,1	443
<b>Clinker+Gypse+Huile</b>	3603cm <sup>2</sup> /g	26,3	39,4	50,7

\* SSB de mélange (clinker, gypse et huile) qui est grande que la valeur de SSB de mélange (clinker, gypse).

\* Resistances qui est augmentes de 2jours jusqu'à 27 jours.

En conclusion on peut dire que l'injection de déchets qui on a utilisé dans laboratoire est valables et avec la grande quantité étudier son influence sur la qualité de clinker d'après les analyses chimique. Les résultats physique montre que l'injection de huile dans le mélange (clinker, gypse) aide dans le broyage (augmentation de SSB).

# **Conclusion générale**

## Conclusion Générale

Ce travail est réalisé dans laboratoire de la cimenterie « **BISKRIA** » dans le but de faire l'incinération des déchets et étudier leur effet sur la qualité de ciment et leur matériel.

Avant de commencer notre étude, on a choisit trois masses de déchets d'après le taux de production de la ligne N°2 pour choisir la bonne quantité qui peut résoudre le problème étudier.

Le travail pratique est basé sur la comparaison entre les analyses chimique (**PAF, chlorure, SO<sub>3</sub>, rayon X**) et physique (**SSB, résistance**) de la farine et le mélange (déchets, farine).

Les résultats obtenu soit par la manipulation pratique au par le rayon X sont dans les normes avec les trois masses.

On constate que l'incinération des déchets dans le four n'a aucune effet sur la qualité de ciment ( résultats valable pour les trois masses utilisé).