



Université Abderrahmane Mira Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et Géologie

# *Memoire de Fin d'Etudes*

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

Option : Valorisation des Ressources Minérales

*Présenté par*

*M<sup>elle</sup> : GUENNOUCHE NOURA*

## **Thème**

***Préparation à la fabrication d'un ciment pétrolier classe G à partir des matériaux disponibles au niveau de la cimenterie de Ain El Kebira.***

Soutenu le 22/ 06 /2017 devant le jury composé de:

Président:	Mr	L. HAMMICHE	M.A.B	U.A.M.B
Promoteur:	Mr	K.MOUSSACEB	Professeur	U.A.M.B
Examinatrice:	M <sup>me</sup>	N.MALEK	M.A.B	U.A.M.B
Invité :	M <sup>me</sup>	L. CHAABANE	Doctorante	U.M.A.B

*Année Universitaire: 2016-2017*



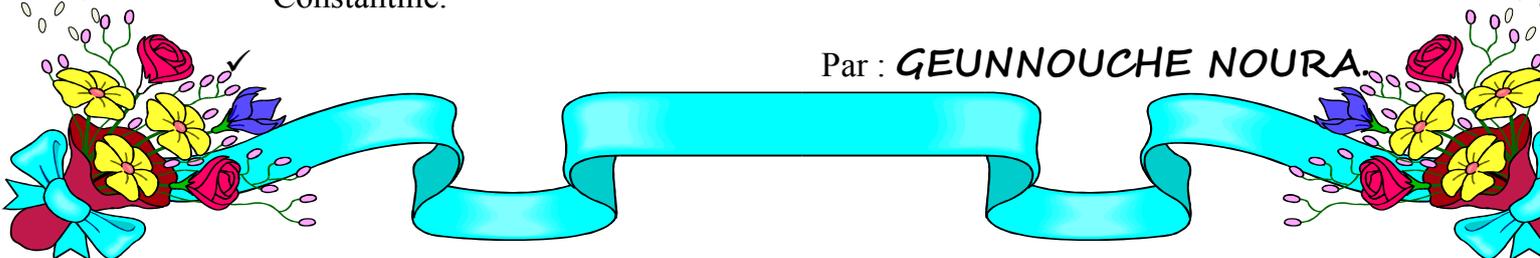
Remerciements

*Au nom d'allah le tout miséricordieux, le très miséricordieux.*

A la fin de ce travail, j'ai un devoir devant les gens qui nous ont aidé pour le réaliser, pour cela, je présente mes remerciements à toutes ces personnes, particulièrement :

- ✓ Mr MOUSSACEB KARIM mon promoteur, qu'elle soit permis de la remercier très sincèrement et de lui exprimer toute ma reconnaissance pour l'aide précieuse, ainsi que ma Co-promotrice madame CHAABANE LOUBNA pour sa accompagnement afin de réaliser ce modeste travail.
- ✓ je remercierais les membres du jury Monsieur L.HAMMICHE et Madame N.MALEK qui auront bien voulu évaluer ce modeste travail.
- ✓ mes chers enseignants qui ont contribué, corps et âme dans ma formation.
- ✓ Au personnel du département Mines de l'université A/Mira Bejaïa.
- ✓ À la direction et au personnel de l'entreprise nationale des ciments Ain EL Kebira à Sétif pour m'avoir fait confiance et m'avoir permis de venir faire ce stage.
- ✓ M<sup>r</sup>. DILEKH Abd Almajdid chef de bloc de laboratoire, Mr : BELEARBI Khouider et Mr : BOUGHLALA Ali les chefs de service de laboratoire à Ain El Kebira, qui m'a aiguillé et conseillé tout le long du stage et pour leur aidé.
- ✓ Au personnel de laboratoire de science exacte et des matières à l'université de Constantine.

Par : **GEUNNOUCHE NOURA.**



## REMERCIEMENTS

---

## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail de fin de cycle à :*

- ✚ Mes parents, qui sont les plus compréhensifs de tous les parents, ils ont sacrifié toute leur vie pour qu'on fasse des études supérieures et qui nous ont été d'une aide morale et financière.*
- ✚ Ma grand-mère.*
- ✚ Mes chères adorables sœurs, Sabah et Samia.*
- ✚ Mes frères Hassan, Oualide et Imade qui ont me soutien dans toute ma vie merci beaucoup.*
- ✚ Mon fiancé Marwne et toute sa famille.*
- ✚ Toute ma promotion en Mines et géologie.*

*Par*

*Guennouche Noura*

**TABLE DES MATIERES**

LISTE DES ABRIVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE..... 1

CHAPITRE I

**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

INTRODUCTION..... 3

I.1. Notion générales sur SCAEK..... 3

I.1.1. Historique de la cimenterie Ain El Kebira ..... 3

I.1.2. Situation géographique ..... 4

I.1.3. Climat de la région ..... 6

I.1.4. Agglomérations ..... 6

I.2. Géologie de gisement ..... 7

I.2.1. Géologie générale ..... 7

I.2.1.1. Stratigraphie de la région de Djebel Medjounes..... 7

I.2.1.1. Stratigraphie spéciale des gisements..... 7

I.2.2. Pétrographie et tectonique du gisement de calcaire..... 8

I.2.2.1. Observation sur la pétrographie des matières premières ..... 8

I.2.3 Tectonique ..... 9

I.2.3.1 Emplacement du gisement dans la tectonique régionale ..... 9

I.2.3.2. Tectonique spéciale du gisement du calcaire..... 9

**I.2.3.2.1. Structure plissée..... 9**

I.2.3.2.1. failles..... 9

I.3. Minéralisation du gisement ..... 9

I.3.1. Caractéristiques qualitatives de la matière première ..... 9

I.3.2. Hydrologie du gisement ..... 11

## TABLE DES MATIERES

---

I.4. Généralité sur le ciment.....	12
I.4.1. Différents types de ciment.....	12
I.4.2 Procédes de fabrication de ciment.....	13
I.4.2.1 Extraction de la matière première.....	13
I.4.2.2. Concassage de la matière première.....	14
I.4.2.2.1. concasseur à percussion.....	14
I.4.2.2.1.1. concasseur à impact.....	14
I.4.2.3. Pré homogénéisation de la matière première.....	14
I.4.2.4. Broyage de cru.....	15
I.4.2.5. Homogénéisation de la matière première.....	15
I.4.1.6. Cuisson de la matière première.....	16
I.4.1.6.1. réactions chimiques.....	17
I.5. Clinker.....	18
I.5.1. Principaux constituants du clinker.....	18
I.6. Ciment pétrolier.....	20
I.6.1. Définition de ciment pétrolier.....	20
I.6.2. Classification des ciments pétroliers selon la norme API.....	20
I.7. Domaine d'utilisation du ciment pétrolier classe G.....	22
CONCLUSION.....	24

## CHAPITRE II

### METHODES ET MATERIELS

INTRODUCTION.....	25
II.1. Choix des échantillons.....	25
II.2. Préparation mécanique des échantillons.....	25
II.2.1. Concassage.....	26
II.2.2. Broyage.....	26

## TABLE DES MATIERES

---

II.2.3. Tamisage .....	27
II.2.4. Homogénéisation.....	28
II.2.5. Quartage .....	28
II.3. Analyse chimique.....	29
II.3.1. la composition chimique.....	29
II.3.2. Composition minéralogique (analyse par diffraction des rayons X) (DRX) .....	30
II.4. Cuisson.....	33
II.5. Modules régissant la chimie de ciment.....	35
II.5.1. Facteur de saturation en chaux .....	35
II.5.2. Module Silicique .....	35
II.5.3. Module Alimino-ferrique .....	37
II.5.4. Composition potentielle de bogue.....	38
CONCLUSION.....	39

## CHAPITRE III

### RESULTATS ET DISCUSSION

INTRODUCTION.....	40
III.1. Caractérisation des matières premières utilisées .....	40
III.1.1. Traitement et préparation des échantillons bruts .....	40
III.1.1.1. Séchage.....	40
III.1.1.2 Classement dimensionnel.....	41
III.1.1.3. La granulométrie de la matière première.....	45
III.1.1.3 Broyage .....	46
III.1.1.4 Quartage .....	46
III.1.2 Composition chimique.....	48
III.2. Logiciel de gestion de qualité du ciment (homogénéisation et production).....	50

## TABLE DES MATIERES

---

III.3 Préparation de cru et de clinker pétrolier.....	53
III.3.1. Fabrication de cru pétrolier .....	53
III.3.2. Caractérisation du cru pétrolier .....	55
III.3.2.1. Composition chimique .....	55
III.3.3. Fabrication de clinker.....	56
III.3.4. Caractérisation du clinker pétrolier .....	57
III.3.4.1. Composition chimique.....	57
III.3.5. Analyse minéralogique par diffraction des rayons X(DRX).....	57
III.4. preparation du cru et de clinker petrolier.....	60
III.4.1. Préparation de cru.....	60
III.4.2. Caractérisation du cru pétrolier .....	61
III.4.2.1. Composition chimique .....	61
III.4.3. Fabrication de clinker.....	62
III.4.4. Caractérisation du produit clinker .....	63
III.4.4.1. Composition chimique .....	63
III.4.5. Analyse minéralogique par diffraction des rayons X(DRX).....	63
CONCLUSION.....	64
CONCLUSION GENERALE.....	65
PERSPECTIVES	
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	
ANNEXES	

**CHAPITRE I**

**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

**Figure I.1.** Localisation de la cimenterie Ain El Kebira .....5

**Figure I.2.** Localisation de la cimenterie Ain El Kebira ..... 6

**Figure I.3.** Présentation des couches de calcaire .....11

**Figure I.4.** Extraction de la matière première.....13

**Figure I.5.** Broyeur à boulets.....16

**Figure I.6.** Les réactions chimiques lors de la clinkérisation.....17

**Figure I.7.** Schéma de différentes étapes de la fabrication du ciment.....19

**CHAPITRE II**

**METHODES ET MATERIELLES**

**Figure II.1.** Concasseur à mâchoire.....26

**Figure II.2.** Broyeur à disque.....27

**Figure II.3.** Tamiseuse avec une série de tamis de norme AFNOR.....28

**Figure II.4.** Calcaire en quartage.....28

**Figure II.5.** Les étapes d'analyse par spectromètre de fluorescence des rayons X .....30

**Figure II.6.** Schéma de principe de fonctionnement d'un spectromètre de diffraction des rayons.....31

**Figure II.7.** Les étapes d'analyse par spectromètre de diffraction des rayons X.....32

**Figure II.8 :** Diagramme expliquant la programmation du four (évolution de la température en fonction de temps).....33

**Figure II.7.** Un four programmable.....34

**Figure II.8.** Les creusets en alumine ( $Al_2O_3$ ).....34

**Figure II.9.** Evolution de la quantité de la phase liquide en fonction du module silicique....36

<b>Figure II.5.10.</b> Évolution de la température de clinkérisation en fonction du module silicique.....	37
<b>Figure II.5.11.</b> Évolution de la température de clinkérisation en fonction du module d'alumine.....	38

### CHAPITRE III

#### RESULTATS ET DISCUSSION

<b>Figure III.1.</b> Granulométrie par tamisage en vois sèche du calcaire (gradin 1).....	42
<b>Figure III.2.</b> Granulométrie par tamisage en vois sèche de la marne (tas 1).....	43
<b>Figure III.3.</b> Granulométrie par tamisage en vois sèche du minerai de fer.....	44
<b>Figure III.4.</b> Exemple traitement mécanique des échantillons.....	48
<b>Figure III.5.</b> Evolution des teneurs des éléments chimiques, en fonction de type de la matière première utilisée.....	49
<b>Figure III.6.</b> Interface d'introduction des informations concernant le clinker d'un ciment pétrolier.....	51
<b>Figure III.7.</b> Interface d'affichage des solutions trouvées.....	52
<b>Figure III.8.</b> Schéma de mélange des matières premières à ciment.....	53
<b>Figure III.9.</b> Schéma de répartition du mélange préparé.....	55
<b>Figure III.10.</b> Diffraction des rayons X du clinker pétrolier de class G.....	58
<b>Figure III.11.</b> Processus de simulation par logiciel pour la deuxième variant.....	59
<b>Figure III.12.</b> Schéma de mélange des matières premières à ciment.....	60
<b>Figure III.13.</b> Diffraction des rayons X du clinker pétrolier de class G.....	64



# LISTE DES TABLEAUX

---

## CHAPITRE I

### ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

<b>Tableau I.1.</b> Les classes de ciment pétrolier selon API.....	21
<b>Tableau I.2.</b> Les caractéristiques chimiques d'un ciment pétrolier classe G.....	22
<b>Tableau I.3.</b> Les caractéristiques physiques d'un ciment pétrolier classe G.....	23

## CHAPITRE III

### RESULTATS ET DESCUSSION

<b>Tableau.III.1.</b> Masses des échantillons acheminés.....	40
<b>Tableau.III.2.</b> Masse des échantillons de la matière première avant et après le séchage.....	41
<b>Tableau III.3.</b> Classement granulométriques par tamisage en vois sèche du calcaire, gradin 1.....	41
<b>Tableau III.4.</b> Classement granulométriques par tamisage en vois sèche de la marne (tas1).....	42
<b>Tableau III.5.</b> Classement granulométriques par tamisage en vois sèche du minerai de fer.....	43
<b>Tableau III.6 :</b> les paramètres pour l'étude de la granulométrie.....	45
<b>Tableau III.7.</b> Composition chimiques des matières premières.....	49
<b>Tableau III.8.</b> Résultats donnés par le logiciel.....	53
<b>Tableau III.9.</b> Préparation du cru est conformément aux résultats du logiciel.....	54
<b>Tableau III.10.</b> Composition chimique du tas calcaire et de cru.....	55
<b>Tableau III.11.</b> Modules chimiques du cru.....	55
<b>Tableau III.12.</b> Comparaison de la composition chimique du cru, tas calcaire et modules.....	56
<b>Tableau III.13.</b> Analyse chimique et minéralogique du clinker.....	56
<b>Tableau III.14.</b> Comparaison de la composition chimique de clinker.....	57

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau III.15.</b> Comparaison de la composition minéralogique.....	57
<b>Tableau III.16.</b> Résultats donnés par le logiciel pour le deuxième mélange.....	60
<b>Tableau III.17.</b> Préparation du cru pétrolier pour la le deuxième mélange .....	61
<b>Tableau III.18.</b> Composition chimique du tas calcaire et du cru.....	61
<b>Tableau III.19.</b> Modules du cru pétrolier.....	62
<b>Tableau III.20.</b> Comparaison des résultats théoriques et pratiques.....	62
<b>Tableau III.21.</b> Analyse chimique et minéralogique du clinker pétrolier.....	63
<b>Tableau III.22.</b> Comparaison des résultats théoriques et pratiques.....	63

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

SCAEK : sociétés des ciments d'Ain El Kebira.

CPJ : ciment portland avec ajouts.

CRS : ciment résistant aux sulfates.

SNMC : société nationale des matériaux de construction.

ERCE : entreprise nationale des ciments de L'est.

GICA : groupe industriel des ciments d'Algérie.

KHD : Klochner-Humboldt-Deutz AG – KHD, est un fabricant allemand historique et pionnier de moteurs limitée.

H.S.R : haute résistance aux sulfates.

M.S.R : moyenne résistance aux sulfates.

ISO : International organisation for standarization 1946-Genève.

## **INTRODUCTION GENERALE**

Nous vivons avec le ciment Quotidiennement. Qui est un élément basique donc essentiel Par l'extraordinaire diversité de ses usages, ce dernier est le matériau du XXIe siècle. [1]

L'Algérie occupe un rang important parmi les pays producteurs de pétrole et de gaz. Elle utilise d'importante quantité de ciments pétroliers pour la cimentation des puits de forage [2].

La cimentation des puits et le choix des ciments sont des facteurs importants, dans la réalisation et la mise en production des forages pétroliers et gaziers.

Les ciments importés et utilisés sont de type API 10 (Normes américaine) classés essentiellement en trois catégories de ciment. Mais les conditions de forage exigent parfois l'utilisation d'autres catégories de ciments, tous les ciments pour puits de forage peuvent être conventionnellement classés en trois types principaux [3] :

- Ciment pour les forages « froids » (non profonds).
- Ciment pour les forages « chands » (profonds).
- Ciment pour les forages « superprofonds ».

Fréquemment, au cours de la forassions, on est amené à utiliser différents ciment y compris ceux utilisés dans les milieux agressifs provoqués par la présence d'eaux salées souterraines.

A présent, l'Algérie possède une industrie cimentière assez développée qui est en mesure de produire des ciments pétroliers de différents types. Les matières premières aptes pour la production de certains types de ciments pétroliers sont disponibles.

Ce travail c'est une étude dans laboratoire des matières premières utilisées au niveau de la cimenterie Ain El kebira pour savoir la faisabilité de fabrication du ciment pétrolier classe G.

Le présent travail est composé de trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présenterons une étude bibliographique sur l'entreprise de la cimenterie Ain El Kebira, des généralités sur le ciment et les procédés de fabrication ainsi que la technologie du ciment pétrolier.

**D**ans le deuxième chapitre, nous présenterons les protocoles expérimentaux.

**D**ans le troisième chapitre, nous présenterons les résultats obtenues lors de fabrication d'un clinker pétrolier et la discussion de ces dernières.

Nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale et quelque perspective.

## CHAPITRE I

### ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

#### INTRODUCTION

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. [4]

La société des ciments d'Ain EL Kebira fabrique plusieurs types de ciments selon le domaine d'utilisation CPA, CRS...etc. ce groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA) va se lancer dans la production de ciment pétrolier. Ce type de ciment qui était jusqu'à présent à 100% importé. Ce chapitre traite des généralités sur ce groupe industriel ainsi que sur le ciment pétrolier, on peut voir une description théorique sur la préparation de la matière première, sa classification et ses propriétés physico-chimiques.

#### I.1. NOTION GENERALES SUR SCAEK

##### I.1.1. Historique de la cimenterie Ain El Kebira [5, 6]

**1974:** Signature du contrat et début des travaux de réalisation de la cimenterie.

**1978:** Entrée en production en début novembre.

**1982:** Restructuration de l'ancienne SNMC et création de l'Entreprise Régionale des Ciments de l'Est (ERCE).

**1991:** Installation d'une pré calcination (installation de brûleurs, modification de la boîte à fumée et des cyclones I).

**1998:** Filialisation de la Société des Ciments d' Ain El Kebira qui fabrique et vend du ciment sous le nom commercial (SCAEK).

**2000:** Dépassement pour la première fois de son histoire du seuil de 1 000 000 de tonnes de ciment par an.

**2002:** Certification du système qualité de la SCAEK à la norme ISO 9001 version 2000.

**2005:** renouvellement de la tuyère du four, renouvellement des filtres de process

**2006:** Réalisation durant le mois de Mai, d'un filtre à manches pour le traitement des gaz chauds du four. Une technologie introduite pour la première fois en Algérie par la SCAEK.

**2008:** ▪ Réalisation d'un filtre à manche pour dépoussiérer l'atelier broyage ciment.

- Certification en Juin de la SCAEK à la norme ISO 14001 version 2004
  - Remise par son excellence monsieur le ministre de l'environnement et de l'aménagement du territoire du deuxième prix national de l'environnement.
- 2009:** ▪ Réalisation d'un filtre à manches pour le traitement des gaz refroidisseur (atelier cuisson).
- 2010:** ▪ Mise en service d'un refroidisseur clinker de marque IKN.
- Affiliation au nouveau Groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA).
- 2011:** • Certification de la SCAEK en SMI (Système de Management Intégré : Iso 14001 version 2004, Iso 9001 version 2008 et OHSAS 18001 version 2007).
- Dépassement pour la première fois de son histoire des seuils : de 1 000 000 de tonnes de clinker par an et 1 200 000 tonnes de ciment par an.
- 2012:** • Production annuelle record de ciment : 1 266 000 de tonnes de ciment.
- 29/08/2013 :** Lancement des travaux de la 2ème ligne de la cimenterie Ain El Kebira (Sétif).
- 05/01/2017 :** le ministre de l'Industrie et des Mines, Abdeslam Bouchouareb, a inauguré la 2e ligne de production de la cimenterie d'Aïn El Kebira (SCAEK).
- 30/04/2017 :** le premier ministre abdAlmalek sellale a inauguré la 2e ligne de production de la cimenterie d'Aïn El Kebira (SCAEK) avec une capacité de production 1 tonne.

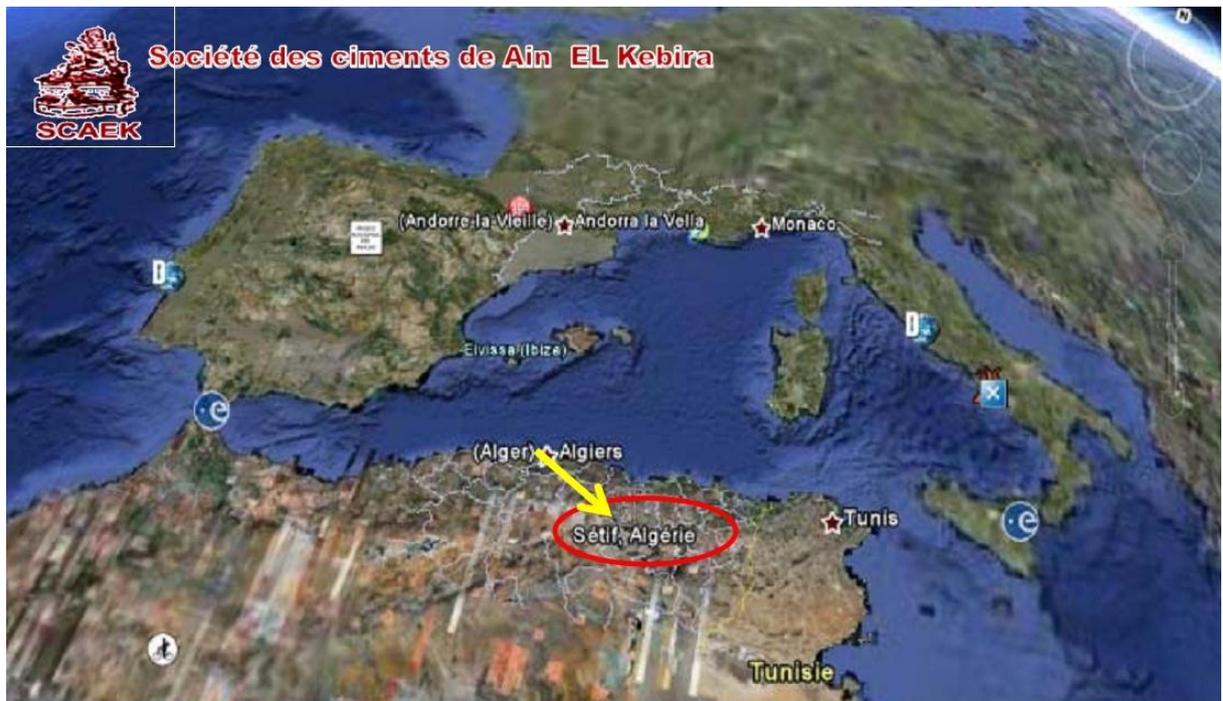
### **I.1.2. Situation géographique**

La cimenterie est située à 350 Km à l'est d'Alger, dans la localité de Ain El Kebira dont elle porte le nom et à 1000 mètres au-dessus du niveau de la mer **Figure I.1.** [5]

L'usine de la cimenterie d'AIN EL KEBIRA est située à une distance environ de 15 à 20 km du Nord – Est de Sétif **Figure I.2.** Les gisements de matières premières de DJEBEL MEDJOUNS sont montrés particulièrement convenables. Ce massif fait partie morphologiquement des montagnes du tell, par lesquelles le bassin de Sétif est située à la bordure Sud à une altitude comprise entre 1070 et 1100 m.

La partie centrale du bassin ne débute que dans le Sud de la ville à part quelques montagnes isolées, elle présente une morphologie peu accidentée avec des altitudes comprises entre 900 et 1000 m sur les plaines par contre les montagnes débutant à environ de 10 à 15 km au Nord de Sétif.

La SCAEK est installée à proximité d'une carrière dont les réserves lui permettent de faire face aux besoins d'exploitation à long terme, avec une durée de vie probable de ces carrières supérieure à 100 ans selon les dernières estimations. Couvrant une superficie de près de 220 hectares, elle tire les principales matières premières à partir du gisement de djebel Medjounés Et d'argile « marne » de (ThenietMouloutou) [7].



**Figure I.1** : Localisation de la cimenterie Ain El Kebira. [5]



**Figure I.2 :** Situation du DJEBEL MEDJOUNES. [5]

### I.1.3. Climat de la région

Le climat du bassin est semi aride avec influence du sud au nord du climat méditerranéen, abstraction faite de quelques rares pluies d'orage, les mois d'été se caractérisent par une sécheresse totale et désertique, alors que les mois d'hiver de novembre à mars apportent les précipitations abandon tes régulières, souvent sous forme de neiges dans les régions les plus élevées. Les précipitations de Sétif atteignent 400 mm /an, par contre la quantité d'eau pour la région de DJEBEL MEDJOUNES est de l'ordre de 400 à 700 mm.

Le drainage se fait par un réseau serré de cours d'eau pour la plus part émérites et quelques rivières pérennes [8].

### I.1.4. Agglomérations

Abstraction fait de la ville de Sétif au nombre de 100 ,000 habitants environ, la région est faiblement et irrégulièrement peuplée, la petite ville de AIN EL- KEBIRA est située à 6 km au Nord – Ouste Ir gisement aux pieds Ouest et Sud de djebel MEDJOUNES il n'y a que quelques petits village, dont le plus important est celui de EL KARMA. Un village un peu plus grand "EL OURICIA" se trouve à mi chemin entre Sétif et les gisements.

## **I.2. GEOLOGIE DE GISEMENT**

### **I.2.1. Géologie générale**

#### **I.2.1.1. Stratigraphie de la région de Djebel Medjounes [5]**

La stratigraphie du massif et de son voisinage se caractérise des formations :

##### **A. Triasique**

Les calcaires triasiques sont comme dans la partie "E" du DJEBEL MEDJOUNES où ils se présentent sous forme de roches calcaires béli mineuses assez pures de teinte foncée et claire.

##### **B. Crétacé**

Les roches de DJEBEL MEDJOUNES appartiennent en majeure partie au crétacé supérieur, on observe de forts différents de faciès.

Les couches se divisent comme suit :

**B. 1)** Série de calcaire de sénonien en "calcaire règles et du « DJEBEL MEDJOUNES », il s'agit d'une série très puissante de calcaire jaunâtre à grise foncée faiblement marneuse.

**B. 2)** Série marneuse d'EL KARMA marne à OS tiré areine". Il s'agit d'un paquet de couches lenticulaires qui se composent de roches marneuses foncées bien litées, en alternance avec de petits lits de calcaire marneux, cette série qui atteint une puissance de 30 à 50 m est intercalée dans les calcaires de la série "B-1" et doit être placée dans le sénonien supérieur.

**B. 3)** Manteaux de débris fluosiliciques limoneux – pierreux très répandus dans les vallons dans le domaine des gisements calcaire et des intercalations marneux et calcaire. La puissance n'est en générale que quelques mètres.

**B. 4)** Glissement susceptible de se produire au versant après une forte précipitation, parfois ils entraînent aussi les restes des couches calcaires en saillie.

#### **I.2.1.1. Stratigraphie spéciale des gisements**

Le gisement de calcaire du djebel Medjounés appartient à la série des calcaires bien réglés du campanien supérieur et du Maestrichtien. Il est constitué de deux panneaux A et B (séparés par une faille) avec une étendue totale de 0,9 Km<sup>2</sup> **Figure I.3.** [9]

**\* Couche A.B**

C'est une couche caractérisée par une alternance de couches plus ou moins sur dosées en "calcaire" et de marne variablement pauvre.

**\* Couche C**

C'est une couche de calcaire sur -dosée homogène, le titre du Cao de la couche est régulièrement supérieur à 47,7 %. En dépit de son homogénéité, cette couche contient une lentille "couche discontinue" de faible épaisseur, mais relativement constante.

**\* Couche D**

Cette couche correspond à une transition vers les calcaires moins riches, elle est caractérisée par une chute irrégulière du titre du Cao d'un point à un autre du gisement, l'épaisseur de cette couche est presque absente dans plusieurs sondages (A5, A7, B3, A15, S104, et S109).

**\* Couche E**

Cette couche est caractérisée par une chute brutale du titre de Cao, la moyenne de la couche est l'ordre de 40%, elle est composée généralement de calcaire marneux et des marnes.

**\* Couche F**

Elle est caractérisée par une tendance à l'enrichissement en Cao de la couche précédente, en l'occurrence de la couche E, aucun sondage ne la traverse intégralement, elle représente donc la base connue de la succession stratigraphique.

**I.2.2. Pétrographie et tectonique du gisement de calcaire****I.2.2.1. Observation sur la pétrographie des matières premières**

Les calcaires continus dans les différents niveaux de la série calcaire principale, signalons sous le microscope une présence assez abondante de la calcite micro cristalline et quelques spécules d'éponge

La grosseur des cristaux de calcite est comprise entre 0,04 et 0,08 mm, une très faible teneur en dolomie, ambérite de proportion de 3% de SiO<sub>2</sub> représente sous forme de quartz

originaire de gel. En outre, on observe aussi des traces de colophane, de feldspath, d'illite, de kaolinite et de géothermal.

### **I.2.3 Tectonique**

#### **I.2.3.1 Emplacement du gisement dans la tectonique régionale**

Le gisement fait partie de l'anticlinale régionale du DJEBEL MEDJOUNES dans l'axe déplacement principal s'étend en sens "OSO" - "OSO" il repose sur le flanc "SO" de la voûte principale dont le pendage en direction ne dépasse pas les 30°, l'ensemble de cette structure plissée se trouve compliqué par quelques grandes et nombreuses petites failles.

#### **I.2.3.2. Tectonique spéciale du gisement du calcaire**

##### **I.2.3.2.1. Structure plissée**

La super position du grand pli par un 2° système de plis est particulièrement frappante dans le panneau "A" de gisement ; le sens de la direction des roches entre SE et S dans le domaine des sondage assez doucement vers le bord N du panneau "A" jusqu'à atteindre en fin la direction E.O, le pendage des couches également assez douce, diminue en général de 30 à 10°.

##### **I.2.3.2.2. Failles**

Le nombre de failles est considérable, mais des montants de déplacement notable ne s'observent que dans certains cas isolés.

La faille, considérablement la plus important, est un effondrement que des cas isolés qui s'étant au sud de la zone d'écrite, à une distance d'environ 250 m et presque en parallèle avec ce dernier.

La majorité des failles et notamment des chevauchements, peut être réunies par groupes suivant le sens de leur direction, celle-ci correspondant, dans une grande ou très large mesure.

### **I.3. MINERALISATION DU GISEMENT**

#### **I.3.1. Caractéristiques qualitatives de la matière première [10]**

Dans le rapport géologique établi par l'URG en 1985, on entend par calcaire des roches à teneur en Cao supérieure à 45 % par marnes, celles renfermant moins de 45% de Cao.

Suivant ce principe, le gisement est divisé en trois (03) couches :

### **1<sup>ère</sup> Couche**

Découverte représentée par des calcaires, marnes et argiles détritiques ainsi que par des marnes brun jaunâtre à inter lits calcaires gris sombre épais de 0,3 à 0,5 m. Les roches stériles ont une extension assez limitée sur le gisement. Leur puissance varie de 0 à 3,5 m.

### **2<sup>ème</sup> Couche**

Assise utile constituée de calcaires stratifiés, couleur beige gris foncé. Au sein de l'assise utile, on dénote des passes de marnes gris sombres à noires rapportées à la substance utile pour les raisons suivantes :

- Leur extraction sélective est difficile.
- Elles ne nuisent pas sensiblement à la qualité du matériau.

Les couches n° 3 à 7 (KHD) sont considérées comme une seule et même couche avec teneur en Cao de 45%. Suivant le rapport complémentaire de (KHD), (après critique de SNMS), et intitulé ; "Résultats des études géologiques et chimiques des matières premières pour la cimenterie de AIN EL KEBIRA", suivant LCE dans le rapport intitulé "Interprétation des résultats des sondages complémentaires exécutés dans le gisement de calcaire de DJEBELE MEDJOUNES en 1976.24 sur le titre Comparaison des résultats des complémentaires avec les interprétations KHD et LCE" et suivant le rapport UREG 1985.

Pour cette raison le projet prévoit l'exploitation de cette même couche, dont les réserves sont suffisantes suivant extension d'UREG, pour le délai d'amortissement de l'usine (à 1 ou 2 lignes). L'épaisseur de cette assise utile est comprise entre 15 et 100 m.

### **3<sup>ème</sup> Couche**

Roches sous-jacentes constituées de marnes noires accusant une faible teneur en Cao (< 45 %) et une irrégularité de composition chimique (à titre d'information, cette 3<sup>ème</sup> couche renferme n° 1 et 2 de KHD et celles E, F de (LCE).

Les teneurs majeures en éléments entrant dans la composition du clinker que Cao, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont très régulières. Pour les oxydes nuisibles (MgO, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O et Na<sub>2</sub>O), leurs teneurs sont conformes aux tolérances.

Les 20 (vingt) diverses composition du crue évoquées dans le rapport géologique montrant que avec la matière de tous les niveaux du gisement calcaire, on peut fabriquer le ciment portland normalisé.

La masse volumique des calcaires est de 2.6 t/m<sup>3</sup>. Leur résistance à la compression atteint 772.4 kgf/cm<sup>2</sup>, l'humidité naturelle 0.5%.

### I.3.2. Hydrologie du gisement [10]

Le contexte hydrogéologique du gisement favorisera l'exploitation. Des sources d'eau provisoires apparaissant pendant ou bien juste après les pluies ne devraient pas empêcher les travaux miniers .Les eaux s'évacueront facilement par gravitation hors de la carrière.

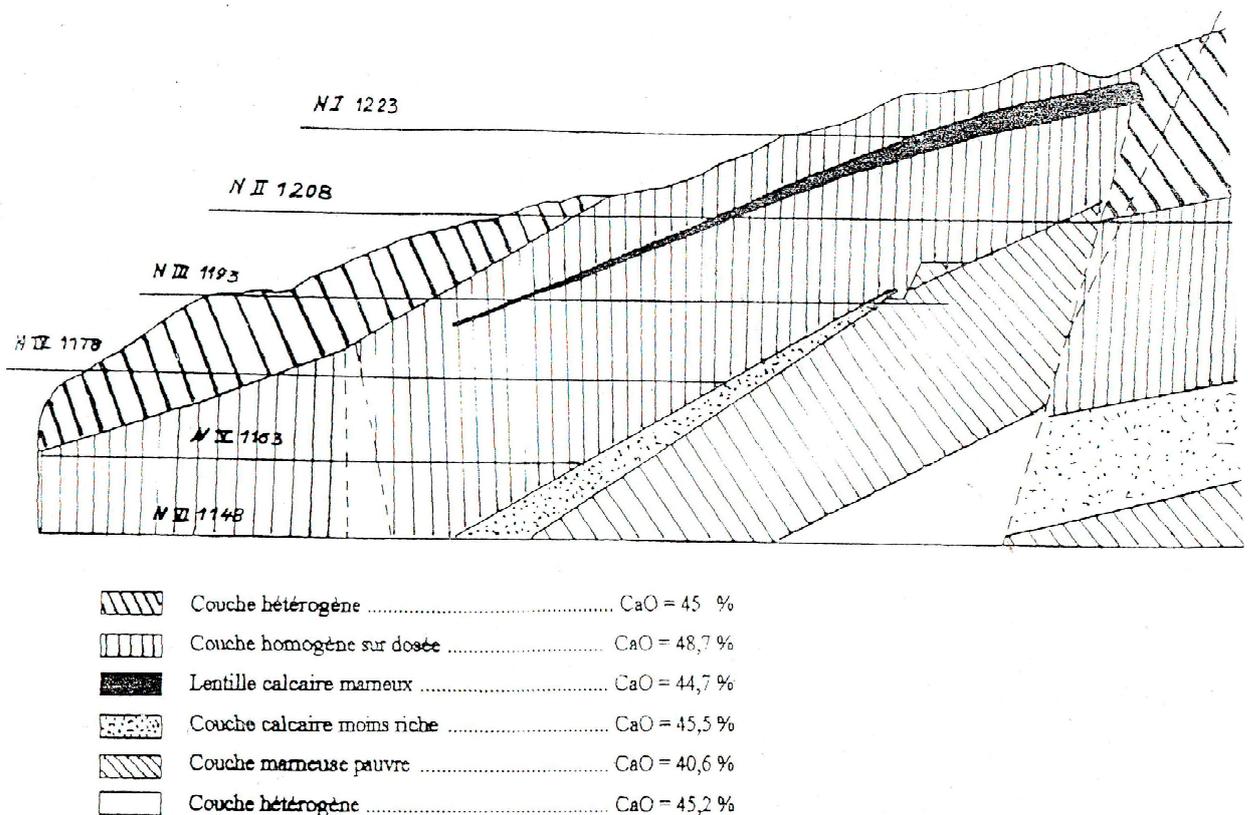


Figure I.3 : Présentation des couches de calcaire [11]

### **I.4.1. Différents types de ciment [12]**

#### **I.4.1.1 Les ciments Portland**

##### **A/ Le ciment portland CEM I**

Il contient au moins 95 % de clinker et au plus 5 % de constituants secondaires.

##### **B/Le ciment Portland composé : CEM II/A ou B**

Il contient au moins 65 % de clinker et au plus 35 % d'autres constituants : laitier de haut fourneau, fumée de silice (limitée à 10 %), pouzzolane naturelle, cendres volantes, calcaires, constituants secondaires.

##### **C/Le ciment de haut fourneau : CEM III**

Il contient entre 36 et 95 % de laitier et 5 à 64 % de clinker.

##### **D/Le ciment au laitier et aux cendres : CEM V/A ou B**

Il contient de 20 à 64 % de clinker, de 18 à 50 % de cendres volantes et de 18 à 50 % de laitier.

#### **I.4.1.2 Les autres ciments**

##### **A/Ciment prompt naturel (CNP) NF P 15314**

Le ciment prompt naturel est un produit, à prise rapide, et à résistances élevées à très court terme.

##### **B/ Ciment alumineux fondu (CA) NF P 15315**

##### **C/ Ciment à maçonner (CM) NF P 15307**

Ces ciments, dont les résistances sont volontairement limitées par rapport aux ciments classiques.

##### **D/ Le ciments blancs**

La teinte blanche est obtenue grâce à des matières premières très pures (calcaire et kaolin) débarrassées de toutes traces d'oxyde de fer. Les caractéristiques sont analogues à celles des ciments Portland gris (norme NF EN 1971).

En plus de ces types de ciments on définit un autre type de ciment ce que on appelle le ciment pétrolier.

## I.4.2 Procèdes de fabrication de ciment [2]

### I.4.2.1 Extraction de la matière première

C'est une carrière a ciel ouvert qui se compose de deux gisement, en générale ces deux gisements contient la marne et calcaire **Figure I.4**, ils sont exploités respectivement par découpage et par abattage a l'explosifs.

Ces deux matières premières sont transportés par camions a Baines jusqu'aux trémies des concasseurs.

La marne argileuse caractérisé par sa friabilité et concassée dans un concasseur a percussion tandis que le calcaire, matière dure passe dans deux concasseurs a percussions.

A la sortie des deux concasseurs la granulation varie entre **0** et **25mm** de diamètre puis ils sont envoyés par bandes vers les halls correspondantes.

Dans le cas, où le taux d'humidité de la marne dépassé **10%**, elle doit être sécher dans un sécheur avant l'envoi dans le hall de stockage.

Dans le hall de stockage ces deux matières premières subissent une pré homogénéisation séparément avant de les envoyés par bondes vers les trémies correspondantes.



**Figure I.4** : Extraction de la matière première.

### **I.4.2.2. Concassage de la matière première**

Lorsque la matière première atteint les stations de concassage, elle est soumise à une première réduction de granulométrie. En effet, le concassage vise à créer une réduction de 1/10 de la taille des particules afin de trouver, à la sortie, des diamètres dont la valeur moyenne est de quelques centimètres. Pour réaliser cette réduction, plusieurs types de concasseurs peuvent être employés. Nous présentons ici le concasseur utilisé au niveau de la cimenterie AIN-kbira pour illustrer le principe employé pendant ce procédé de transformation.

#### **I.4.2.2.1. Concasseur à percussion**

Le mode d'action principal de ces concasseurs est la percussion. Celle-ci peut être soit directe sous l'action d'outils métalliques tournant à grande vitesse, soit indirecte par projection des matériaux à très grande vitesse contre des plaques de choc formant des enclumes fixes.

##### **I.4.2.2.1.1. Concasseur à impact**

Le concasseur à impact est constitué de 1 ou 2 éléments tournant, présents à l'intérieur d'une structure fixe. Ces « rotors » tournent à haute vitesse et sont munis de battoirs. La matière entrante dans le concasseur est alors frappée par les battoires en rotation et propulsée vers des zones d'impact. Ces dernières sont constituées de simples cylindres métalliques de diamètres différents qui fracassent la matière au moment de l'impact. Ces zones d'impact peuvent être déplacées et modifiées afin d'ajuster la granulométrie de la matière sortante. La réduction maximale possible de certains types de concasseur à impact est de 1/150.

### **I.4.2.3. Pré homogénéisation de la matière première**

Lorsque le concassage a eu lieu, la matière est transportée par camions ou par convoyeurs vers l'étape de pré homogénéisation. A cet endroit, les particules de matière première sont déposées en couches successives de faible épaisseur. Les couches, qui sont ainsi superposées, forment, avec le temps, des amas de matière de grande taille qui sont ensuite destinés aux broyeurs à rouleaux. Le volume de matière ainsi emmagasiné permettra le fonctionnement de l'usine, en cas de besoin, pour une durée d'environ une semaine. La reprise de la matière s'effectue perpendiculairement à la direction selon laquelle elle a été déposée, ce qui permet de créer un mélange préliminaire. En effet, les caractéristiques de la

matière extraite peuvent varier légèrement lors de l'extraction de minerai et l'étape de pré homogénéisation admet un premier lissage de ce dernier.

#### **I.4.2.4. Broyage de cru**

A l'aide de convoyeurs doseurs a bandes, on assure l'alimentation du broyeur en calcaire, marne et minerai de fer, le broyage séchage de la matière s'effectue en une seule opération, ainsi le courant de gaz en provenance du four ou du foyer auxiliaire entre en contact avec la matière.

Une partie du produit broyé et déchargé et parvient a l'élévateur a godets par une airoglissiere ; passe au séparateur dynamique, on assure une séparation jusqu'à une finesse de **14a16%** de refus sur tamis **90m**.

Le produit fini récupéré dans les cyclones de séparation ou séparateur est envoyé dans le pot de mélange puis vers les silos d'homogénéisation, les gros graviers sont ramenés vers le broyeur par l'intermédiaire du cône centrale du séparateur, pour être broyé jusqu'à une finesse désirée.

Les fines particules entraînées par le gaz de séchage subissent une séparation solide/gaz, celle s'effectue dans un séparateur statique puis dans un séparateur cyclone, la poussière non récupérée dans les étapes précédentes est éliminée presque totalement dans un électro-filtre , ou les particules subissent polarisation en appliquant un champ électrique , les gaz aussi filtrés sont aspirés par un ventilateur vers l'atmosphère , la matière récupérée s'ajoute a celle en provenance du séparateur dynamique ; puis passent dans un pot de mélange pour finir dans les silos de stockages et d'homogénéisation.

#### **I.4.2.5. Homogénéisation de la matière première**

A la sortie du broyeur, la matière possède une fine granulométrie mais ses caractéristiques demeurent encore relativement variées. L'étape suivante consiste alors à s'effectuer un mélange plus complet des particules de matière. Ceci est réalisé à l'aide d'un silo et de compresseurs. Les ventilateurs émettent un jet d'air dans lequel les particules demeurent suspendues plus ou moins longtemps en raison de la différence de taille ou de poids de ses dernières. Pendant cette suspension, les particules amorcent leur chute vers le fond du silo et un brassage s'effectue. Ce mélange de particules, relativement parfait peut ensuite être extrait du fond du silo et dirigé vers le four de cuisson [2].

#### I.4.1.6. Cuisson de la matière première

Le four rotatif est l'élément principal de l'installation de fabrication de clinker. Il est essentiellement constitué par un tube cylindrique dans lequel brûlent des substances combustibles injectées à fort débit en produisant une flamme de plusieurs dizaines de mètre de longueur. Il fonctionne comme un échangeur de chaleur contre courant dans lequel la flamme, dirigée de l'aval vers l'amont, porte à hautes températures le cru qui progresse en sens inverse, le tube étant incliné vers l'aval de 3 à 4%. De tels fours ont une longueur de 30 à 100 mètre et un diamètre de 2 à 4 mètre. Pour améliorer le rendement thermique mais aussi pour utiliser la chaleur produite par la flamme, les gaz de cuisson, sortant du four, sont utilisés pour préchauffer le cru déposé à l'entrée du four. Ces échanges thermiques sont réalisés dans un système de cyclone séparateur et de gaines. A l'issue de cette étape de préchauffage.

L'emploi des foyers de pré calcination qui font passer les matières premières vers 800 à 900°C. Le cru se décarbonate alors (entraînant une consommation énergétique de l'ordre de 400Kcal/Kg), ce qui facilite l'étape de clinkérisation vers 1450°C au niveau du four rotatif. A l'aval du four, le clinker sort à une température 1450°C et tombe dans le refroidisseur, cette trempe rapide du clinker fige les phases formées (silicates et aluminates de calcium) à haute températures. Le clinker refroidi se présente alors sous forme de granules. Le ciment est obtenu par broyage des granules de clinker, avec addition d'environ 3 à 5% de gypse et éventuellement d'autres constituants.

Les opérations de broyage de clinker ont pour but d'accroître sa réactivité par augmentation de sa surface spécifique (et par création de défaut de cristaux en surface des grains). L'opération de broyage de clinker est effectuée dans grand broyeur cylindrique à boulets (broyeurs les plus généralement utilisés) (**Figure I.5**). [13]



**Figure. I.5** : Broyeur à boulet.

### I.4.1.6.1. Réactions chimiques

À partir de 650°C, le calcaire commence à former de la chaux et du gaz carbonique. Celle-ci réagit rapidement avec les matières siliceuses pour former des **aluminates** et des **ferrites** (qui restent en faible proportion). Une fois consommés, une grande partie devient de la **bélite**. Le système reste stable jusqu'à 1200°C où du liquide se forme. La quantité de liquide dépend du rapport entre **aluminates** et **ferrites**. Celui-ci est très important puisqu'il permet la réaction entre la **bélite** et la chaux pour former de la **alite** (Figure I.6)

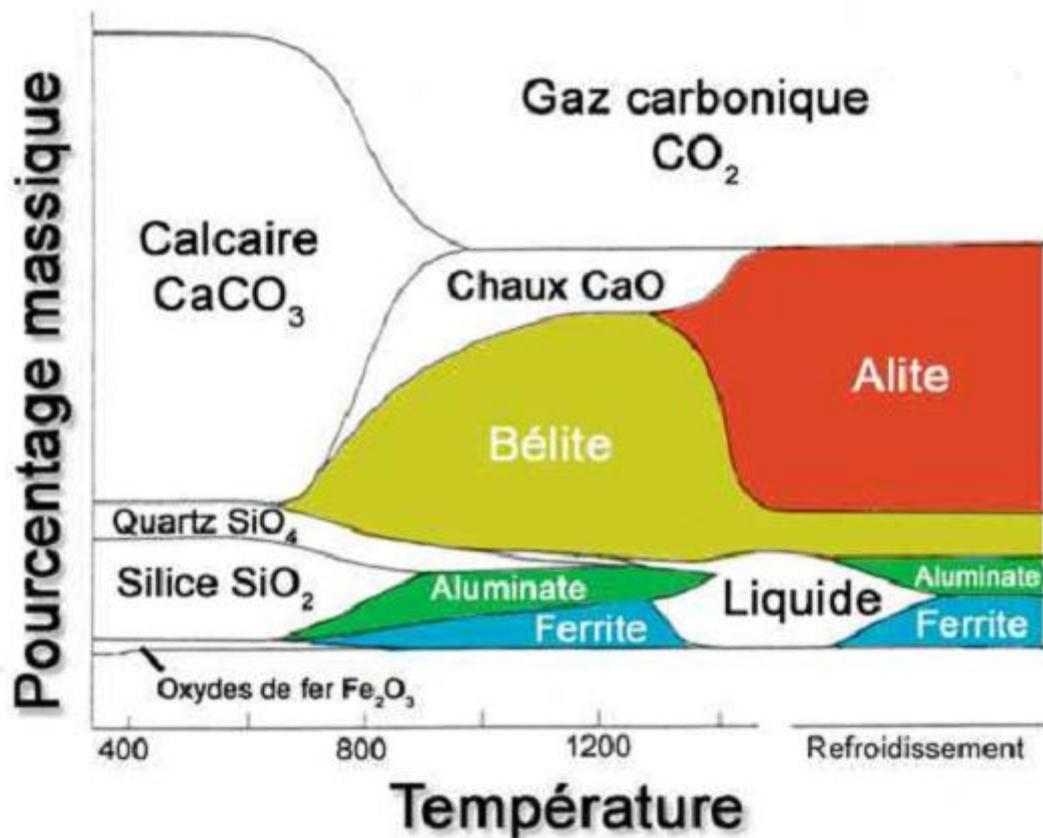


Figure I.6 : les réactions chimiques lors de la clinkérisation. [14]

## I.5. CLINKER

Produit de la cuisson des constituants du ciment, à la sortie du four et avant broyage. Le clinker se présente sous forme de nodules durs et cristallisés, de teinte gris foncé pour les ciments habituels et verte pour le clinker de ciment blanc. [15]

C'est cet édifice cristallin du clinker que le broyeur devra fragmenter de la microstructure du clinker vont dépendre: La broyabilité, la composition minéralogique des différentes tranches granulométriques.

Les propriétés physico-chimiques du ciment : la vitesse d'hydratation, la résistance mécanique, le retrait etc ...

La granularité d'un clinker broyé dépend aussi du type de broyeur.

Le broyeur est utilisé comme prototype pour l'instant, fournis des grains de taille régulière, à angles vifs, à surface lisse.

Dans le broyeur à boulets au contraire, la granulométrie s'échelonne de 1 à 100  $\mu\text{m}$ , les grains sont arrondis, recouverts de fines poussières.

### I.5.1. Principaux constituants du clinker [16]

Composition indicatrice en % pondéral.

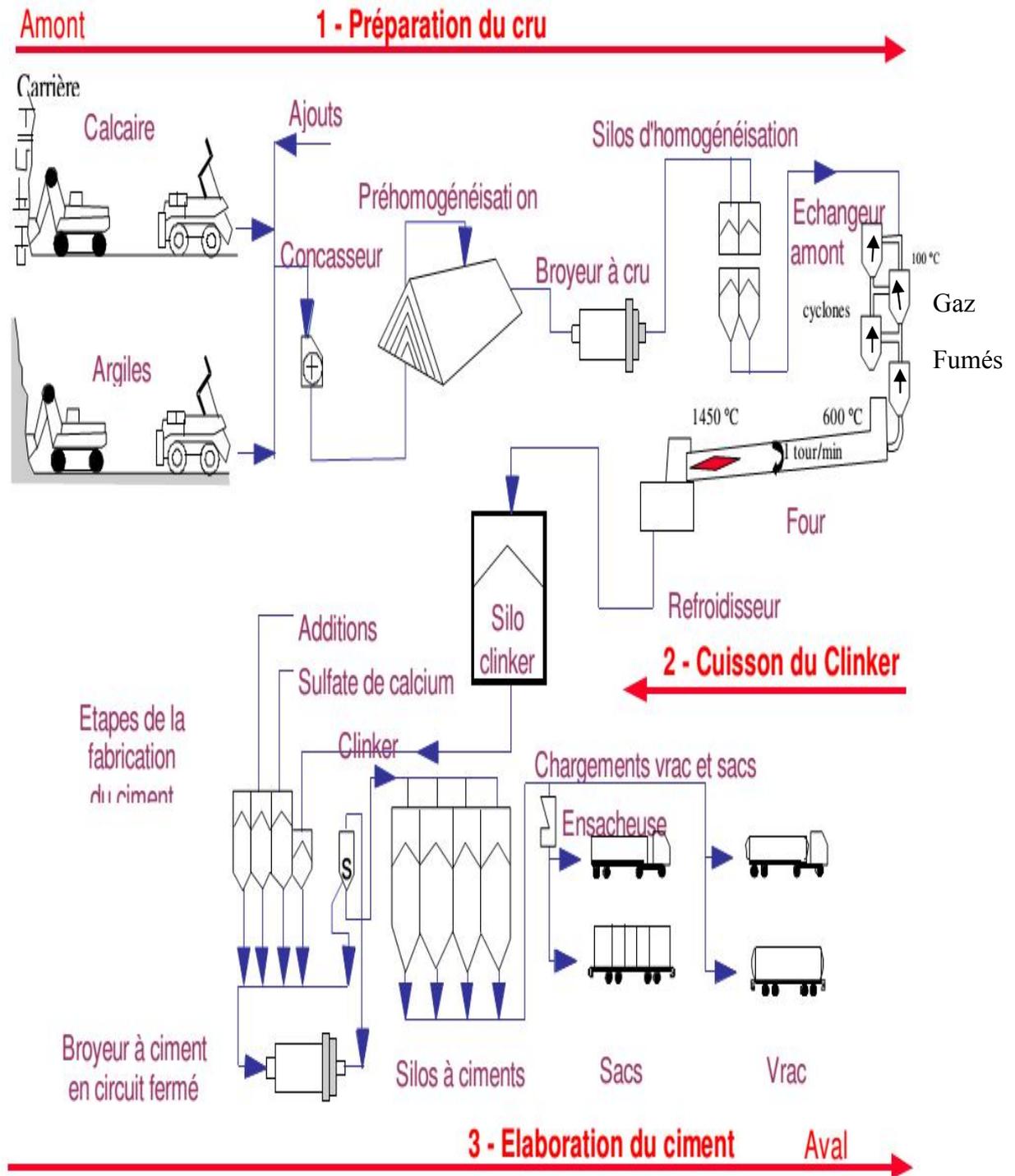
- Silicate tricalcique ( $\text{C}_3\text{S}$ ):  $3\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ , la cassure en éclats des grains de  $\text{C}_3\text{S}$  est en relation avec sa structure, plus ou moins élevée et souvent fissurée.  $\text{C}_3\text{S}$  est un matériau dur mais fragile.

- Silicate bicalcique ( $\text{C}_2\text{S}$ ):  $2\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ .

- Aluminate tricalcique ( $\text{C}_3\text{A}$ ):  $3\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et Ferroaluminatecalcique ( $\text{C}_4\text{AF}$ ):  $4\text{CaO}$ ,

$\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , sont des minéraux plus durs que les silicates.

Les étapes de fabrication de ciment en voie sèche sont présentées dans la **figure I.7**



**Figure I.7** : Schéma de différentes étapes de la fabrication du ciment en voie sèche. [16]

## I.6. CIMENT PETROLIER

### I.6.1. Définition de ciment pétrolier

Les ciments pétroliers, qui servent à étanchéifier les puits de pétrole, sont habituellement fabriqués à partir de clinker de ciment portland ou de ciments hydrauliques composés. En général, ils doivent prendre lentement et être résistants aux températures et aux pressions élevées. La spécification de l'American Petroleum Institute, Spécification for Cements and Materials for WellCementing, énonce des exigences pour huit classes de ciments pétroliers (classes A à H) et trois catégories (O [ordinaire]), MSR [à résistance modérée aux sulfates] et HSR [à résistance élevée aux sulfates]) [3].

Chaque classe est applicable à une gamme de profondeurs de puits, de températures, de pressions et de concentrations de sulfates. L'industrie pétrolière emploie aussi des types de ciment portland usuels additionnés d'adjuvants appropriés ; des ciments expansifs ont aussi été utilisés avec succès.

Les ciments pétroliers sont des ciments spéciaux utiliser pour la cimentation des puits pétroliers ou de gaz, son objectif essentiel réside dans la séparation des diverses zones productrices, ou fissures mises en communication au cours de forage.

Le ciment doit se soumettre à certaines conditions telle que :

- 1) Température élevée en fonction de la profondeur.
- 2) Pression élevée dans le puits.
- 3) Eléments agressifs, sulfates, hydrocarbonates chlorures, ect...

### I.6.2. Classification des ciments pétroliers selon la norme API

L'Américain petroleum institut « API » a établi une classification des ciments pétroliers **tableau I.1**, basée essentiellement sur la profondeur d'utilisation.

L'API a établi un classement de ciments pour sondages base principalement sur la profondeur d'utilisation. Ce classement permet de résoudre pratiquement tous les problèmes posés par la cimentation dans les sondages :

**Tableau I.1.** Les classes de ciment pétrolier selon API. [3]

CLASSE	PROPRIÉTÉS ET PROFONDEUR
<b>A</b>	Utilisé de la surface à 6000 feet (1829 m), lorsque aucune caractéristique particulière demandée.
<b>B</b>	Utilisé de la surface à 6000 feet (1829 m) lorsque les conditions nécessitent une résistance modérée ou élevée aux sulfates.
<b>C</b>	Utilisé de la surface à 6000 feet (1829 m) lorsque la condition nécessite une haute résistance initiale (disponible en type ordinaire et en type à résistance modérée ou élevée aux sulfates)
<b>D</b>	Utilisé de 6000 feet à 10000 feet (1829 à 3048 m) en conditions de température et de pression modérément élevés, disponible dans les deux types : résistance modérée ou élevée aux sulfates.
<b>E</b>	Utilisable de 10 000 à 14 000 feet (3000 à 4800 m) sous des conditions de pression et de température extrêmement élevés .Existe en deux qualités : modérée et haute résistance aux sulfates
<b>F</b>	Utilisé de 10000 à 16000 feet (3048 à 4877 m) dans les conditions de température et de pression très élevés, disponible dans les deux types, résistance modérée et élevée aux sulfates.
<b>G</b>	Utilisé seul, ce ciment est prévu pour des profondeurs variant de la surface à 8000 feet (2400 m).L'intérêt de ce ciment est que, mélangé à des accélérateurs ou retardateurs, il peut couvrir une importante profondeur et température correspondant pratiquement à n'importe quelle condition de puits. Il existe en qualité à résistance modérée aux sulfates et en qualité à haute résistance aux sulfates.
<b>H</b>	Utilisé seul , ce ciment comme pour la classe G pour des profondeurs allant jusqu' à 8000 feet (2400 m) , il peut également couvrir une gamme très importante de profondeur par l'ajout de retardateur ou accélérateur.
<b>J</b>	Utilisable de 12 000 à 16 000 feet (3660 à 4880 m) pour des pressions et températures extrêmement élevées .existe seulement en qualité à haute résistance aux sulfates.

## I.7. DOMAINE D'ETULISATION

Le ciment pétrolier classe G est utilisé comme ciment de base pour cimenter les puits de pétrole et de gaz. Il est aussi utilisé dans les puits d'eau, les puits de dépôts de déchets et les puits géothermales. Il joue un rôle important dans le succès du forage d'un puits. Il est utilisé dans le but d'isoler les zones faibles de la paroi du puits au moment du forage.

Le ciment pétrolier se caractérise par les propriétés suivantes :

- Avoir une faible perméabilité.
- Avoir une bonne adhésion à la paroi.
- Maintenir ses propriétés sous la pression et la température du puits.
- Protéger l'ouvrage des vibrations causées par le forage continu.
- Protéger l'ouvrage des fluides agressifs.
- Protéger l'ouvrage contre l'effondrement.

On peut citer Les caractéristiques physico-chimique d'un ciment pétrolier classe G énoncé par API dans les **tableaux I.2** et **I.3** :

**Tableau I.2** : les caractéristiques chimique d'un ciment pétrolier classe G. [3]

Type ordinaire(O)	Ciment de classe					
	A	B	C	D.E.F	G	H
Magnésie(MgO)	5,00	-	5,00	-	-	-
Anhydre sulfurique (SO <sub>3</sub> )	3,50	-	4,50	-	-	-
Perte au feu	3,00	-	3,00	-	-	-
Résidu insoluble	0,75	-	0,75	-	-	-
C3A	-	-	15,00	-	-	-

Type à moyenne résistance aux sulfates (M.S.R).						
Magnésie(MgO)	-	5,00	5,00	5,00	5,00	
Anhydre sulfurique (SO <sub>3</sub> )	-	3,00	3,50	2,50	2,50	
Perte au feu	-	3,00	3,00	3,00	3,00	
Résidu insoluble	-	0,75	0,75	0,75	0,75	
C3S	-	-	-	-	48,00	
	-	-	-	-	58,00	
C3A	-	8,00	8,00	8,00	8,00	
Alcalin (exprimés en Na <sub>2</sub> O)	-	-	-	-	-	
Type à haute résistance aux sulfates (H.S.R).						
Magnésie(MgO)	-	5,00	5,00	5,00	5,00	
Anhydre sulfurique (SO <sub>3</sub> )	-	3,00	3,50	2,50	2,50	
Perte au feu	-	3,00	3,00	3,00	3,00	
Résidu insoluble	-	0,75	0,75	0,75	0,75	
C3S	-	-	-	-	48,00	
	-	-	-	-	65,00	
C3A	-	3,00	3,00	3,00	3,00	
C4AF + 2(C3S)	-	24	24	24	24,00	
Alcalin (exprimés en Na <sub>2</sub> O)	-	-	-	-	0,75	

**Tableau I.3 :** Les caractéristiques physique d'un ciment pétrolier classe G. [3]

PARAMETRE	EXIGENCES	METHOD D'ESSAI
Eau ciment %	44	Eau distillée
Expansion à l'autoclave % maximum	0,8	ASTMC 115 ou NEP 15-442
Surface spécifique de ciment cm <sup>2</sup> /g	2500+250	ASTMC 115 ou NEP 15-442

Eau libre Cm <sup>3</sup> maximum	3,5	API Spec 10 Section 6
Résistance à la compression après 8h Kg/cm <sup>2</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 38°C pression atmosphérique</li> <li>• 60°C pression atmosphérique</li> </ul>	Min. 21  Min. 105	API Spec 10 Section 7
Temps de pompabilité Minutes	Min. 90 Max. 120	API Spec 10 Section 8 Régime 5
Consistance après 15 à 30 U.C D'agitation maximum	30	

Pour assurer les conditions de cette norme, il est nécessaire de préparer un cru ayant un module A/F très bas (légèrement supérieur à 0,638) et un module LSF moyen (au voisinage de 0,92).

## CONCLUSION

Un clinker d'un ciment pétrolier de classe G résistant aux sulfates se prépare donc comme n'importe quel type de clinker à condition bien entendu de respecter les limites indiquées par les normes. Il est donc intéressant de projeter sa fabrication au niveau de la cimenterie d'Ain El Kebira notamment, du fait qu'aucune cimenterie à l'échelle nationale ne le fabrique et la totalité de ces types des ciments sont utilisés aux niveaux des forages pétroliers du sud algérien, sont importée.

## CHAPITRE II

### METHODES ET MATERIELLES

#### INTRODUCTION

Ce chapitre traite sur une présentation détaillée des matériels utilisés dans notre recherche soit au niveau de l'industrie, cimenterie Ain El Kebira ou au niveau de l'université A.Mira Bejaia, on présentera aussi les principes des méthodes utilisées dans notre étude.

#### II.1. CHOIX DES ECHANTILLONS

Notre travail porte sur une série de huit échantillons de matières premières acheminés des carrières utilisées par la cimenterie Ain Al Kebira à savoir : le calcaire des gradins 1,2 ,3 et 4, la marne des gisements 1, 2 et 3 ainsi que le minerai de fer. Ces échantillons sont prélevés de manière circulaire autour d'un gisement de différentes matières premières. Ces dernières vont subir une série de traitements mécaniques tels que le concassage, le quartage, le tamisage et le broyage tout on assurant la représentativité en poids par la relation de statistique (empirique) de RECHARDS [4].

$$Q \geq Kd^2$$

$$m < Qi/Kd^2$$

$$m = 2^n, \quad n = \ln(m)/\ln(2)$$

Avec :

Q : masse de l'échantillon (tamisât) en Kg ; d: diamètre du plus gros grain en mm

K : coefficient de répartition de la minéralisation; il dépend de la nature de l'échantillon. Mais en général nous prenons  $K > 0,1$  pour un échantillon hétérogène ( $k=0,5$ ) et  $k=0,1$  pour un échantillon homogène.

n: nombre de quartages.

#### II.2. PREPARATION MECANIQUE DES ECHANTILLONS

Le traitement mécanique des échantillons c'est la phase la plus délicate pour préparer les échantillons représentatifs. Pour atteindre cet objectif, les opérations suivantes sont réalisées :

### II.2.1. Concassage

Cette opération sert à réduire les dimensions de la matière première à une granularité de l'ordre de quelques millimètres. Pour cela, nous avons utilisés un concasseur à mâchoires de type RETSTH de la cimenterie Ain El Kebira **Figure II.1**. La matière première initiale est sous forme de grain de diamètre supérieur à 1cm. A l'aide de concassage, le diamètre des grains subit une réduction jusqu'à environ 2 mm.



**Figure II.1** : Concasseur à mâchoire.

### II.2.2. Broyage

C'est une opération qui consiste à réduire les dimensions des grains de la matière première à une granularité assez fine, atteignant quelques micromètres. L'opération de broyage est réalisée soit manuellement soit à l'aide d'un broyeur à disque de marque HERZOG de la cimenterie de Ain El Kebira qui donne des diamètres d'ordre des micromètres **Figure II.2**.



**Figure II.2 :** Broyeur à disque.

### II.2.3. Tamisage

Le tamisage consiste à répartir les grains d'un échantillon brut à travers une série de tamis de norme **AFNOR** de plus en plus de petites ouvertures allant de 2mm jusqu'à 63 $\mu$ m. ces ouvertures sont formées par des mailles carrées faites dans des toiles métalliques (cas de tamisage par voie sèche).

Pour notre travail on a versé les échantillons par ordre sur une série de tamis de diamètre décroissant (2 ; 1 ; 0.5 ; 0.25 ; 0.125 ; 0.063), et on a procédé au tamisage. En allumant la tamiseuse **Figure II.3**, la série des tamis commence à vibrer, afin de permettre aux particules de l'échantillon de passer à travers les ouvertures des tamis. La tamiseuse a un bouton de réglage qui nous permet de contrôler la durée pendant laquelle cette dernière doit tourner.



**Figure II.3 :** Tamiseuse avec une série de tamis de norme AFNOR.

Après le tamisage, on a obtenu sur chaque tamis une quantité de matériau appelé refus. Après cela, on a fait une autre pesée, et, on a déterminé le poids de la matière sur chaque tamis, qui correspond aux refus partiels.

#### **II.2.4. Homogénéisation**

C'est un procédé mécanique qui consiste à mélanger l'échantillon de manière à le rendre homogène.

#### **II.2.5. Quartage**

Le quartage est une opération indispensable pour une meilleure représentativité de l'échantillon. Avant cette opération, il est nécessaire de procéder à homogénéisation du minerai, la matière finement broyée est mise en forme d'un cercle partagé en quatre parties égales **Figure II.4**, dont nous prenons les deux parties opposées. C'est une opération de réduction de poids de l'échantillon souhaité pour l'analyse.



**Figure II.4 :** Calcaire en quartage.

### II.3. ANALYSE CHIMIQUE

#### II.3.1. Composition chimique par spectrométrie de fluorescence X

La fluorescence X est une méthode spectrale d'analyse qui exploite la fluorescence des atomes dans le domaine des rayons X, afin d'obtenir des renseignements quantitatifs sur la composition élémentaire d'un échantillon solide. Lorsqu'un échantillon est irradié avec une source de photons à grande énergie (5 à 60 keV), une photoluminescence située dans le domaine des rayons X, caractéristique des éléments présents, est émise par ce dernier. Cette fluorescence, perpendiculaire au faisceau primaire, se diffracte alors sur un cristal analyseur selon la loi de Bragg: Les éléments concernés sont: SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, .....etc, Au total il y a 13 Oxydes. [17]

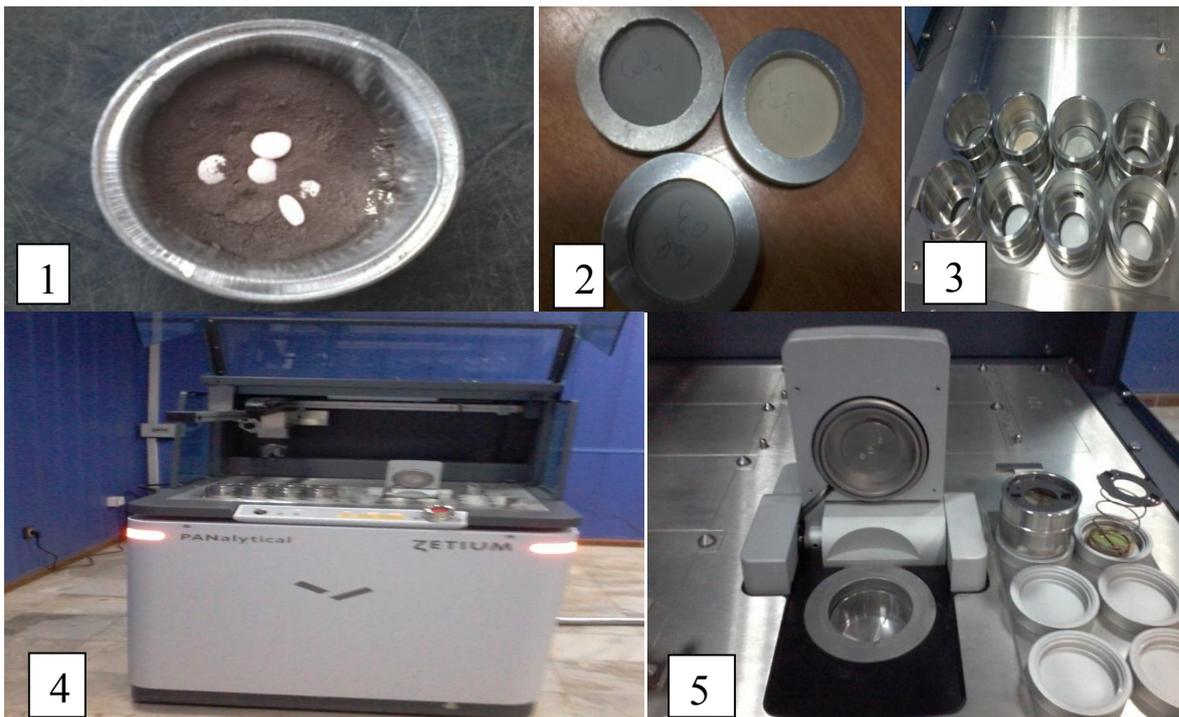
Cette analyse par un spectre de fluorescence des rayons X au niveau de laboratoire de la cimenterie Ain El Kebira nécessite la préparation d'une pastille avec 12g de la matière plus 1g de cellulose pour favoriser le colmatage de cette dernière avec le porte échantillon **FigureII.5**.

Pour le clinker avant d'analyse on doit déterminer la perte au feu par la mise d'échantillon dans le four à 1050°C durant 30 min par la formule suivante :

$$PF = [(m_0 - m_1) / M_{ech}] * 100$$

Avec : **m<sub>0</sub>** : masse initiale d'échantillon avec le creuset.

**m<sub>1</sub>** : masse d'échantillon avec le creuset après la mise en four.



**Figure II.5 :** Les étapes d'analyse par spectromètre de fluorescence des rayons X.

- 1) 12 g de l'échantillon avec 1 g de cellulose.
- 2) La formation des pastilles d'analyse.
- 3) On met les pastilles à l'intérieur des tasses de l'appareil.
- 4) On dépose ces dernières dans l'appareil.
- 5) Le spectromètre de fluorescence des rayons X va analyser automatiquement les pastilles d'échantillons un par un dans la cellule d'analyse.

### II.3.2. Composition minéralogique (analyse par diffraction des rayons X) (DRX)

La diffraction des rayons X est une méthode d'analyse minéralogique des matériaux cristallisés. Elle s'applique sur des poudres ou des échantillons massifs **Figure II.7**, elle sert à la détermination de la nature des phases minérales et à leurs quantifications. Actuellement la diffraction des rayons x intervient dans la quasitotalité des thématiques et constitue un complément indispensable aux observations optiques, microscopiques ou spectroscopiques.

La condition de la réflexion est donnée par l'équation de Bragg.

$$n \cdot \lambda = 2d \sin(\theta)$$

Avec :

$n$  : ordre de la diffraction (entier) ;

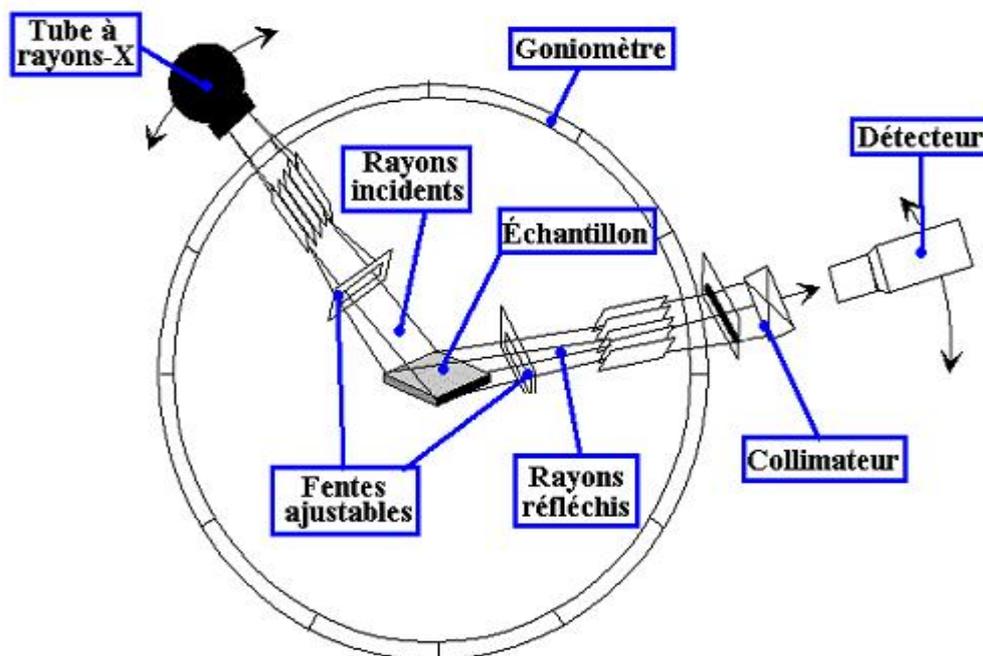
$\lambda$  : la longueur d'onde des rayons x.

$\theta$  : L'angle entre le faisceau incident et les plans diffractant, il dépend que du réseau du cristal ;

$d$  : La distance inter réticulaire entre deux plans diffractants d'un cristal.

### ✚ Principe

La méthode générale consiste à bombarder le matériau par un faisceau de rayons X monochromatique ( $0,1 \text{ \AA} < \lambda < 10 \text{ \AA}$ ) de longueur d'onde  $1,54051 \text{ \AA}$ , produit par une anticathode de cuivre, à mesurer l'angle par rapport au rayonnement incident des rayons X diffractés et l'intensité des rayonnements X diffractés au moyen d'un compteur à scintillation. Celui-ci tourne autour du même axe que l'échantillon mais à une vitesse double de celle de l'échantillon. Pour un angle d'incidence  $\theta$ , l'angle mesure par le déplacement du compteur sera donc de  $2\theta$ , voir la **figure II.6**.



**Figure II.6** : Schéma d'un spectromètre de diffraction des rayons X.

Le traitement des diffractogrammes ou spectres s'effectue à l'aide d'un logiciel basé sur les fiches d'une base de données faisant correspondre les distances inter réticulaires d'aux

angles  $2\theta$  enregistrés. La position des pics de diffraction permet l'identification des structures ou phases cristallines présentes et donc la détermination de la composition cristallographique de l'échantillon analysé. [17]



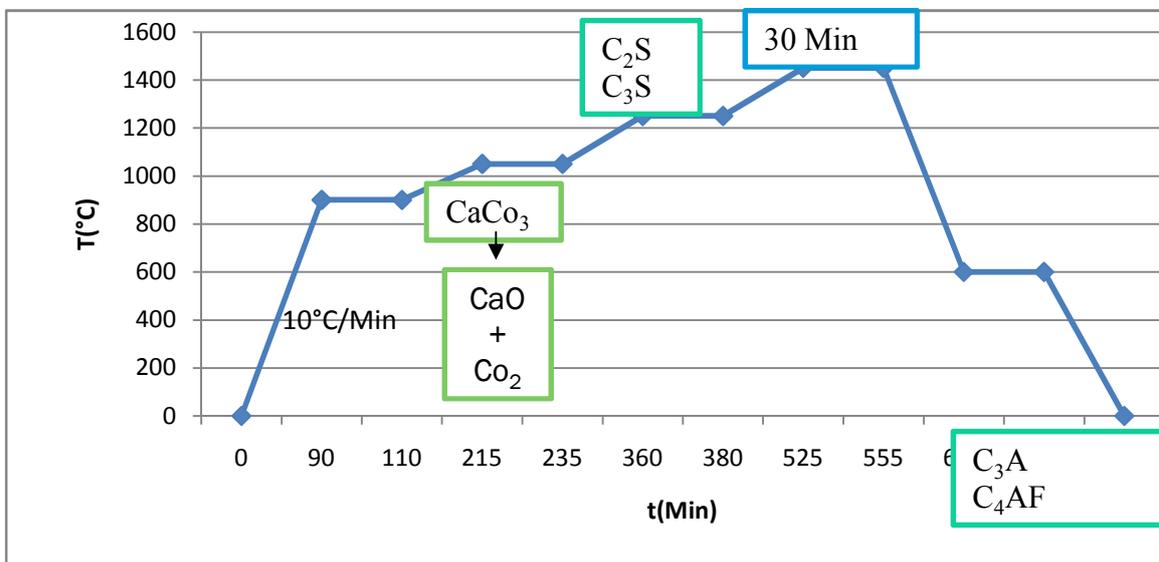
**Figure II.7 :** Les étapes d'analyse par spectromètre de détraction des rayons X.

- 1) L'échantillon à l'état brut.
- 2) Le support et porte échantillon.
- 3) Le dépôt d'un échantillon de ciment sur le porte échantillon.
- 4) Compacter la poudre sur le porte échantillon.
- 5) une pastille d'analyse.
- 6) le dépôt d'un échantillon sur l'appareil de DRX et le lancement de cette dernière.

## II.4. CUISSON

Une partie de cru est destinée à la fabrication de clinker. Le mode opératoire porte sur un traitement isothermique du mélange cru préalablement calciner, à 1450°C pendant 30 minutes avec une vitesse 10°C par minutes. Un échantillon de 60 g porté à la température de 1050°C pendant 20 minutes dans un four programmable **Figure II.9** cette opération est suivie par la cuisson, du cru calciné, à une température de 1450°C pendant 30 minutes dans des creusets en alumine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> **Figure II.10**. Le produit de cuisson subit à une réduction de la température qui avoisine 0°C.

La programmation du four est présentée dans le diagramme suivant **Figure II.8**:



**Figure II.8 :** Diagramme explique la programmation du four (évolution de la température en fonction de temps).

### Les étapes de la cuisson [18]

- ✓ **A :** Entre 800 et 900°C décarbonatation du calcaire selon l'équation suivante :



- ✓ **B :** 1050°C perte au feu 0% d'humidité.
- ✓ **C :** Entre 1200 et 1400°C





**Figure II.9** : Four programmable.



**Figure II.10** : Les creusets en alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

## II.5. MODULES REGISSANT LA CHIMIE DE CIMENT

### II.5.1. Facteur de saturation en chaux [15-21]

Etant donné le caractère acide des oxydes  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , et celui basique de la chaux  $\text{CaO}$ , par combinaison chimique, cette dernière et en fonction de l'abondance des premiers oxydes cités, va plus ou moins se saturer, le facteur de saturation en chaux exprime justement le taux de combinaison de la chaux selon la relation suivante :

$$\text{LSF} = \frac{\text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2 + 1,18\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Sa valeur donne des indications sur la composition minéralogique du clinker, car lorsque la valeur de L.S.F tend vers l'unité, la teneur en C3S augmente dans le clinker.

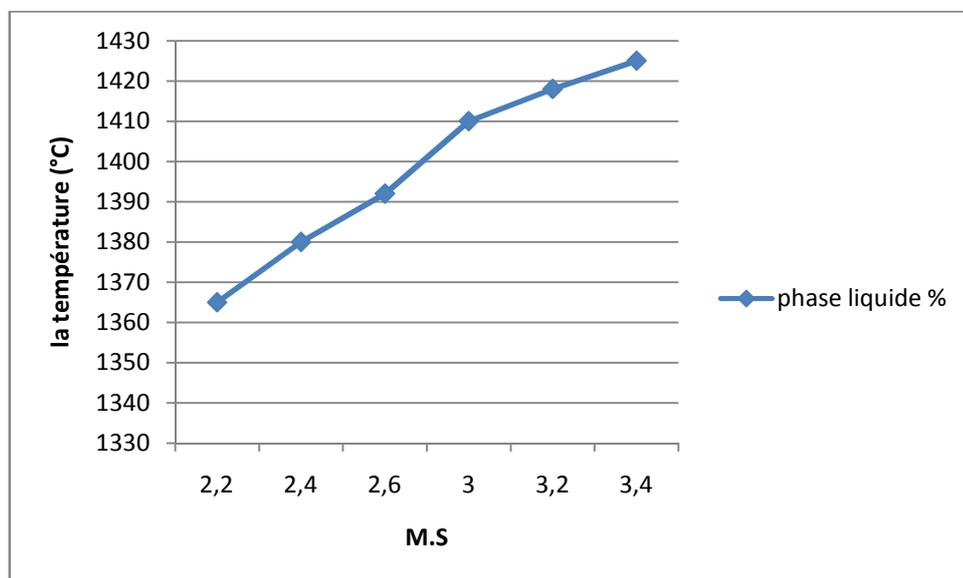
Il est à noter que le L.S.F. varie de 90 à 102. Les valeurs de L.S.F., au dessus de 98, prédisent des difficultés de cuisson, le croutage est plutôt faible. Du fait de la forte teneur en C3S, les résistances mécaniques à 2 et 7 jours sont accrues, celles à 28 jours sont elles aussi élevées, la chaux libre est importante avec un risque d'expansion très grand, qui peut tout de même être minimisée par un broyage très poussé, cas des ciments H.R.I (haute résistance initiale avec S.S.B – 4500). La chaleur d'hydratation est très élevée. Les valeurs de L.S.F inférieures à 90 provoquent par l'importante phase liquide qu'ils engendrent, un lavage du croutage, avec infiltration de la brique réfractaire, il ya une plus grande tendance à la formation d'anneaux de clinker et de spurrite dans la zone de transition amont et de gros granules de clinker et même de boudins. Les résistances mécaniques et la chaleur d'hydratation sont amoindries, alors que la broyabilité diminue.

### II.5.2. Module Silicique [22]

Il règle le rapport entre les silicates, les aluminates et les ferrites dans le cru. il est donné par l'équation empirique suivante :

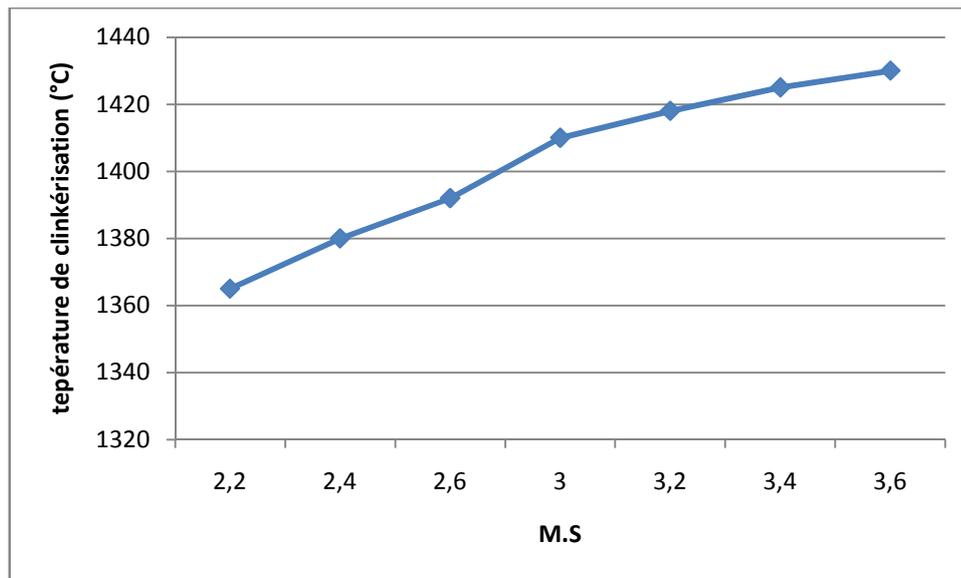
$$M.S = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Ses valeurs limites sont comprises entre 1,9 et 3,2 et ses valeurs normales varient entre 2,3 et 2,7. Le module de silice exprime la relation entre les silicates de calcium  $C_3S + C_2S$ , l'aluminate et l'alumino-ferrite de calcium  $C_3A + C_4AF$ . Plus les silicates de calcium sont élevés plus le M.S est élevés. Pour des modules alumino-ferriques inférieurs à 1,38 c'est le M.S qui contrôle le pourcentage de la phase liquide à 1450°C. Si MS est supérieur à 3, l'aptitude de la cuisson du cru diminue du fait de la pauvreté du clinker en phase liquide. La conséquence est que les températures de cuisson sont plus importantes, le croulage est instable. Les résistances mécaniques du ciment sont élevées et la prise est plus lente. Si M.S est inférieur à 2, l'aptitude de cuisson du cru augmente du fait de l'augmentation du pourcentage de la phase liquide. Le graphique ci-après, montre l'évolution de la quantité de la phase liquide en fonction de l'évolution du module silicique **Figure II.11** :



**Figure II.11** : Evolution de la quantité de la phase liquide en fonction du module silicique.

Il existe une relation entre la température de cuisson et la valeur du module silicique comme le montre le graphique ci-dessous **Figure II.12** :



**Figure II.12.** : Évolution de la température de clinkérisation en fonction du module silicique.

### II.5.3. Module Alimino-ferrique [22]

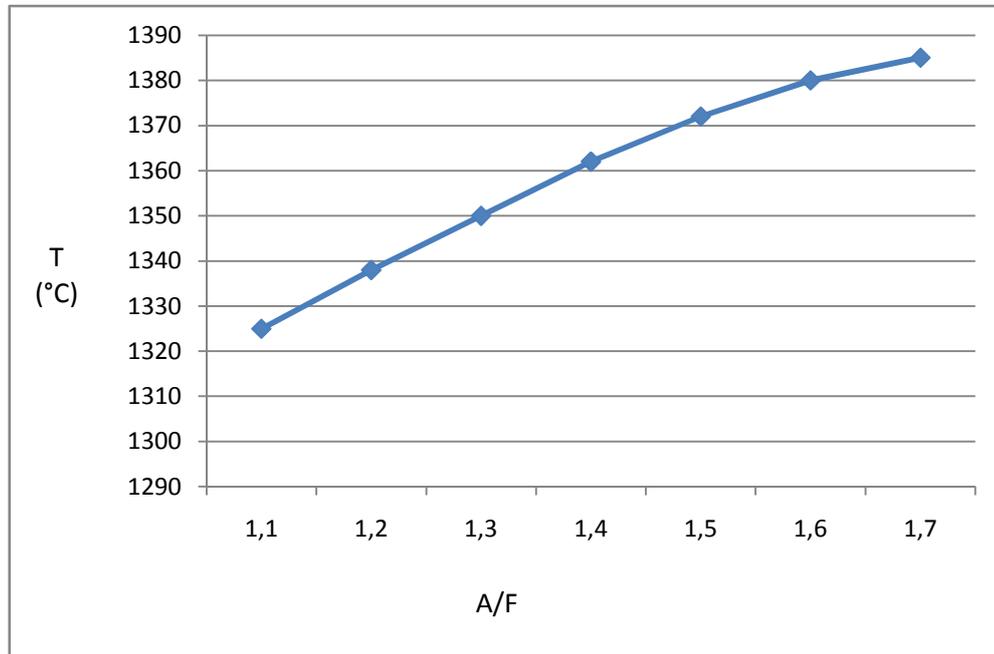
$$A/F = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

Il influe sur la proportion relative d'aluminates ( $C_3A$ ) et d'alimino-ferrites ( $C_4AF$ ) qui se forment lors de la cuisson.

Le module d'aluminate contrôle la viscosité de la phase liquide et la vitesse de formation de  $C_3S$ , qui à son tour enrichit la phase liquide. Ses valeurs limites son comprises entre 1,5 et 2,5 et ses valeurs normales varient entre 1,3 et 1,6. Si le module A/F est supérieure à 2,5, la viscosité de la phase liquide augmente considérablement et compromet, de ce fait, la formation du  $C_3S$ . La teneur en  $C_3S$  étant élevée, la chaleur d'hydratation s'accroît et les résistances chimiques du ciment diminuent. Si le module A/F est inferieur à 0,64, la viscosité de la phase fondue diminue, la chaleur d'hydratation diminue. Il ya un risque certain d'infiltration des briques réfractaires. Notons que si A/F est égal à 1,38, le liquide apparait à 1338°C (liquide eutectique) et pour A/F égale à 1,63 le liquide apparait à 1301°C.

La proportion d'aluminate augmente quand le module d'alumine augmente. Ceci entraine une augmentation de la viscosité de liquide, ce qui nécessite des températures de

clinkérisation plus élevées **Figure II.13**. Dans les ciments à haute résistance initiale, le L.S.F et le M.S sont élevés et A/F est au voisinage de 2,3. La température de cuisson est élevée, ceci afin de compenser l'aptitude à la cuisson plus faible.



**Figure II.13** : Évolution de la température de clinkérisation en fonction du module d'alumine.

#### II.5.4. Composition potentielle de bogue [23]

Pour des proportions d'oxyde ferrique relativement faibles dans le cru, les principaux composants du clinker, se déduisent d'après les relations suivantes :

**a. A/F > 0,64**

$$C_3S = 4,0716CaO - 7,6SiO_2 - 6,718Al_2O_3 - 1,43Fe_2O_3 - 2,852SO_3$$

$$C_2S = 2,867SiO_2 - 0,754C_3S$$

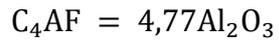
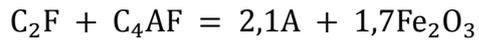
$$C_3A = 2,65Al_2O_3 - 1,692Fe_2O_3$$

$$C_4AF = 3,04Fe_2O_3$$

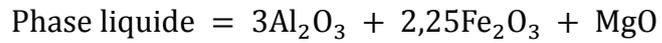
**b. A/F ≤ 0,64**

$$C_3S = 4,071CaO - 7,6SiO_2 - 4,479Al_2O_3 - 2,859Fe_2O_3 - 2,852SO_3$$

$$C_2S = 2,867SiO_2 - 0,754C_3S$$



Pour des proportions important d'oxyde ferrique:



## CONCLUSION

Pour une meilleur production de ciment pétrolier, il nécessaire d'un bon choix de la qualité de la matière première et le mode de la préparation mécanique, l'efficacité des protocoles expérimentaux ainsi que les matériels utilisées.

## CHAPITRE III

### RESULTATS ET DISCUSSION

#### INTRODUCTION

La qualité de la matière première dans le système carrière-usine de fabrication et dans des revues de recherche bibliographique [1] présentées précédemment, on complète cette appréciation par une étude récente sur l'aspect qualitatif et quantitatif des matières premières à ciment pétrolier.

#### III.1. CARACTERISATION DES MATIERES PREMIERES UTILISEES

Les matières premières prélevées, de la carrière Djebel Medjoune, utilisées par la cimenterie de Ain El Kebira **tableau III.1** vont subir un traitement mécanique afin de déterminer l'aspect qualitatif, quantitatif et la faisabilité de fabriquer un ciment pétrolier répondent aux normes.

##### III.1.1. Traitement et préparation des échantillons bruts

**Tableau.III.1** : Masses des échantillons acheminés.

Echantillon		Masse en (g)
<b>calcaires</b>	Point d'extraction de gradin 1	4489,73
	Point d'extraction de gradin 2	4605,7
	Point d'extraction de gradin 3	4400,2
	Point d'extraction de gradin 4	4000
<b>Marne</b>	Gisement 1	4233,3
	Gisement 2	4500,28
	Gisement 3	4009,32
<b>Minerai de fer</b>		4215,23

##### III.1.1.1. Séchage

Pour éliminer l'eau de séchage de l'échantillon, on le sèche dans une étuve à  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  pendant 24h, les résultats obtenus sont portés sur le **tableau III.2**.

Le taux d'humidité (h) est donné par la formule suivante :

$$h = [(m_0 + m_1)/m_0] * 100$$

Avec :

$m_0$  : masse avant séchage et  $m_1$ : masse après séchage.

La perte au feu est donnée par la formule suivante:

$$PF = [(p_1 - p_2)/M_{ech}] * 100$$

Avec :  $p_1$  : masse de l'échantillon avant calcination;

$p_2$  : masse de l'échantillon après calcination :

$M_{ech}$  : masse de l'échantillon.

**Tableau III.2** : Masse des échantillons de la matière première avant et après le séchage.

Echantillon		Masse avant le séchage en (g)	Masse après Séchage	Taux d'humidité en (%)
<b>calcaires</b>	Point d'extraction de gradin	4489,73	4450,62	0,87
	Point d'extraction de gradin	4605,7	4550,6	1,19
	Point d'extraction de gradin	4400,2	4378,33	0,49
	Point d'extraction de gradin	4000	3927,56	1,81
<b>Marne</b>	Gisement 1	4233,3	4200,4	0,77
	Gisement 2	4500,28	4450,3	1,11
	Gisement 3	4009,32	4000	0,23
<b>Minerai de fer</b>		4215,23	4200,9	0,33

### III.1.1.2 Classement dimensionnel

Nous avons effectué le tamisage de différentes matières premières sur une série de tamis allant de 2 mm à 0,063 mm, déterminé selon la norme française **AFNOR**. Les résultats obtenus sont portés dans les **tableaux III.3, III.4 et III.5** :

**Tableau III.3** : Classement granulométriques par tamisage en voie sèche du calcaire, gradin 1.

Classement granulométrique (mm)	Masse (g)	Refus cumulé en (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulé (%)
>2	0	0	0	100
2	1,61	1,61	0,036	99,96
1	416,89	418,5	9,526	90,47
0,5	706,88	1125,38	25,62	74,37
0,25	696,811	1822,191	41,49	58,504
0,125	2382,59	4204,781	95,766	4,234
0,063	109,25	4314,031	98,24	1,754
<0,063	75,6	4389,631	99,96	0,034

$\Sigma$	4389,631	/	/	/
----------	----------	---	---	---

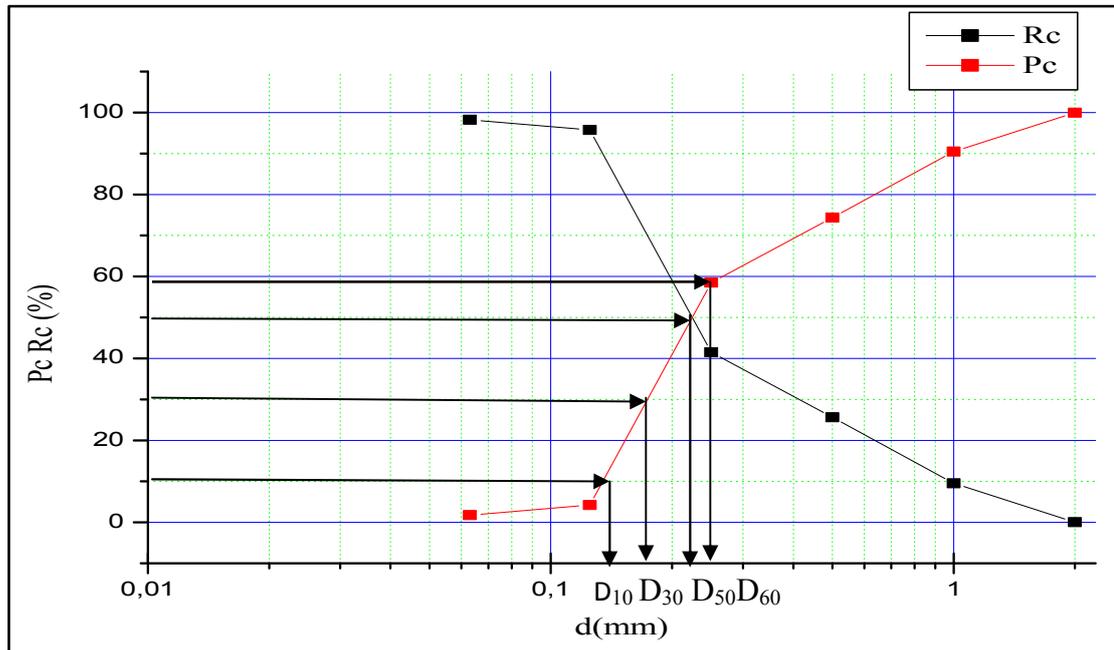


Figure III.1 : Granulométrie par tamisage en vois sèche du calcaire (gradin 1).

Tableau III. 4 : Classement granulométriques par tamisage en vois sèche de la marne, (tas1).

Classement granulométrique (mm)	Masse (g)	Refus cumulés en (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulé (%)
>2	0	0	0	100
2	9,5	9,5	0,23	99,77
1	506,1	515,6	12,57	87,43
0,5	627,6	1143,2	27,8799	72,1201
0,25	1389,9	2533,1	61,7799	38,2201
0,125	1037,0	3570,1	87,0699	12,9301
0,063	500,8	4070,9	99,2799	0,7201
<0,063	28,4	4099,3	99,9699	0,0301
$\Sigma$	4099,3	/	/	/

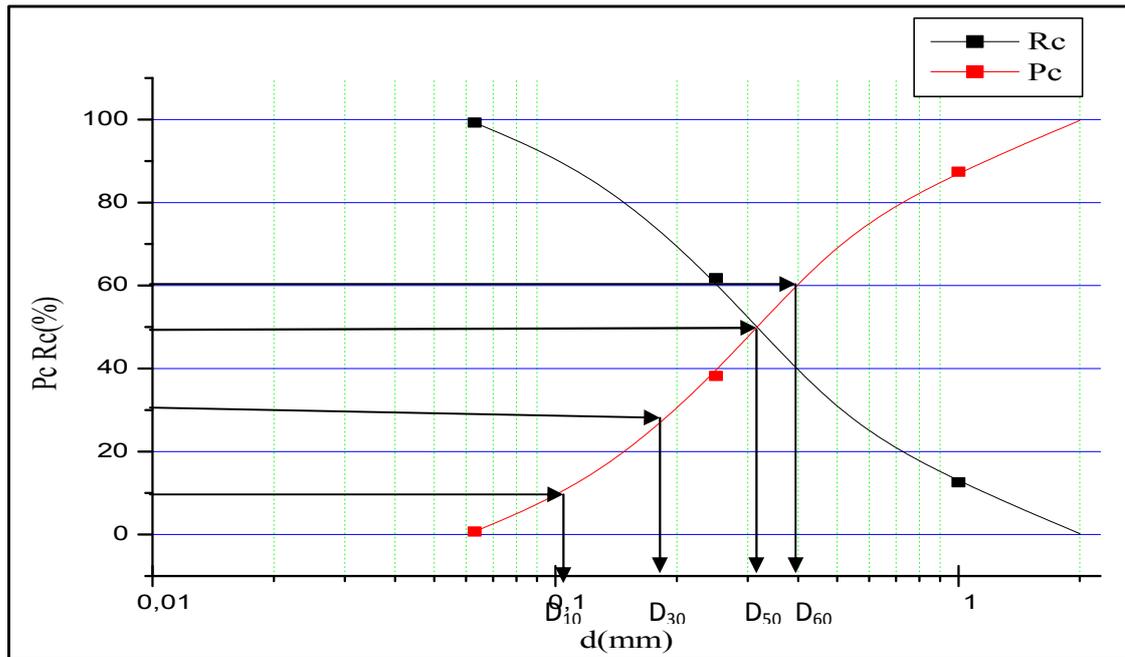
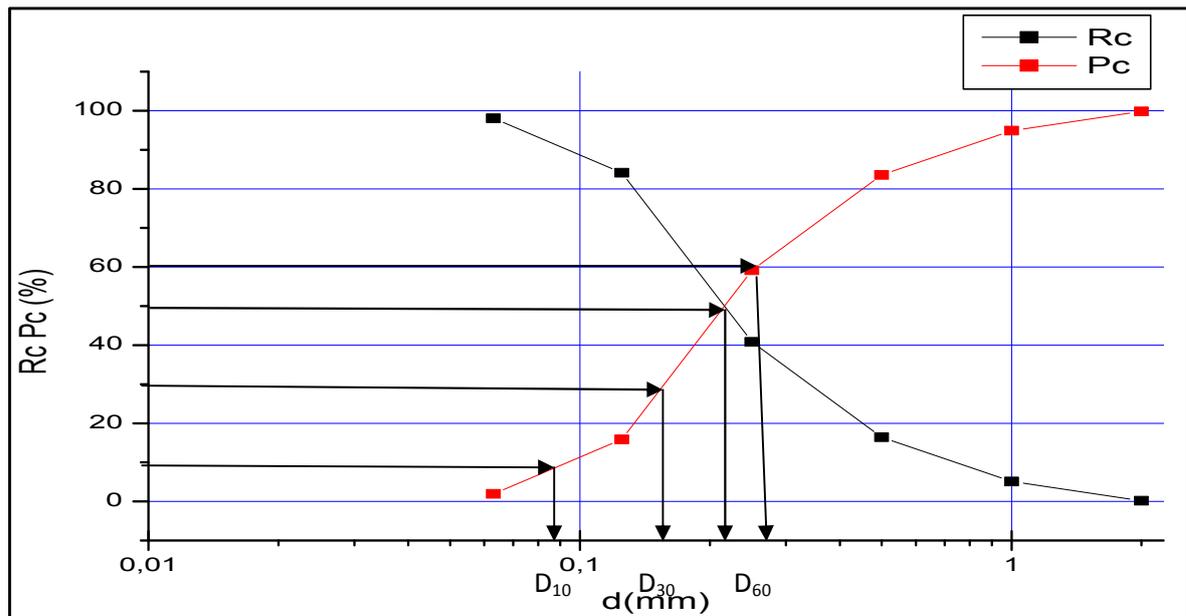


Figure III.2 : Granulométrie par tamisage en vois sèche de la marne (tas 1).

Tableau III. 5 : Classement granulométriques par tamisage en vois sèche du minerai de fer.

Classement granulométrique (mm)	Masse (g)	Refus cumulés en (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulé (%)
>2	0	0	0	100
2	7,2	7,2	0,17	99,83
1	204,2	211,4	5,08	94,92
0,5	471,5	682,9	16,42	83,58
0,25	1015,7	1698,6	40,85	59,15
0,125	1799,2	3497,8	84,13	15,87
0,063	579,4	4077,2	98,06	1,94
<0,063	79,8	4157	99,979	0,021
$\Sigma$	4157	/	/	/



**Figure III.3 :** Granulométrie par tamisage en voie sèche du minerai de fer.

Les courbes Rc et Pc se coupent au point  $D_{50}$  dont le % refus = % tamisât.

Le point  $D_{50}$  appartient à la fraction granulaire :

- $0,125 < d < 0,25$  : calcaire tas gradin 1,2 et 3.
- $0,25 < d < 0,5$  : calcaire tas gradin 4.
- $0,125 < d < 0,25$  : marne 1.
- $0,25 < d < 0,5$  : marne 2 et 3.
- $0,25 < d < 0,125$  : minerai de fer.
  - Les fractions dominantes correspondent aux grains de dimension :
    - $0,25 < d < 0,125$  : calcaire tas de gradin 1,2 et 3 ;
    - $0,25 < d < 0,5$  : calcaire tas de gradin 4 avec 38,07% ;
    - $0,25 < d < 0,5$  : marne 1,2 et 3.
      - Les valeurs des paramètres correspondant aux grains de dimensions :
        - Calcaire de tas de gradin 1, 2, 3 et 4 : la granulométrie  $63\mu\text{m}$  correspond à un refus cumulé respectivement de 4314,031 ; 4349,1 ; 3087,6 et 3614,2g. De ce fait, la masse pondérale de la proportion relative à la tranche inférieure à  $63\mu\text{m}$  est estimée respectivement 75.6, 152.5, 112 et 21,3g.
        - Marne : gisement 1, 2 et 3 la granulométrie  $63\mu\text{m}$  correspond à un refus cumulé respectivement de 4070,9; 4417,3; 3930g. De ce fait, la masse pondérale de la proportion relative à la tranche inférieure à  $63\mu\text{m}$  est estimée respectivement 28.4, 11.8 et 19.2g.

- ❖ Le minerai de fer : la granulométrie 63µm correspond à un refus cumulé de 4077,2g. De ce fait, la masse pondérale de la proportion relative à la tranche inférieure à 63µm est estimée 79,8g.

### III.1.1.3 la granulométrie de la matière première

L'étude de la granulométrie **Tableau III.6** à partir des courbes de l'analyse granulométrique et les calculs des coefficients d'uniformité et de courbure ce fait comme suite :

#### ❖ Coefficient de HAZEN (coefficient d'uniformité)

Le coefficient de HAZEN permet de savoir si la granulométrie est étalée ou serrée (Uniforme). Ce coefficient est défini par la relation suivante:

$$C_U = D_{60}/D_{10}$$

$C_U$  : Le coefficient de HAZEN ; D'après CAQUOT et KERISEL.

$C_U < 2$ : La granulométrie est serrée (uniforme);

$C_U > 2$ : La granulométrie est étalée.

#### ❖ Coefficient de courbure

Le coefficient de courbure vient en complément de coefficient de HAZEN dans la classification des sols. Afin de déterminer si la granulométrie est bien graduée (un sol est mal gradué si une fraction des grains prédomine). Le coefficient de courbure est donné par l'équation suivante :

$$C_C = (D_{30})^2 / D_{10} \cdot D_{60}$$

$C_C$  : le coefficient de courbure

$1 < C_C < 3$  : La granulométrie est bien graduée (continuité bien répartie) ;

$C_C < 1$  et  $C_C > 3$ : La granulométrie est mal graduée (continuité mal répartie).

**Tableau III.6** : les paramètres pour l'étude de la granulométrie.

L'échantillon	D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>50</sub>	D <sub>60</sub>	C <sub>C</sub>	C <sub>U</sub>
1	0,15	0,175	0,225	0,25	0,81	1,66

Calcaire	2	0,85	0,175	0,225	0,25	0,14	0,29
	3	0,08	0,14	0,2	0,25	0,98	3,12
	4	0,14	0,22	0,34	0,4	0,86	2,85
Marne	1	0,11	0,19	0,31	0,4	0,82	3,63
	2	0,16	0,29	0,38	0,41	1,28	2,56
	3	0,16	0,26	0,36	0,41	1,03	2,56
Minerai de fer		0,09	0,16	0,22	0,28	1,01	3,11

L'analyse granulométrique étant déterminé, nous montre que :

- ✓ Selon les valeurs de  $C_u$ , les échantillons de la matière première à savoir la marne, le minerai de fer et le calcaire de gradin 3 et 4, ont une granulométrie étalée. Le calcaire de gradin 1 et 2 ont une granulométrie serrée (uniforme).
- ✓ Selon les valeurs de  $C_c$ , les échantillons de la matière première à savoir le calcaire et la marne 1 ont une granulométrie mal graduée (continuité mal répartie). pour les marnes 2 et 3 ainsi que le minerai de fer ont une granulométrie bien graduée (continuité bien répartie).

### III.1.1.3 Broyage

Le but de broyage est de réduire les diamètres des grains de la matière première afin de favoriser la mise en solution lors de l'analyse chimique.

Il a été réalisé par un broyeur à disque de marque HERZOG de la cimenterie de Ain El Kebira qui donne des diamètres d'ordre des micromètres.

### III.1.1.4 Quartage

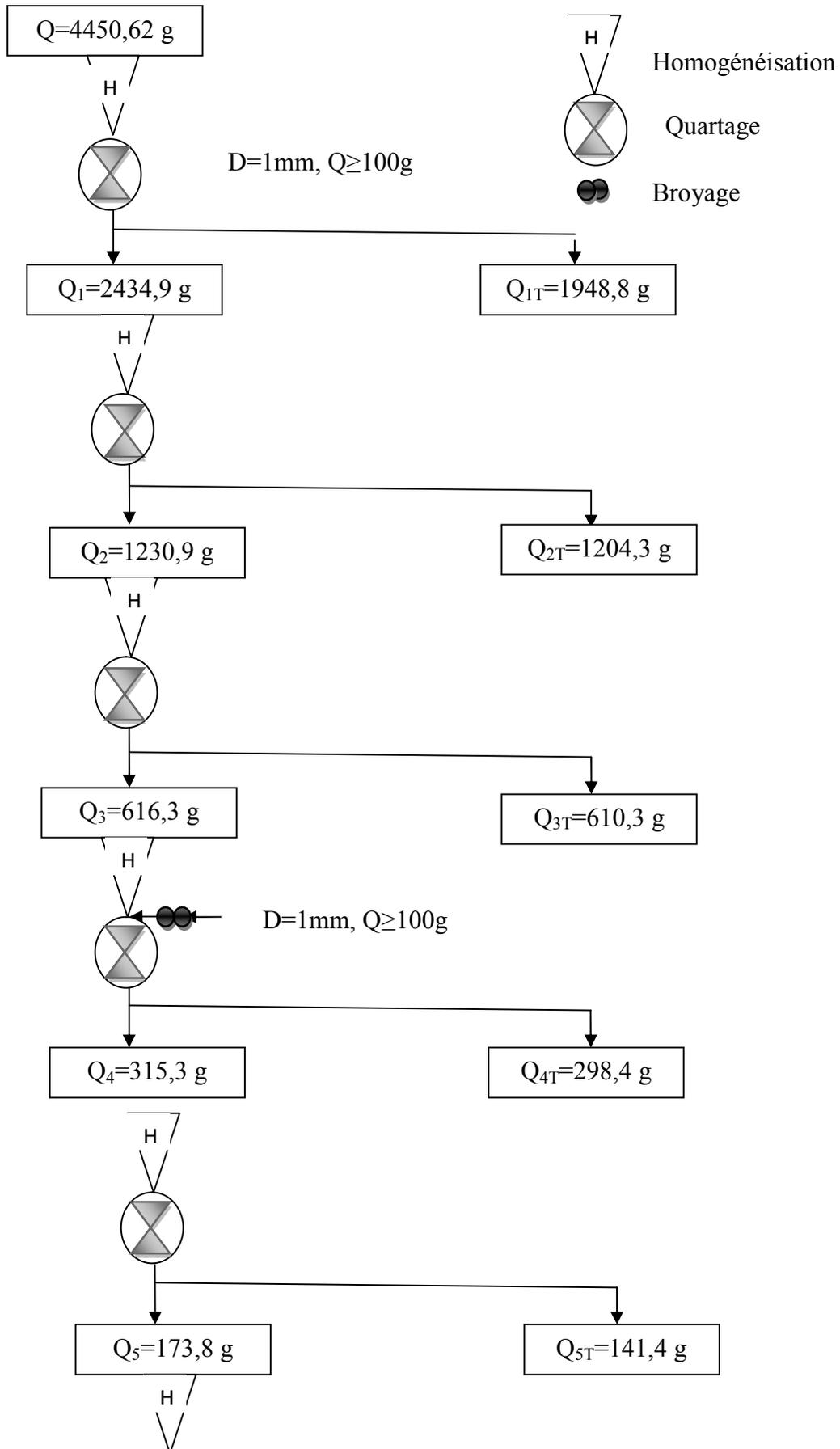
Le quartage est une opération indispensable pour une meilleure représentativité de l'échantillon. Avant cette opération, il est nécessaire de procéder à homogénéisation du minerai, par transformation en quatre quarts égaux, dont on prélève deux quarts opposés, les deux autres quarts seront ainsi gardés comme témoins **figure III.4**.

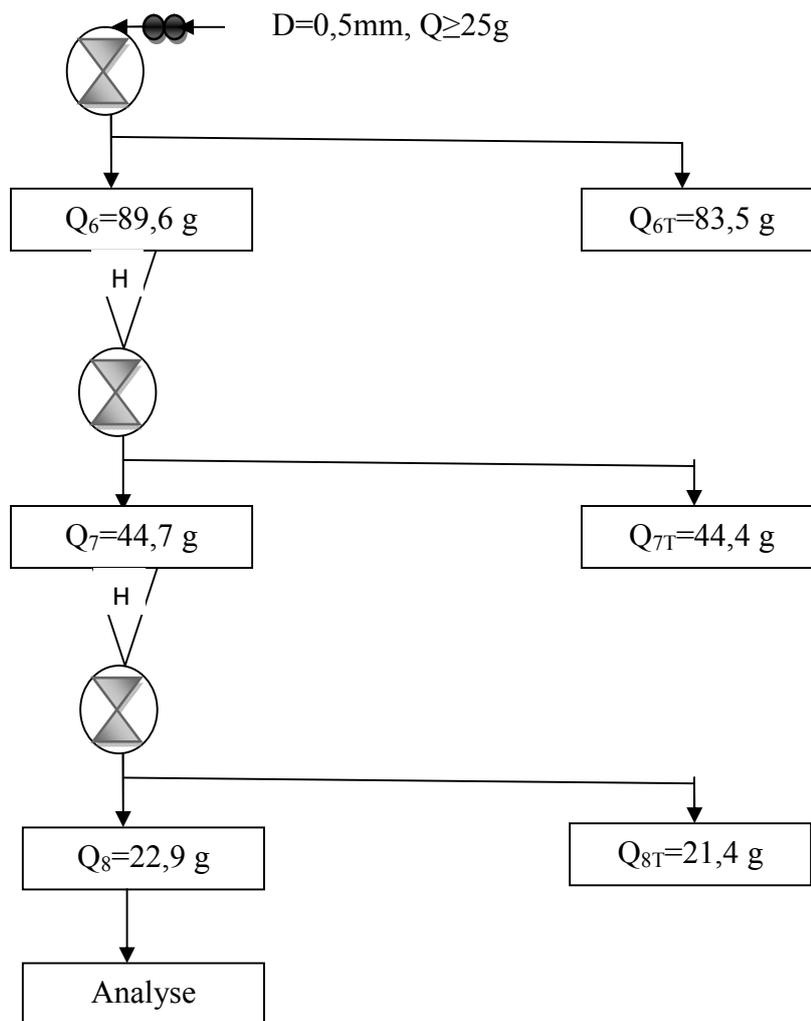
Selon l'équation statistique de RICHARDS et pour un diamètre maximum des grains des échantillons de 2 mm, la représentativité en poids des échantillons à prélever sera de 400 g.

Le coefficient d'homogénéisation  $K=0,1$  (l'échantillon est homogène).

$Q=4389,631g$  (la masse de l'échantillon de calcaire tas de gradin 1).

$$Q \geq Kd^2, \quad Q \geq (0,1) * (2^2) \geq 0,4\text{kg}$$





**Figure III.4** : Exemple de traitement mécanique des échantillons.

### III.1.2 Composition chimique

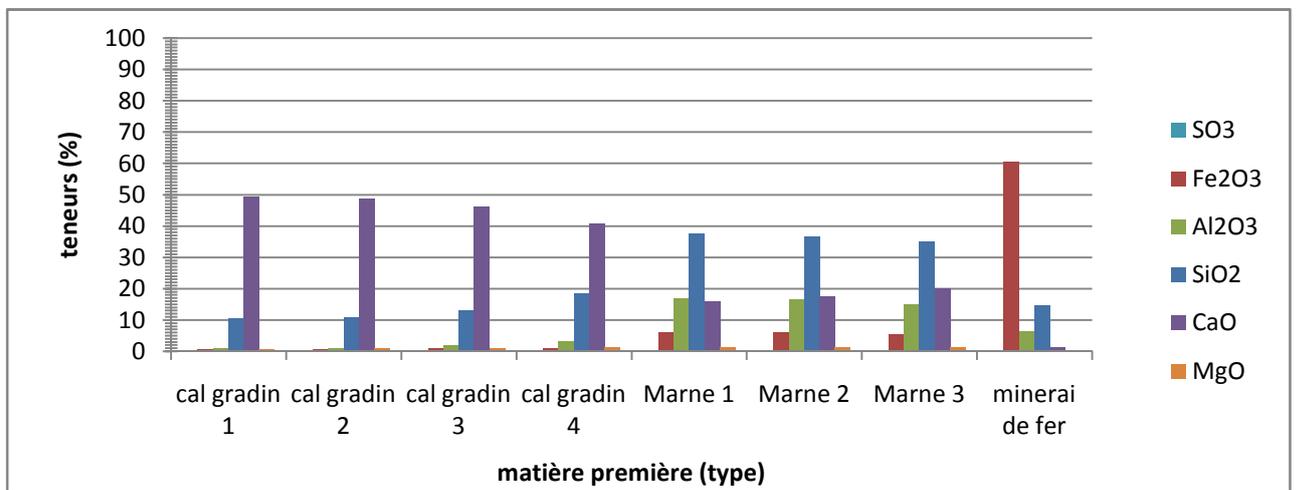
Les analyses chimiques par spectrométrie de fluorescence X (XRF) ont permis de déterminer les éléments présents dans l'échantillon brut (global).

La répartition des teneurs chimiques des échantillons bruts par matière première obtenue pour les différents types, d'échantillons calcaire, marne et minerai de fer **tableau III.7**.

Il est noté que la masse des échantillons à analyser par XRF de type ZETIUM de la cimenterie de Ain El Kebira doit être égale à 12 g et broyée à un diamètre inférieur à  $30\ \mu\text{m}$ .

**Tableau III.7** : Composition chimiques des matières premières.

		Composition chimique (%)										
composants		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl	PAF	titre
<b>calcaire</b>	<b>1</b>	10,50	0,98	0,42	49,40	0,78	0,25	0,071	0,096	0,001	37,50	88,77
	<b>2</b>	12,99	1,15	0,50	48,83	0,79	0,27	0,08	0,103	0,001	37,49	88,77
	<b>3</b>	12,99	2,04	0,92	46,26	1,06	0,26	0,157	0,125	0,001	36,18	84,76
	<b>4</b>	18,42	3,08	1,11	40,79	1,37	0,36	0,236	0,176	0,001	34,44	75,64
<b>Marne</b>	<b>1</b>	37,55	16,55	6,13	15,90	1,41	0,35	0,964	0,452	0,001	20,28	31,31
	<b>2</b>	36,75	16,55	6,02	17,53	1,40	0,33	0,929	0,491	0,000	20,00	34,41
	<b>3</b>	35,09	14,97	5,36	20,05	1,32	0,34	0,856	0,464	0,000	21,55	38,55
<b>Minerai de fer</b>		14,67	6,55	60,61	1,45	0,40	0,07	0,48	0,005	0,000	15,71	/

**Figure III.5**: Evolution des teneurs des éléments chimiques, en fonction de type de la matière première utilisée.

D'après les résultats inscrits dans le **tableau.III.7** et représentés par la **figure.III.5**, des différences très importantes sont enregistrées entre les teneurs en éléments des différents types de matières premières utilisées dans la fabrication du ciment pétrolier.

Ces fluctuations confirment dans l'ensemble la nécessité d'une homogénéisation au niveau du cru. Cette hétérogénéité détermine un ensemble des qualités (chimique, minéralogique, granulométriques.....etc) que possèdent les matières premières exploitables dans la fabrication du ciment. Sur ces critères, les matières sont réparties en plusieurs qualités à savoir : le calcaire qui apporte le CaCO<sub>3</sub>, la marne qui apporte la silice et l'alumine et enfin le minerai de fer qui apporte Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Hématite) nécessaire à la fabrication du ciment.

#### ❖ Carrière calcaire

Le calcaire apporte l'un des constituants principaux CaO nécessaire pour la fabrication de ciment. L'étude réalisée sur la carrière calcaire montre que le calcaire brut ne peut servir seul pour l'alimentation d'un four car les fluctuations sont très importantes. En effet, les valeurs moyennes des modules A/F, M.S et LSF sont respectivement 2.4, 5.99 et 1.25 alors qu'ils devraient être en moyenne égaux à 0.64, 2.2 et 0.92 respectivement, d'où l'intérêt d'une pré homogénéisation dans le tas calcaire (pour diminuer les fluctuations).

#### ❖ Carrière marne

La Marne brute ne peut servir seul pour l'alimentation d'un four car les fluctuations sont très importantes. En effet, les valeurs moyennes des modules A/F, M.S et LSF sont respectivement 2.75, 1.65 et 0,13 alors qu'ils devraient être du même ordre de grandeur que celles du calcaire. Une pré homogénéisation dans le tas marne peut diminuer les fluctuations.

#### ❖ Carrière minerai de fer

Le minerai de fer acheminé de l'Ouenza (Algérie) est utilisé par la cimenterie, comme troisième matière dans la constitution du cru à ciment, dans le but d'apporter l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) déficient dans le calcaire et la marne.

Le module aluminoferrique (A/F) est l'un des critères importants pour ajuster le rapport entre les aluminates et les ferrites dans le cru.

### III.2.LOGICIEL DE GESTION DE LA QUALITE DU CIMENT (HOMOGENEISATION ET FABRICATION)

Organisation du logiciel de gestion de la qualité du ciment est illustrée en plusieurs étapes [19] dont les principales sont les suivantes :

#### Etape1

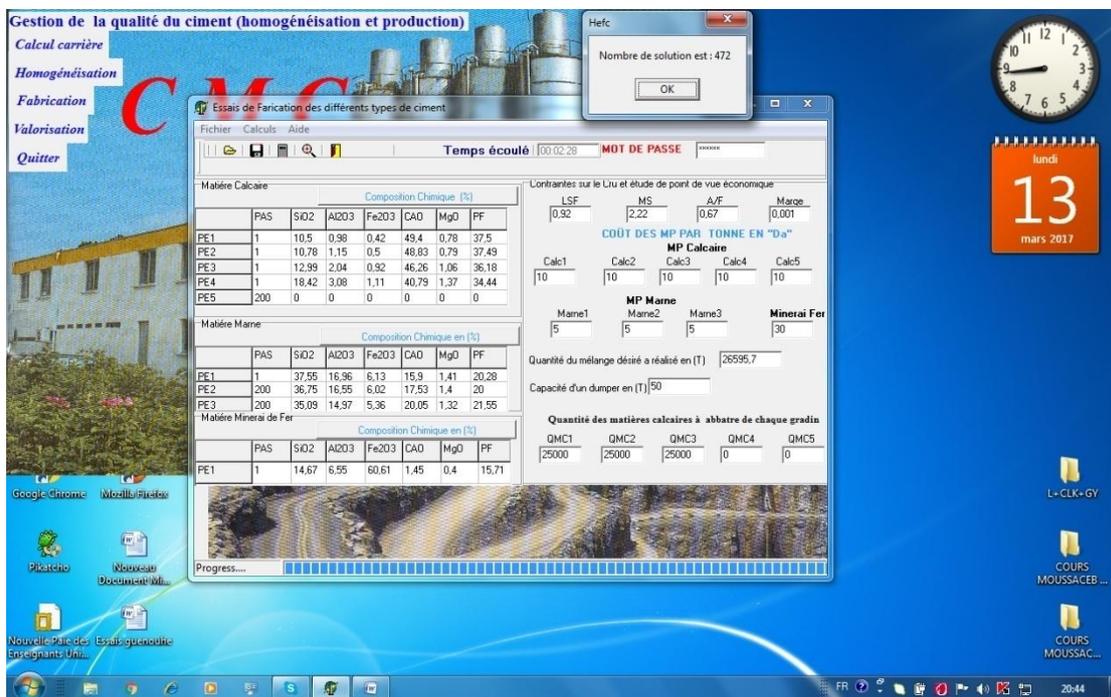
A partir du logiciel global, par un simple clic sur le bouton « fabrication », on accède à l'interface de logiciel de fabrication de clinker. Cette dernière est constituée de plusieurs tableaux qui permet l'introduction de toutes les informations sur le clinker désiré, et facilite la communication entre le logiciel et l'opérateur.

## Etape 2

On introduit toutes les informations nécessaires à la fabrication d'un clinker désiré. L'interface illustrée en **figure.III.6** montre une organisation optimale dans l'introduction des informations dans logiciel. En premier temps, on introduit la composition chimique de toutes les matières premières utilisées et les contraintes technologiques sur le cru ; dans un second temps, on choisit le type de clinker à fabriquer, dans notre cas c'est le clinker pétrolier, puis on injecte les contraintes technologiques de ce dernier (composition minéralogiques...etc) dans le logiciel.

## Etape 3 :

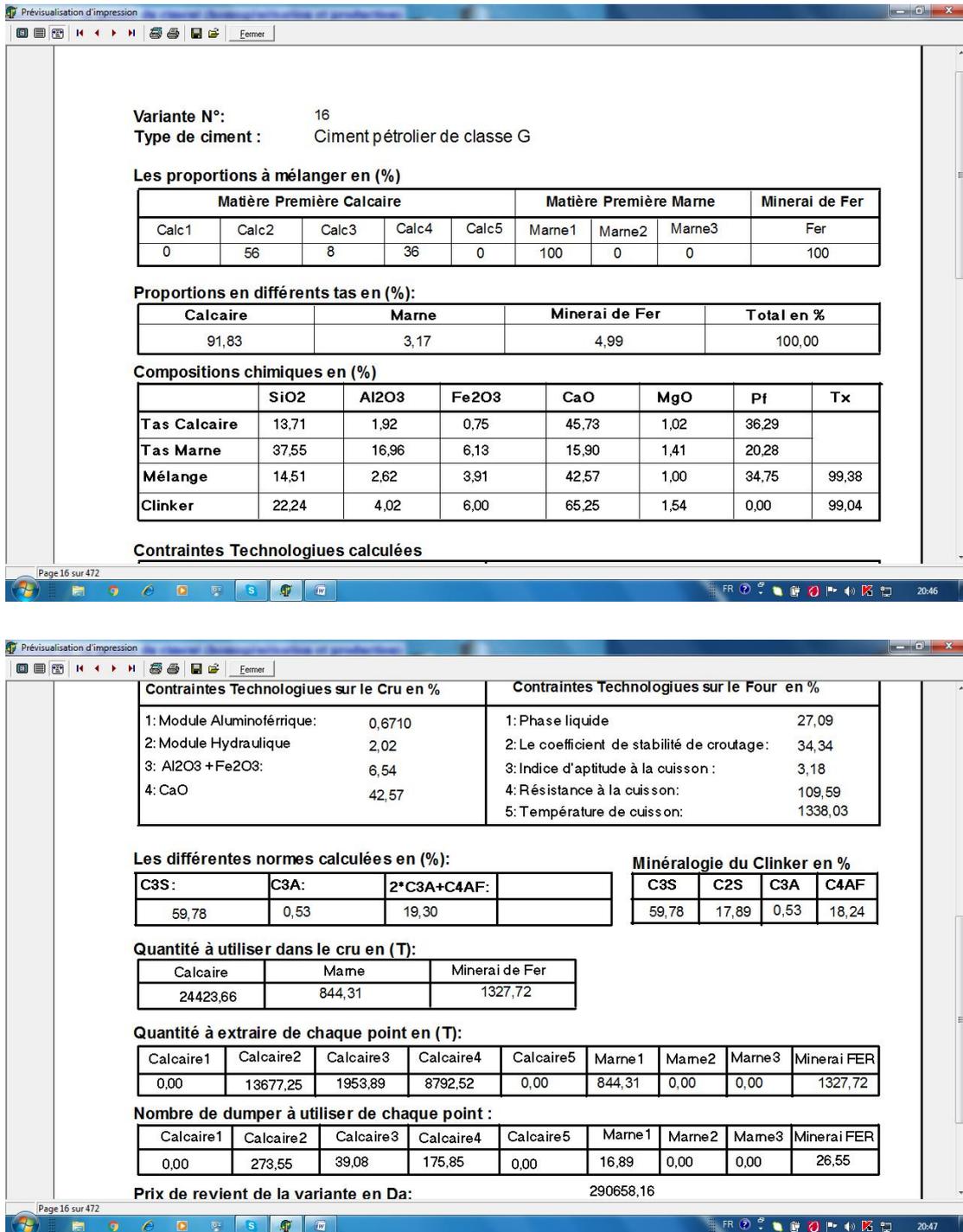
À l'aide du bouton « process » on exécute le logiciel, sans évolution est contrôlée par une barre de progression situées en bas de l'interface. Une fois l'exécution achevée, le logiciel affiche le nombre total de variantes (solutions) trouvées pour le cas étudié sur une petite interface.



**Figure III.6** : Interface d'introduction des informations concernant le clinker d'un ciment pétrolier [19].

**Etape 4**

Une fois que l'exécution est terminée, à l'aide d'un bouton « visualisation » on visualise toutes les variantes données comme solutions au problème posé. On affiche tous les résultats souhaités sur une interface qui est illustrée en **figure III.7**

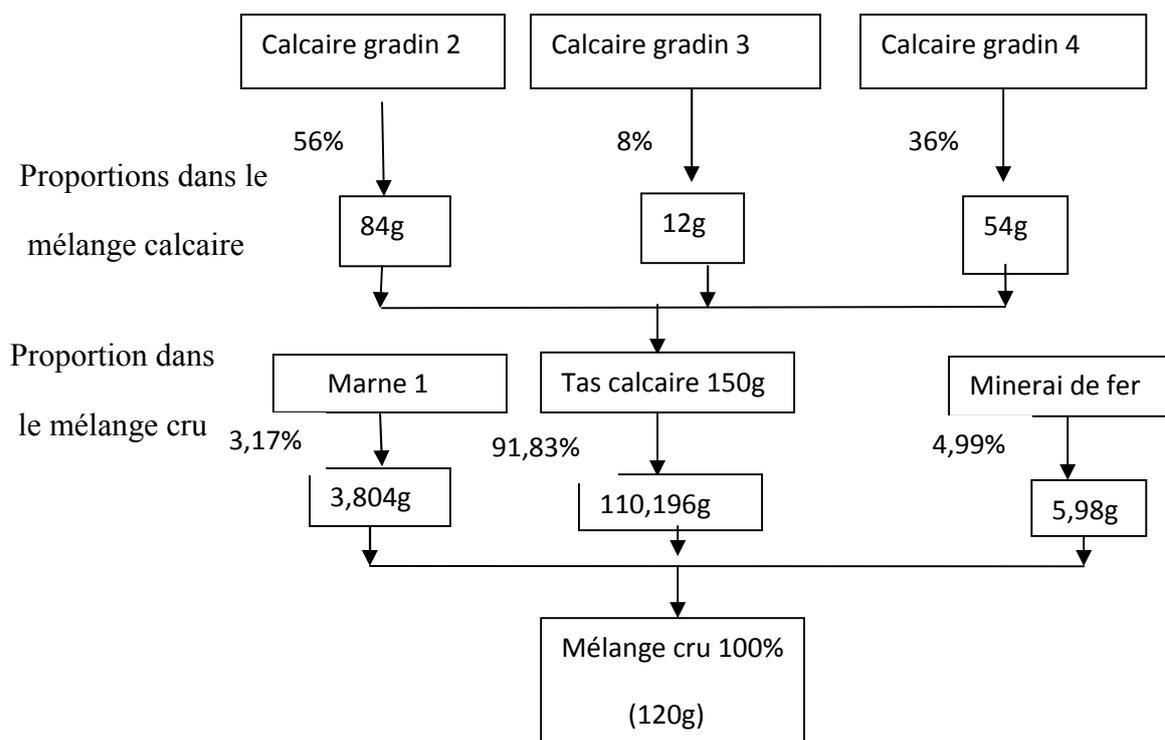


**Figure III.7 :** Interface d'affichage des solutions trouvées [19].

### III.3 PREPARATION DE CRU ET DE CLINKER PÉTROLIER

Pour la préparation du cru nécessaire pour la fabrication du clinker pétrolier, notre choix est porté sur deux variantes donné par le logiciel de fabrication, la première variante est obtenue selon le schéma de mélange donné en **figure III.8** :

#### III.3.1. Fabrication de cru pétrolier



**Figure III.8** : Schéma de mélange des matières premières à ciment.

L'exécution du logiciel a donné plusieurs variantes du mélange pour les modules LSF= 0,92, MS=2,22 et A/F= 0,67. Notre choix est porté sur deux variantes, la première variante donnant les paramètres et compositions représentés dans le **tableau III.8**.

**Tableau III.8** : Résultats donnés par le logiciel.

Les proportions à mélanger (%)					
Calcaire		marne		Minerai de fer	
91,83		3,17		4,99	
Proportion des différents calcaires dans le mélange calcaire (%)					
Calcaire 2		Calcaire 3		Calcaire 4	
56		8		36	
Composition chimique de mélange calcaire (%)					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	PAF

13,71	1,92	0,75	45,73	1,02	
<b>Composition chimique du cru (%)</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>PAF</b>
14,51	2,62	3,91	42,57	1,00	34,75
<b>Composition chimique du mélange après calcination (%)</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>	
22,24	4,02	6,00	65,25	1,54	
<b>Estimation minéralogique du mélange après calcination (%)</b>					
<b>C<sub>3</sub>S</b>	<b>C<sub>2</sub>S</b>	<b>C<sub>3</sub>A</b>	<b>C<sub>4</sub>AF</b>	<b>Phase liquide</b>	
59,76	17,89	0,53	18,24	27,09	

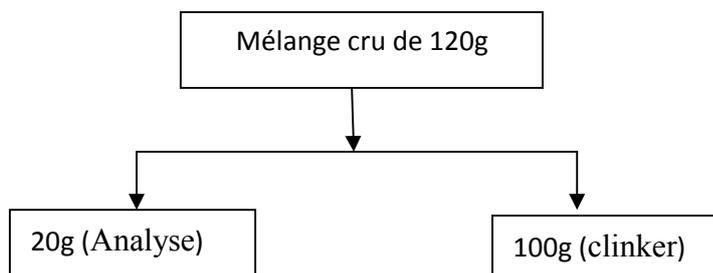
La confection du cru conformément aux données du logiciel, est réalisée de façon suivante :

On prépare 120g de mélange cru, à partir des matériaux issus des dernières opérations de quartage à 63 $\mu$ m. les matériaux sont ensuite quartés et broyés à un diamètre inférieur, jusqu'à la quantité désirée. Les quantités préparées **Figure III.9** seront ainsi représentatives pour tous les matériaux.

**Tableau III.9** : Préparation du cru conformément aux résultats du logiciel.

<b>Les quantités à mélanger (g)</b>			
<b>Calcaire</b>	<b>Marne</b>	<b>Minerai de fer</b>	<b>Total</b>
110,19	3,804	5,98	120
<b>Les masses des différents calcaires dans le mélange calcaire (g)</b>			
<b>Calcaire 2</b>	<b>Calcaire 3</b>	<b>Calcaire 4</b>	<b>Total</b>
84	12	54	150

Le cru préparé est soigneusement homogénéisé puis réparti en deux portions de 100g pour la clinkérisation et 20g pour l'analyse chimique et minéralogique **Figure III.9**.



**Figure III.9** : Schéma de répartition du mélange préparé.

### III.3.2. Caractérisation du cru pétrolier

#### III.3.2.1. Composition chimique

Les analyses chimiques par XRF fluorescence des rayons X sont déterminées sur le spectromètre ZETIUM, au niveau de laboratoire de la cimenterie de Ain El Kebira. La répartition des teneurs chimiques des échantillons du tas calcaire et du cru pétrolier est présentée dans le **tableau III.10** :

**Tableau III.10** : Composition chimique du tas calcaire et de cru.

composés	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF	total
Tas calcaire (%)	14,89	2,28	0,90	43,36	1,09	0,31	36,84	99,67
Cru (%)	14,77	2,73	3,98	42,12	1,04	0,31	34,70	99,65

Le calcul des modules LSF, MS, A/F, du cru pétrolier préparé, a donné les résultats présentés dans le **tableau III.11**.

**Tableau III.11** : Modules chimiques du cru.

Modules	LSF	MS	A/F
Valeurs	0,90	2,20	0,68

La composition chimique du cru préparé ainsi que les valeurs des modules **tableau III.12**, sont proches des valeurs théoriques prévues par le logiciel. La comparaison des résultats pratiques de la formation du cru avec les prévisions du logiciel est assez significative (comparable). Il est à remarquer un léger écart qui est du probablement aux problèmes liés à la préparation mécanique des échantillons.

**Tableau III.12** : Comparaison de la composition chimique du cru, tas calcaire et modules.

Mélange cru (%)								
Résultats	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF	Total
<b>Théorique</b>	14,51	2,62	3,91	42,57	1,00	/	34,75	99,38
<b>Pratique</b>	14,77	2,73	3,98	42,12	1,04	0,31	34,70	
Modules								
				LSF	MS	A/F		
<b>Théorique</b>				0,92	2,22	0,67		
<b>Pratique</b>				0,90	2,20	0,68		
Tas calcaire en (%)								
Résultats	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF	Total
<b>Théorique</b>	13,71	1,92	0,75	45,73	1,02	/	36,29	99,42
<b>Pratique</b>	14,89	2,28	0,90	43,36	1,09	0,31	36,84	99,67

### III.3.3. Fabrication de clinker

Selon la **figure III.9** une partie de cru est destinée à la fabrication du clinker. Le mode opératoire porte sur un traitement isothermique du mélange cru préalablement calciner, à 1450°C pendant 30 minutes, au laboratoire technologie des matériaux et de génie des procédés université A/MIRA-Bejaia.

Il nécessaire de déterminer la perte au feu du clinker avant l'analyse chimique par spectre de fluorescence des rayons X qui ce fait de manière suivante:

On mit 1g de clinker dans le four à 1050°C pendant 30 min.

$$Pf = [(P_0 - P_1)/P_{ech}] * 100 = [(18,0571 - 18,0413)/1] * 100$$

$$Pf = 0,58\%$$

L'analyse chimique du clinker à donné les résultats présentés dans le tableau III.12.

**Tableau III.13** : Analyse chimique et minéralogique du clinker.

Analyse chimique										
Composants	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl-	PAF
<b>Teneur</b>	20,01	7,77	6,37	63,39	1,69	0,09	0,02	0,09	0,001	0,58
Analyse minéralogique potentielle de BOUGUE:										
Phase	C <sub>3</sub> S		C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF		Phase liquide			
<b>Teneur</b>	44,56		23,77	9,79	19,36		39,33			

### III.3.4. Caractérisation du clinker pétrolier

#### III.3.4.1. Composition chimique

L'analyse chimique du clinker obtenue est un peu loin de celle prévue par logiciel par la totalité des composés analysés **Tableau III.14** et **Tableau III.15**.

**Tableau III.14** : Comparaison de la composition chimique du clinker.

Composition chimique								
composants	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF	Total
<b>Théorique</b>	22,24	4,02	6,00	65,25	1,54	/	00	99,04
<b>pratique</b>	20,01	7,77	6,37	63,39	1,69	0,09	0,58	99,9

**Tableau III.15** : Comparaison de la composition minéralogique.

La composition minéralogique en (%)					
	C3S	C2S	C3A	C4AF	Phase liquide
<b>Pratique</b>	44,56	23,77	9,79	19,36	39,33
<b>théorique</b>	59,78	17,89	0,53	18,24	27,09

Cette différence entre les résultats pratique et les résultats théorique peut être au à :

- ✓ mauvaise homogénéisation au niveau du cru.
- ✓ Mauvaise cuisson.
- ✓ Absence des conditions de cuisson (la trempe, le four rotatif et cylindrique).

#### III.3.5. Analyse minéralogique par diffraction des rayons X(DRX)

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X au niveau de laboratoire de science exacte et des matières à l'université de MOUHAMAD Mantouri Constantine, a montré la présence de quatre phases minéralogiques, du clinker pétrolier à savoir : les silicates tricalciques, les silicates bicalciques, les aluminoferrites tetracalciques et les aluminates tricalciques comme le montre la **figure III.10** :

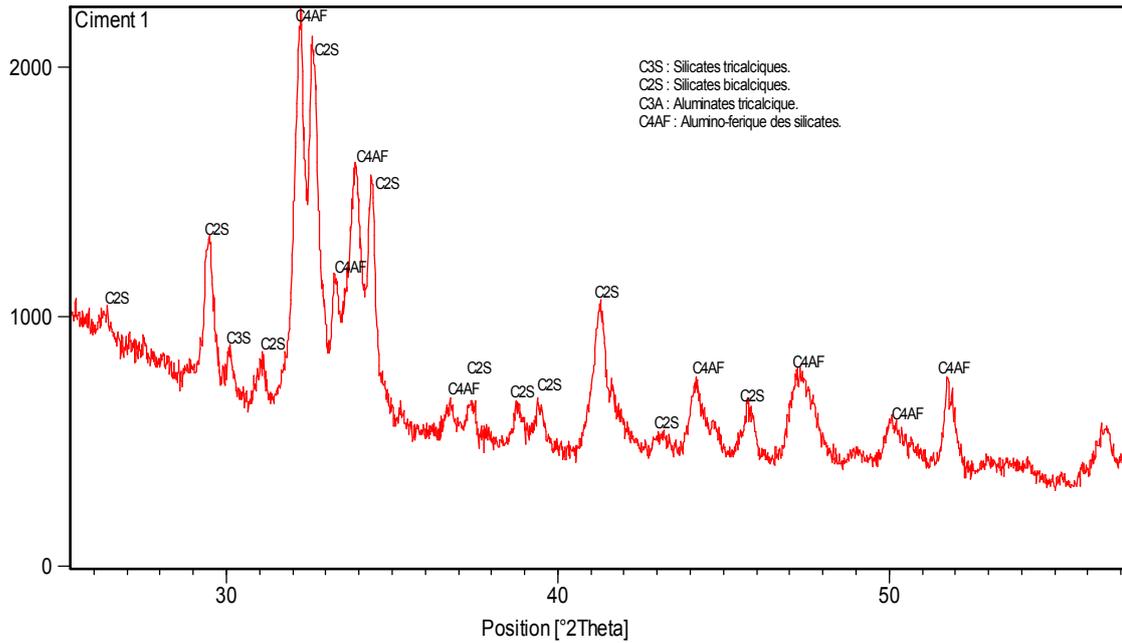


Figure III.10 : Diffraction des rayons X du clinker pétrolier de class G.

Les mêmes étapes suivies pour simulation sur le logiciel de gestion de qualités des ciments pour obtenir des solutions de fabrication de crue.

**Gestion de la qualité du ciment (homogénéisation et production)**

Calcul carrière  
Homogénéisation  
Fabrication  
Valorisation  
Quitter

**Essais de Fabrication des différents types de ciment**

Fichier Calculs Aide

Temps écoulé: 00:01:55 MOT DE PASSE: \*\*\*\*\*

**Matière Calcaire**

Composition Chimique (%)							
	PAS	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	PF
PE1	1	10,5	0,99	0,42	49,4	0,78	37,5
PE2	1	10,78	1,15	0,5	48,83	0,79	37,49
PE3	1	12,99	2,04	0,92	46,26	1,06	36,18
PE4	1	18,42	3,08	1,11	40,79	1,37	34,44
PE5	200	0	0	0	0	0	0

**Matière Marse**

Composition Chimique en (%)							
	PAS	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	PF
PE1	200	37,55	16,96	6,13	15,9	1,41	20,28
PE2	200	36,75	16,55	6,02	17,53	1,4	20
PE3	1	35,09	14,97	5,36	20,05	1,32	21,55

**Matière Minérale de Fer**

Composition Chimique en (%)							
	PAS	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	PF
PE1	1	14,67	6,55	60,61	1,45	0,4	15,71

Contraintes sur le Liu et étude de point de vue économique

LSF	MS	A/F	Marge
0,92	2,22	0,67	0,001

**COÛT DES MP PAR TONNE EN "Da"**

MP Calcaire				
Calc1	Calc2	Calc3	Calc4	Calc5
10	10	10	10	10

**MP Minerai**

Marne1	Marne2	Marne3	Minerai Fer
5	5	5	30

Quantité du mélange désiré ou réalisé en (T) : 26595,7

Capacité d'un dumper en (T) : 50

**Quantité des matières calcaires à abattre de chaque gradin**

QMC1	QMC2	QMC3	QMC4	QMC5
25000	25000	25000	0	0

**Choix des Normes**

Ciment pétrolier de classe G

Normes:

C3S Min: 48

C3S Max: 65

C3A: 3

C4AF+2C3A: 24

Valider

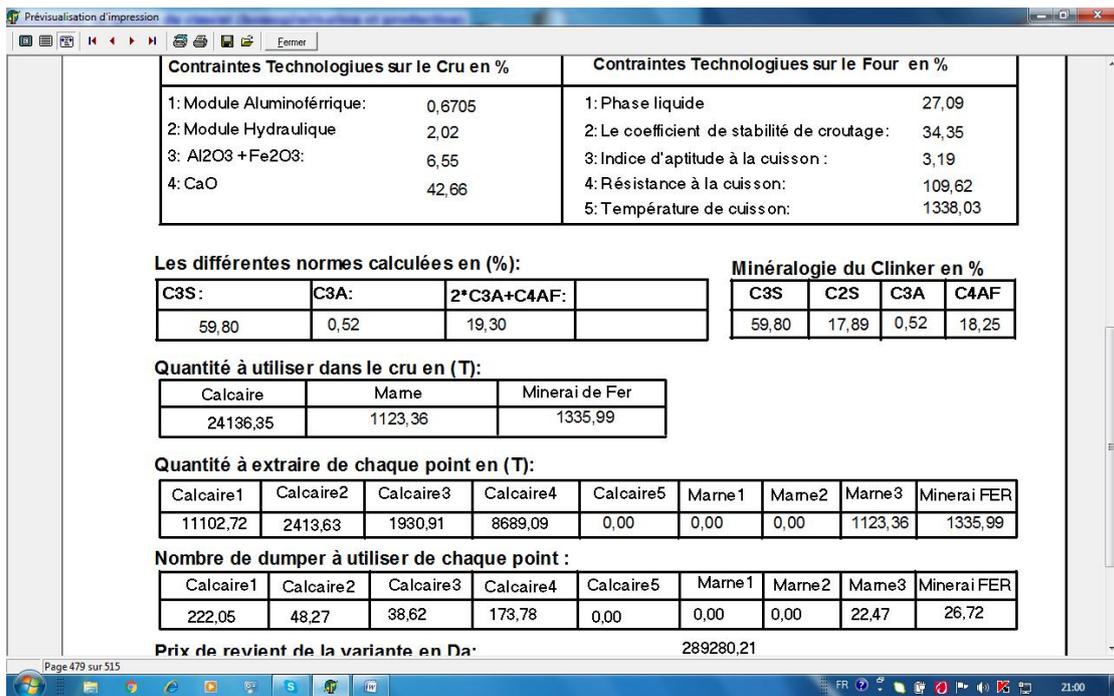
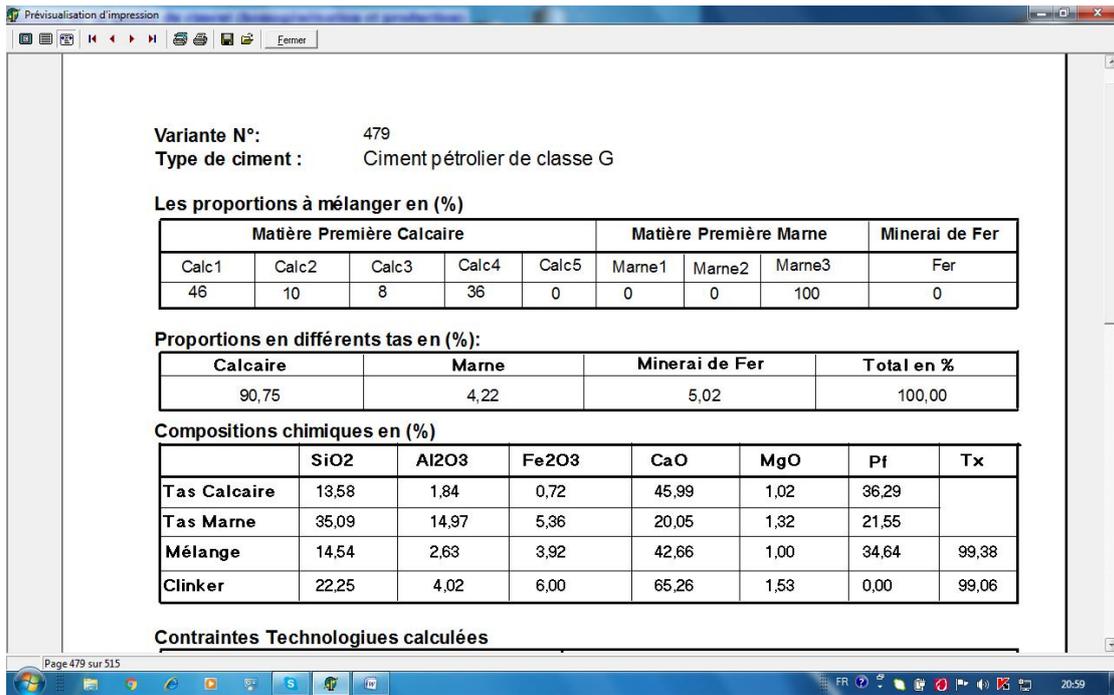


Figure III.11 : Processus de simulation par logiciel [19].

### III.4. PRÉPARATION DE CRU ET DE CLINKER PÉTROLIER

#### III.4.1. Préparation de cru

Le cru nécessaire pour la fabrication de clinker pétrolier, conformément aux résultats de la deuxième variante du logiciel, est obtenu selon le schéma de mélange donné en figure III.12:

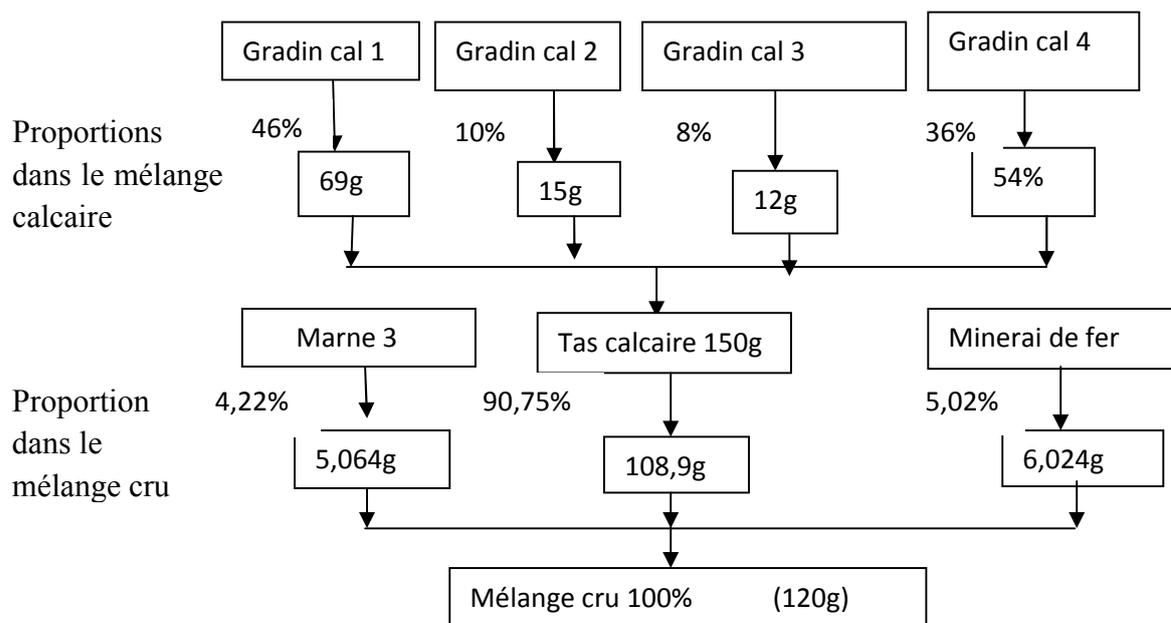


Figure III.12: Schéma de mélange des matières premières à ciment.

La 2<sup>ème</sup> variante donnant les paramètres et compositions représentés dans le tableau III.16.

Tableau III.16 : Résultats donnés par le logiciel.

Les proportions à mélanger en (%)					
Calcaire	Marne pétrolier		Minerai de fer		
90,75	4,22		5,02		
Proportion des différents calcaires dans le mélange calcaire en (%)					
Calcaire gradin 1	Calcaire gradin 2	Calcaire gradin 3	Calcaire gradin 4		
46	10	8	36		
Composition chimique du mélange calcaire en (%)					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	PAF
13,58	1,84	0,72	45,99	1,02	36,29
Composition chimique du cru en (%)					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	PAF
14,54	2,63	3,92	42,66	1,00	34,64
Composition chimique du mélange après la calcination (%)					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	PAF
22,25	4,02	6,00	65,26	1,53	00

<b>Estimation minéralogique du mélange après la calcination (%)</b>				
<b>C<sub>3</sub>S</b>	<b>C<sub>2</sub>S</b>	<b>C<sub>3</sub>A</b>	<b>C<sub>4</sub>AF</b>	<b>Phase liquide</b>
59,80	17,89	0,52	16,25	27,09

La préparation du cru pour le deuxième mélange à partir des résultats du logiciel est réalisée de la même manière que celle du cru de premier mélange. Les masses utilisées pour préparer un cru pétrolier de 120g sont portées dans le **tableau III.17**:

**Tableau III.17:** Préparation du cru pétrolier.

<b>Les quantités à mélanger (g)</b>				
<b>Calcaire</b>	<b>Marne pétrolier</b>		<b>Minerai de fer</b>	<b>Total</b>
108,9	5,064		6,024	120
<b>Les masses des différents calcaires dans le tas (g)</b>				
<b>Cal Gradin 1</b>	<b>Cal Gradin 2</b>	<b>Cal Gradin 3</b>	<b>Cal Gradin 4</b>	<b>Total</b>
69	15	12	54	150

Le cru préparé est traité de la même façon que précédemment (cru premier mélange).

### III.4.2. Caractérisation du cru pétrolier

#### III.4.2.1. Composition chimique

L'analyse chimique du mélange calcaire et du cru préparé, a été effectuée au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de la cimenterie Ain El Kbira à l'aide d'un spectre de fluorescence des rayons X de type ZETUIM. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau III.18**:

**Tableau III.18 :** Composition chimique du tas calcaire et du cru.

<b>Composé</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>Mg</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>Cl-</b>	<b>PAF</b>
<b>Tas calcaire (%)</b>	11,02	1,14	0,50	48,22	0,85	0,27	0,086	0,102	0,001	37,82
<b>Cru (%)</b>	14,32	2,48	3,69	42,84	1,00	0,30	0,183	0,139	0,001	35,05

On remarque que la composition chimique du mélange calcaire analysé est très proche de la composition donnée par logiciel. En ce qui concerne le cru, on remarque que les résultats de la composition chimique coïncident à un degré très important.

Le calcul des modules LSF, MS et A/F du cru préparé, a donné les résultats présentés dans le **tableau III.19**.

**Tableau III.19** : Modules du cru pétrolier.

Modules	LSF	MS	A/F
valeurs	0,93	2,32	0,67

La comparaison chimique du cru et de tas calcaire préparés ainsi que les valeurs des modules **tableau III.20**, sont proches des valeurs théoriques prévues par le logiciel. La comparaison des résultats pratiques et théoriques est assez représentative il ressort l'intérêt accordé à la préparation de échantillons et leur représentativités.

**Tableau III.20**: Comparaison des résultats théoriques et pratiques.

Mélange cru (%)								
composants	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF	Total
<b>Théorique</b>	14,54	2,63	3,92	42,66	1,00	//	34,64	99,39
<b>pratique</b>	14,32	2,48	3,69	42,84	1,00	0,30	35,02	99,65
Modules								
	LSF		MS		A/F			
<b>Théorique</b>	<b>0,92</b>		<b>2,21</b>		<b>0,67</b>			
<b>Pratique</b>	<b>0,93</b>		<b>2,32</b>		<b>0,67</b>			
Tas calcaire (%)								
Composants	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF	Total
<b>Théorique</b>	13,58	1,84	0,72	45,99	1,02	//	36,29	99,44
<b>Pratique</b>	11,02	1,14	0,50	48,22	0,85	0,27	37,82	92,82

### III.4.3. Fabrication de clinker

Une partie du cru pour le deuxième mélange est utilisée pour la fabrication du clinker suivant le même mode d'emploi utilisé précédemment.

Détermination de la perte au feu du clinker

Ce fait de même manière que le premier clinker

$$Pf = [(18,0756 - 18,0679)/1] * 100$$

$$Pf = 0,77\%$$

L'analyse chimique et la composition minéralogique potentielle du clinker ont donné les résultats présentés dans le **tableau III.21** :

**Tableau III.21** : Analyse chimique et minéralogique du clinker pétrolier.

Analyse chimique										
Composants	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl-	PAF
Teneur	21,02	4,02	6,63	64,20	1,68	0,1	0,00	0,08	0,00	0,77
Analyse minéralogique potentielle de BOGUE:										
Phase	C <sub>3</sub> S		C <sub>2</sub> S	C <sub>2</sub> F+C <sub>4</sub> AF		C <sub>4</sub> AF	Phase liquide			
Teneur	64,49		11,70	19,72		19,17	28,65			

### III.4.4. Caractérisation du produit clinker

#### III.4.4.1. Composition chimique

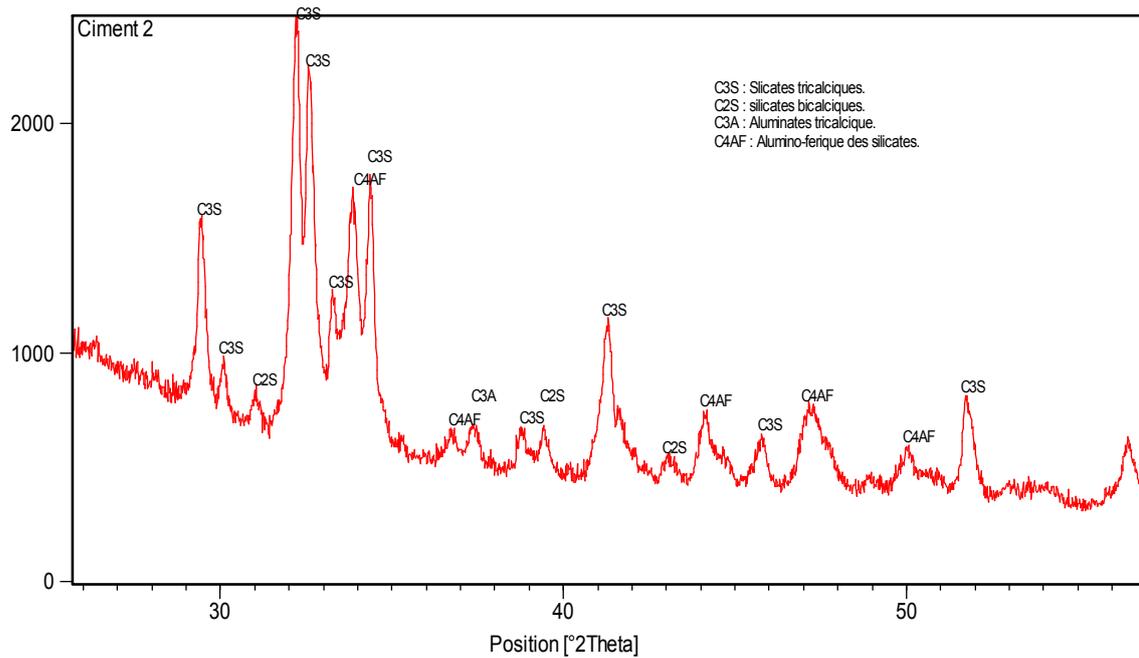
La composition chimique du clinker est proche à celle de la composition chimique du clinker donné par logiciel **Figure III.22**.

**Tableau III.22** : Comparaison des résultats théoriques et pratiques.

Composition chimique								
composants	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	PAF	Total
<b>Théorique</b>	22,25	4,02	6,00	65,26	1,53	/	00	99,06
<b>pratique</b>	21,02	4,02	6,63	64,20	1,68	0,1	0,77	98,42
La composition minéralogique en (%)								
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>2</sub> F + C <sub>4</sub> AF		C <sub>4</sub> AF	Phase Liquide		
<b>Pratique</b>	64,49	11,70	19,72		19,17	28,65		
<b>théorique</b>	59,80	17,89	19,30		18,25	27,09		

#### III.4.5. Analyse minéralogique par diffraction des rayons X(DRX)

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X de deuxième variante a montré la présence de quatre phases minéralogiques, du clinker pétrolier à savoir : les silicates tricalciques, les silicates bicalciques, les aluminoferrites tetracalciques et l'aluminates tricalcique comme le montre la figure III.13 :



**Figure III.13** : Diffraction des rayons X du clinker pétrolier de class G.

### Conclusion

Selon les résultats obtenues par l'analyse de fluorescence X et par spectre de diffraction des rayons X sur le clinker et par comparaison de ces résultats avec les résultats donné par le logiciel d'homogénéisation et production de ciment ainsi que par comparaison avec les condition de Norme dans l'étude bibliographique. [API]

On conclue que le clinker fabriqué répond aux normes d'un ciment pétrolier classe G, qui est de type à moyenne résistance aux sulfates (MSR).

## CONCLUSION GENERALE

Le ciment joue un rôle primordial dans l'économie des pays par son intérêt dans la construction et la demande mondiale en cette matière qui ne cesse d'augmenter. Le ciment pétrolier est largement sollicité en Algérie. L'objectif de ce travail est la mise en œuvre d'un ciment pétrolier de classe G à partir des matières premières disponibles au niveau de la cimenterie d'Ain El Kebira à savoir le calcaire, la marne et le minerai de fer.

- ✓ Les matières premières ont été extraites de différents gradins et ont subi une série de traitement en vue d'assurer une meilleure représentativité des échantillons.
- ✓ Les analyses chimiques réalisées ont montré que la composition chimique des matières premières utilisées par la cimenterie Ain El Kebira hétérogène (différent d'un cru à l'autre) et Le calcaire a une teneur de CaO pouvant atteindre 50%.
- ✓ Le calcul des différents indices de qualité des matières premières montre que ces derniers à savoir : L.S.F, M.S, et A/F sont variables.
- ✓ L'analyse chimique de premier clinker que nous avons fabriqué au niveau de laboratoire LTMGP est un clinker pétrolier de type ordinaire.
- ✓ L'analyse chimique de deuxième clinker est un clinker pétrolier de résistance modéré au sulfate.

Le clinker pétrolier est donc composé de trois phases principales dont l'alite ou  $C_3S$  (=48-65%), la bélite ou  $C_2S$  (= 15-30%), l'aluminate tricalcique ou  $C_3A$  (max 3%) et  $(C_4AF + 2(C_3A))$  (max 24%), l'étude bibliographique a montré que chacune de ces phase présentait de nombreuses variétés polymorphiques complexes en fonction de cycle thermique, mais aussi selon la nature et la teneur des impuretés ( apportées par les matières premières ou ajoutés dans le processus industriel jouant un rôle de stabilisateur de phase. Ainsi l'ensemble des réactions physico-chimique entrant dans la production du clinker explique la formidable complexité de ce matériau anhydre mais aussi celle de son hydratation.

Dans cette section de travail, nous avons réussi à fabriquer le clinker produit au niveau de la cimenterie Ain EL Kebira à savoir : le clinker pétrolier classe G de type à moyenne résistance aux sulfates (M.S.R).

## **PERSPECTIVES**

Un clinker d'un ciment pétrolier de classe G résistant aux sulfates se prépare donc comme n'importe quel type de clinker à condition bien entendu de respecter les limites indiquées par les normes. Il est donc intéressant de projeter sa fabrication au niveau de la cimenterie d'Ain El Kebira notamment, du fait qu'aucune cimenterie à l'échelle nationale ne le fabrique et la totalité de ce ciment utilisé au niveau des forages pétroliers du sud algérien sont importée. Par la suite faire une étude sur les caractéristiques de ciment pétrolier élaboré par la cimenterie d'Ain El Kebira

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] M. Robinson, D. Sarraute, « la fabrication du ciment », rapport, ciment calcialtalcementi Group, 2001.
- [2] K.BELLARBI, rapport technique de l'entreprise, société des ciments Ain El Kebira.
- [3] LAFARGE, S.A, «API well cement class "G" type HSR», cement produced according to standard, API SPEC 10 A, Oficinas Centrales: C/ Orense, 70 - 28020 Madrid 1997.
- [4] M. ADAM, « Guide pratique pour l'emploi des ciments », édition Eyrolles 1985.
- [5] S.ZEBIRI, rapport technique de la société des ciments d'Ain El Kebira, filiale du groupe E.R.C.E, « étude environnemental », 2000.
- [6] groupe GICA, rapport technique de l'entreprise, « Présentation de la S.C.Ain El Kébira », AFAQ, OHSAS 18001 30 avril 2013.
- [7] K.ZOUGHEM et W.CHENAFI, P.F.E « étude géotechnique de la stabilité des talus dans la carrière de Ain El Kebira (Sétif) », Université Ferhat Abbas-Sétif, 2006.
- [8] rapport UREG/ENDMC, 1985, « étude géologique complémentaire ».
- [9]Rapport CETIM, « rapport géologique actualisé du gisement de calcaire Djebel Medjounes Société des ciments de Ain El Kebira », 2012.
- [10] KLOKNER, « résultats des recherches géologiques réalisées sur Djebel Medjounes », 1975.
- [11] Rapport CETIM, « plan topographique actualiser du gisement calcaire djebel Medjounes », 2014.
- [12] C.GHISLAIN, A.JOSEPH, Docteur ingénieur de l'École des mines de Paris et ingénieur de l'École nationale des ponts et chaussées, Directeur délégué Routes, Cimbéton, Paris, Techniques DE l'Ingénieur l'expertise technique et scientifique de référence Ciments.
- [13] L. PLINSKIN, « la fabrication du ciment », 216, Paris, Eyrolles, 1993
- [14] L.S. VIVIERS, Matières premières pour cimenterie, édition ciment Lafarge diffusion, le tiel, p.13-17, France, Janvier 1972.

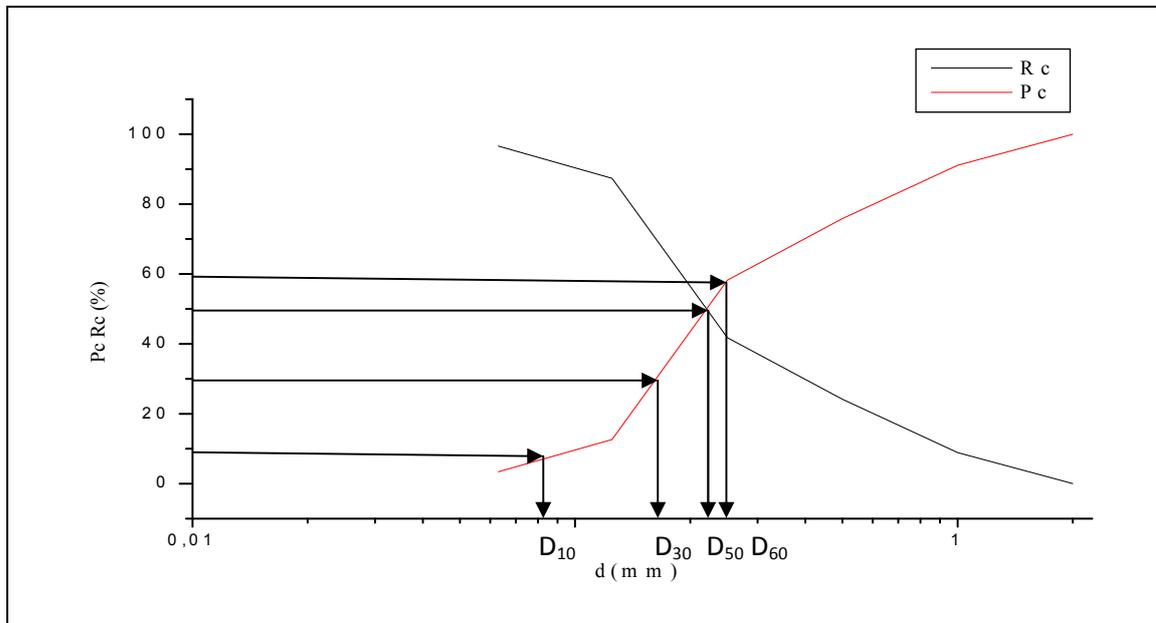
- [15] Y. BERTON and P. LE BERRE, guide de prospection des matériaux de carrières, collection annuels et méthodes N°5, édition BRGM et OPU, p.87-94, Alger, 1990.
- [16] fiches techniques, CIM béton, « construire avec les produits préfabriqués en béton » école française du béton, CERIB, Fédération de l'industrie du béton.
- [17] K. MOSSACEB, cours valorisation et gestion des rejets minières, 2017.
- [18] F.GHOMARI, fiche technique en science des matériaux de construction, université aboubekrbelkaid, faculté des sciences de l'ingénieur, département de génie civil.
- [19] K.MOUSSACEB, « Optimisation du système de gestion de l'homogénéisation du cru et du processus technologique de fabrication de ciment, Application le système carrière usine de fabrication, Application aux cimenteries Algériennes », thèse doctorat en génie des procédés, Université de Bejaia 2007.
- [20] S.A. MAGNESITA, Aide mémoire, Division, d'assistance technique, Barcelone, p. 1-2, Espagne 1993.
- [21] S. BEY cimenterie Hama Bouziane, Manuel sur la technologie du ciment, 2001.
- [22] CECORAMA, cour de cimenterie, « théorie et technologie », édition Edward Arnold, London, Thurd édition, p. 25-33, 1994.
- [23] L.S. VIVIERS, Matières premières pour cimenterie, édition ciment Lafarge diffusion, le tiel, p.13-17, France, Janvier 1972.

## ANNEXE

### ANNEXE

**Tableau III.2 :** Classement granulométriques par tamisage en vois sèche du calcaire, gradin 2.

Classement granulométrique (mm)	Masse (g)	Refus cumulés en (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulé (%)
>2	0	0	0	100
2	2,1	2,1	0,046	99,954
1	399,3	401,4	8,916	91,084
0,5	686	1087,4	24,146	75,854
0,25	793,7	1881,1	41,776	58,224
0,125	2052,1	3933,2	87,356	12,644
0,063	415,9	4349,1	96,58	3,414
<0,063	152,5	4501,6	99,966	0,034
$\Sigma$	4501,6	9003,2	/	/

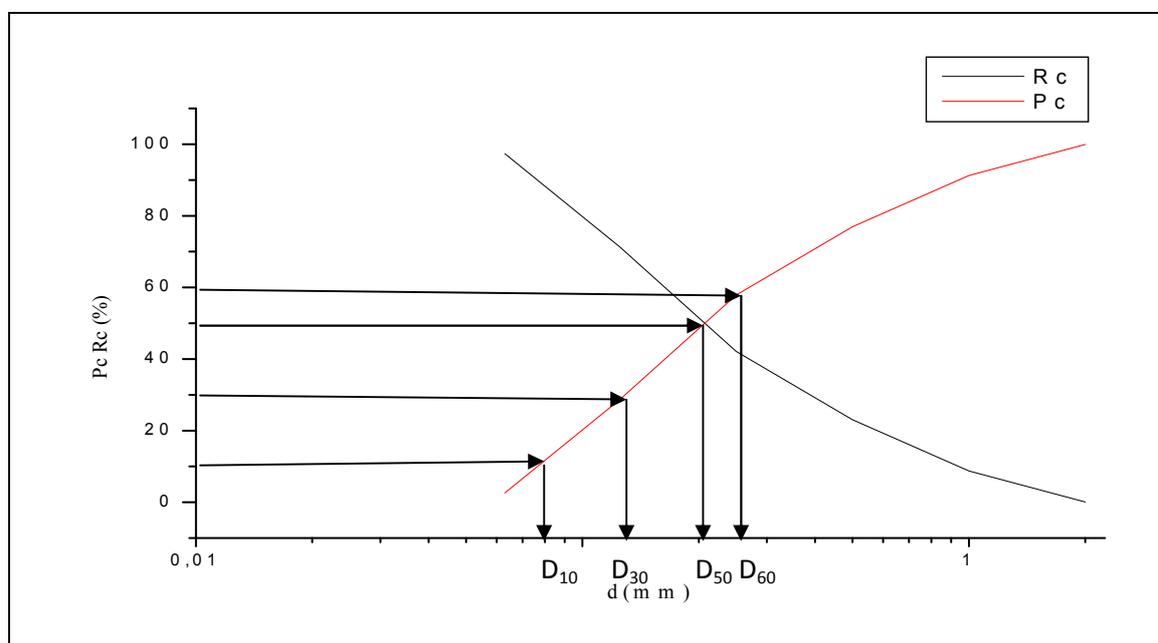


**Figure III.2.** Granulométrie par tamisage en vois sèche du calcaire (gradin 2).

## ANNEXE

**Tableau III. 3 :** Classement granulométriques par tamisage en vois sèche du calcaire, gradin 3.

Classement granulométrique (mm)	Masse (g)	Refus cumulés en (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulé (%)
>2	0	0	0	100
2	2,9	2,9	0,067	99,933
1	375,1	378	8,727	91,273
0,5	620,3	998,3	23,057	76,943
0,25	825,6	1823,9	42,127	57,873
0,125	1263,7	3087,6	71,317	28,683
0,063	1128,4	26,07	97,387	2,613
<0,063	112	4216	99,967	0,033
$\Sigma$	4328	/	/	/

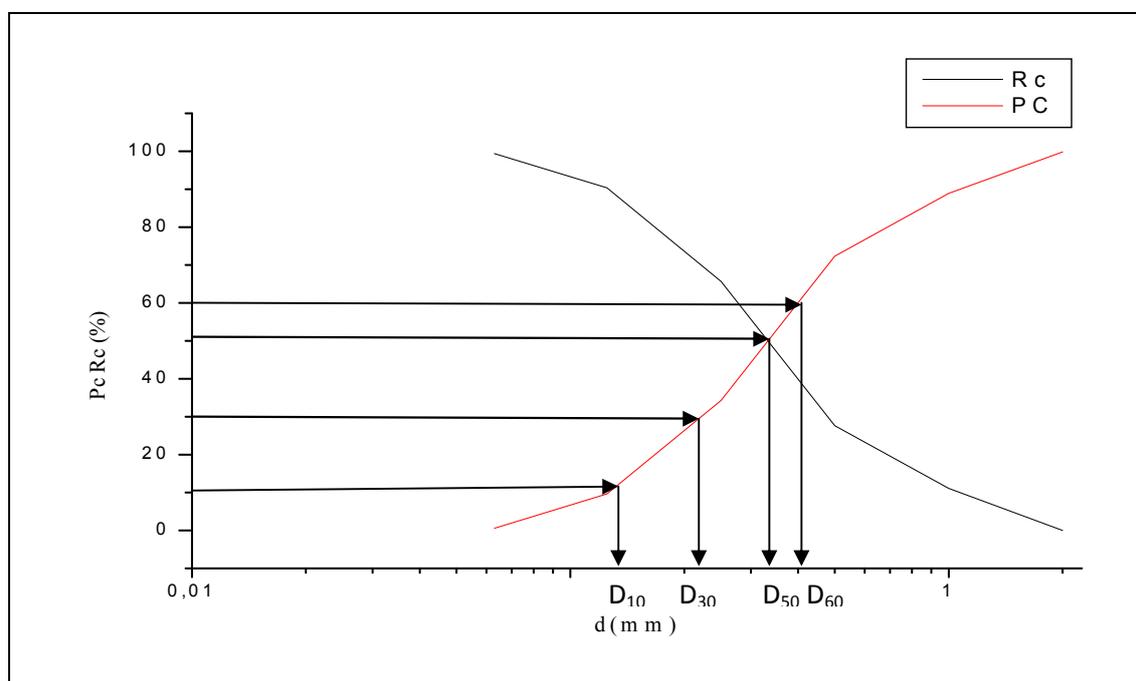


**Figure III.3 :** Granulométrie par tamisage en vois sèche du calcaire (gradin 3)

## ANNEXE

**Tableau III. 4 :** Classement granulométriques par tamisage en vois sèche du calcaire, gradin 4.

Classement granulométrique (mm)	Masse (g)	Refus cumulés en (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulé (%)
>2	0	0	0	100
2	6,2	6,2	0,017	99,83
1	396,8	403	11,084	88,916
0,5	602,1	1005,1	27,64	72,356
0,25	1384,1	2389,2	65,71	34,286
0,125	895,7	3284,9	90,351	9,649
0,063	329,3	3614,2	99,401	0,599
<0,063	21,3	3635,5	99,981	0,019
$\Sigma$	3635,5	/	/	/

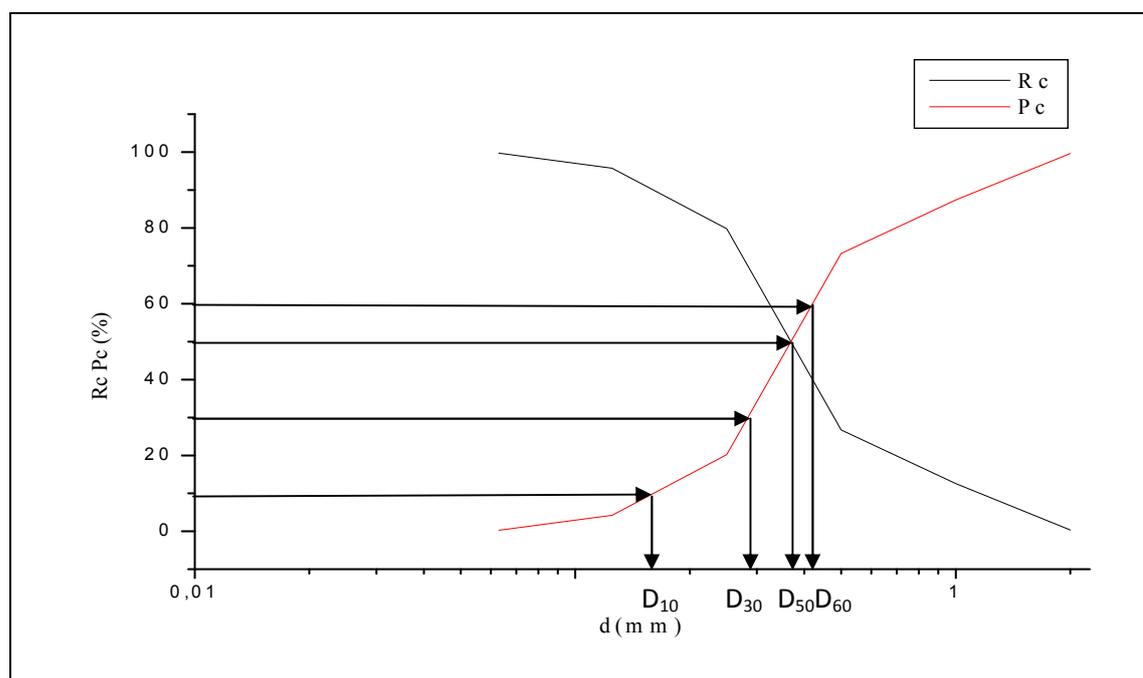


**Figure III.4 :** Granulométrie par tamisage en vois sèche du calcaire (gradin 4).

## ANNEXE

**Tableau III. 5 :** Classement granulométriques par tamisage en vois sèche de la marne, (tas 2).

Classement granulométrique (mm)	Masse (g)	Refus cumulés en (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulé (%)
>2	0	0	0	100
2	15,8	15,8	0,356	99,644
1	541,7	557,5	12,586	87,414
0,5	626,3	1183,8	26,726	73,274
0,25	2349,7	3533,5	79,776	20,224
0,125	708,4	4241,9	95,766	4,234
0,063	175,4	4417,3	99,726	0,274
<0,063	11,8	4429,1	99,986	0,014
$\Sigma$	4429,1	/	/	/

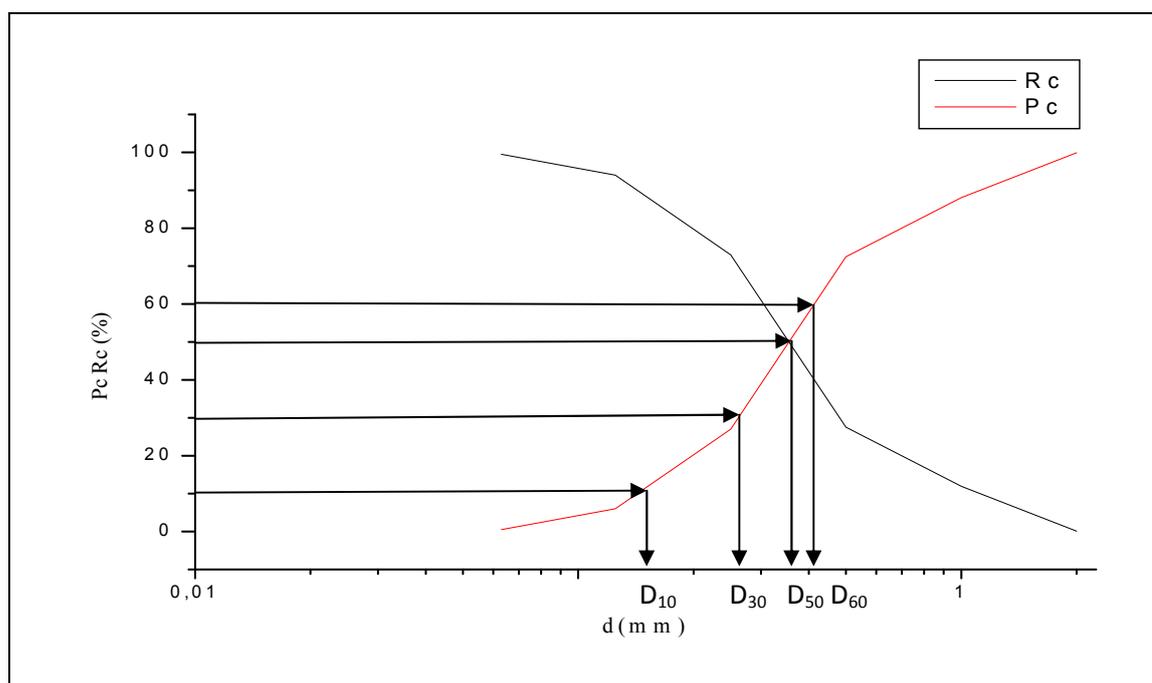


**Figure III.6 :** Granulométrie par tamisage en vois sèche de la marne (tas 2).

## ANNEXE

**Tableau III. 7.** Classement granulométriques par tamisage en vois sèche de la marne, (tas 3).

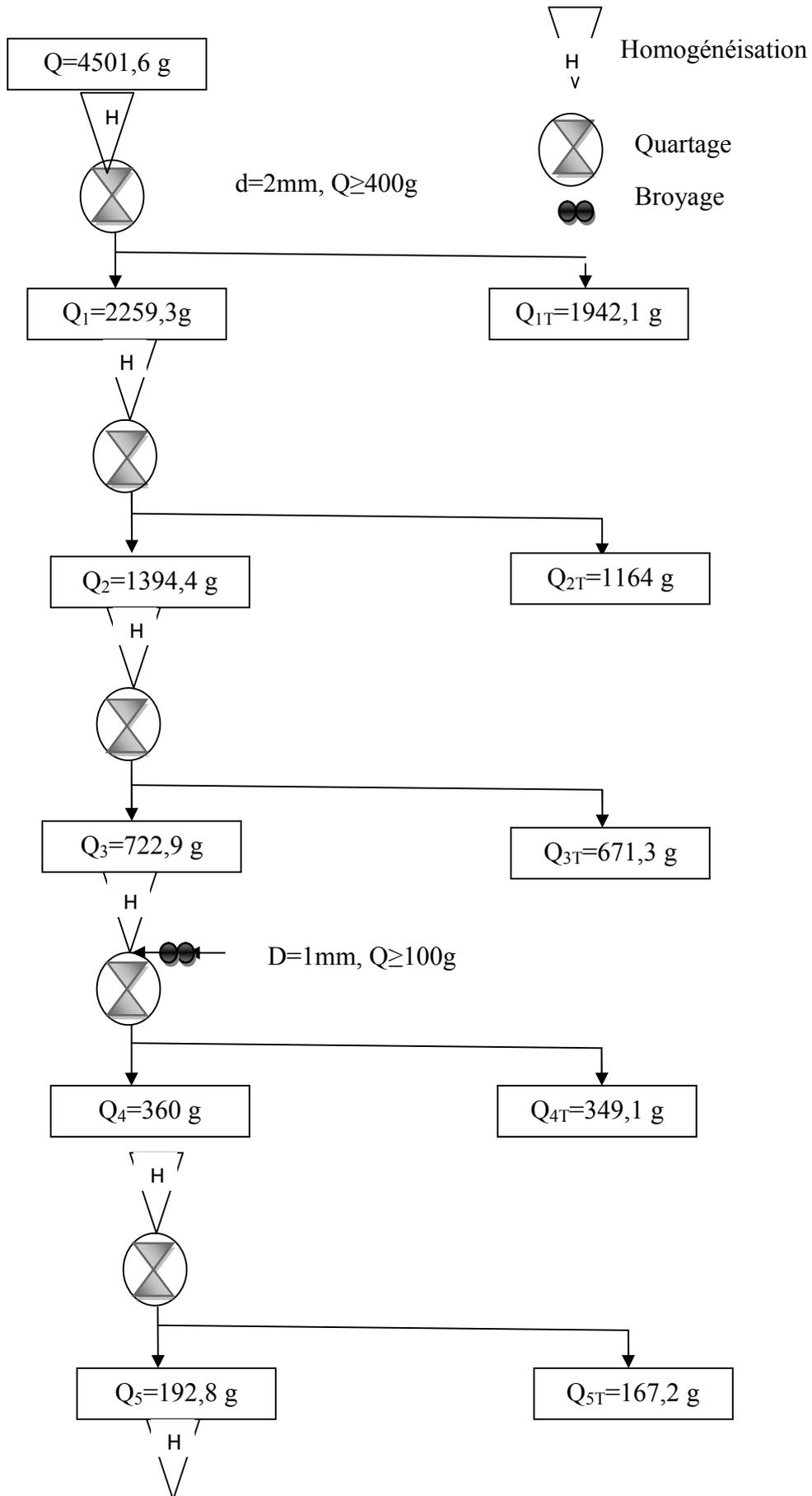
Classement granulométrique (mm)	Masse (g)	Refus cumulés en (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulé (%)
>2	0	0	0	100
2	3,8	3,8	0,096	99,904
1	468	471,8	11,946	88,054
0,5	616	1087,8	27,536	72,464
0,25	1795,6	2883,4	72,996	27,004
0,125	829,9	3713,3	94,006	5,994
0,063	216,7	3930	99,486	0,514
<0,063	19,2	3949,2	99,966	0,034
$\Sigma$	3949,2	/	/	/



**Figure III.7 :** Granulométrie par tamisage en vois sèche de la marne (tas 3).

# ANNEXE

## CALCAIRE II



# ANNEXE

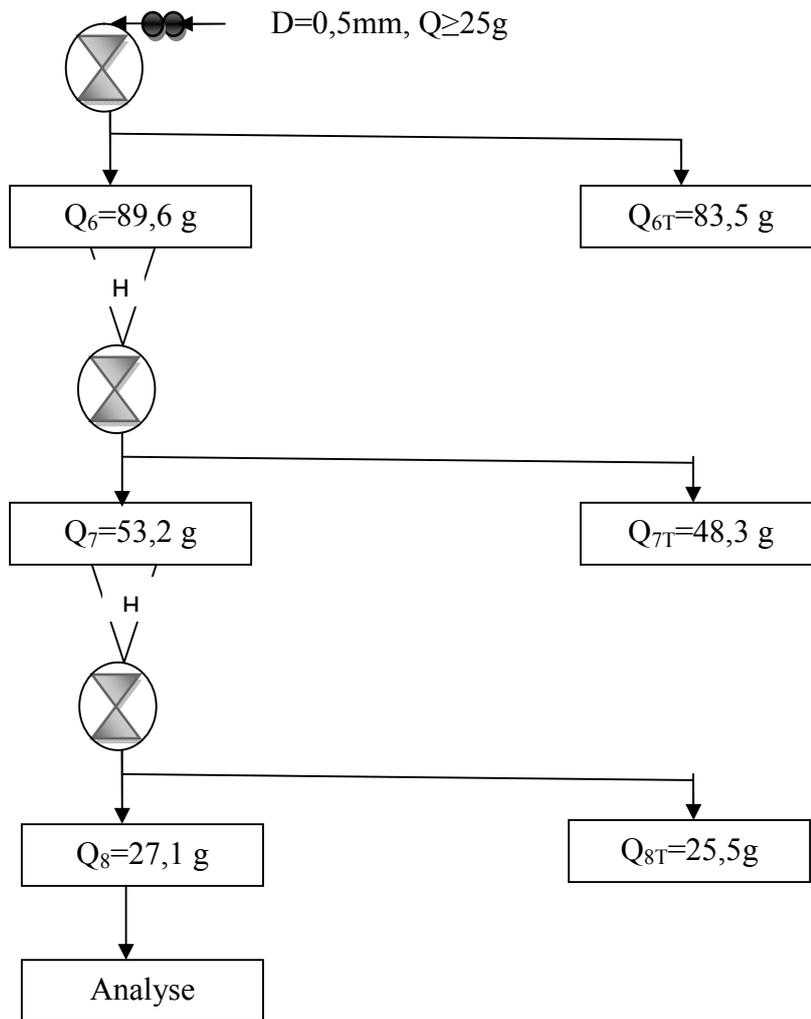
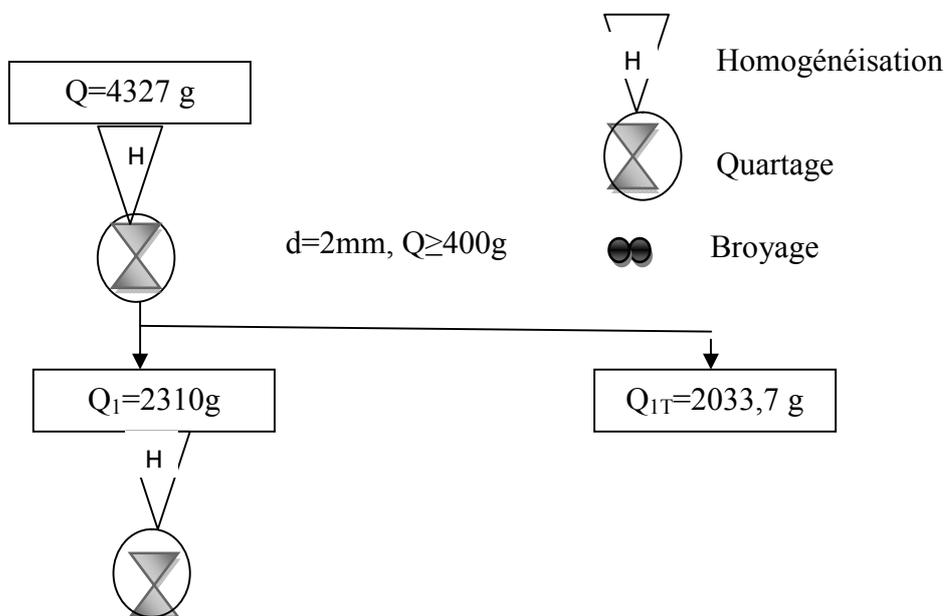
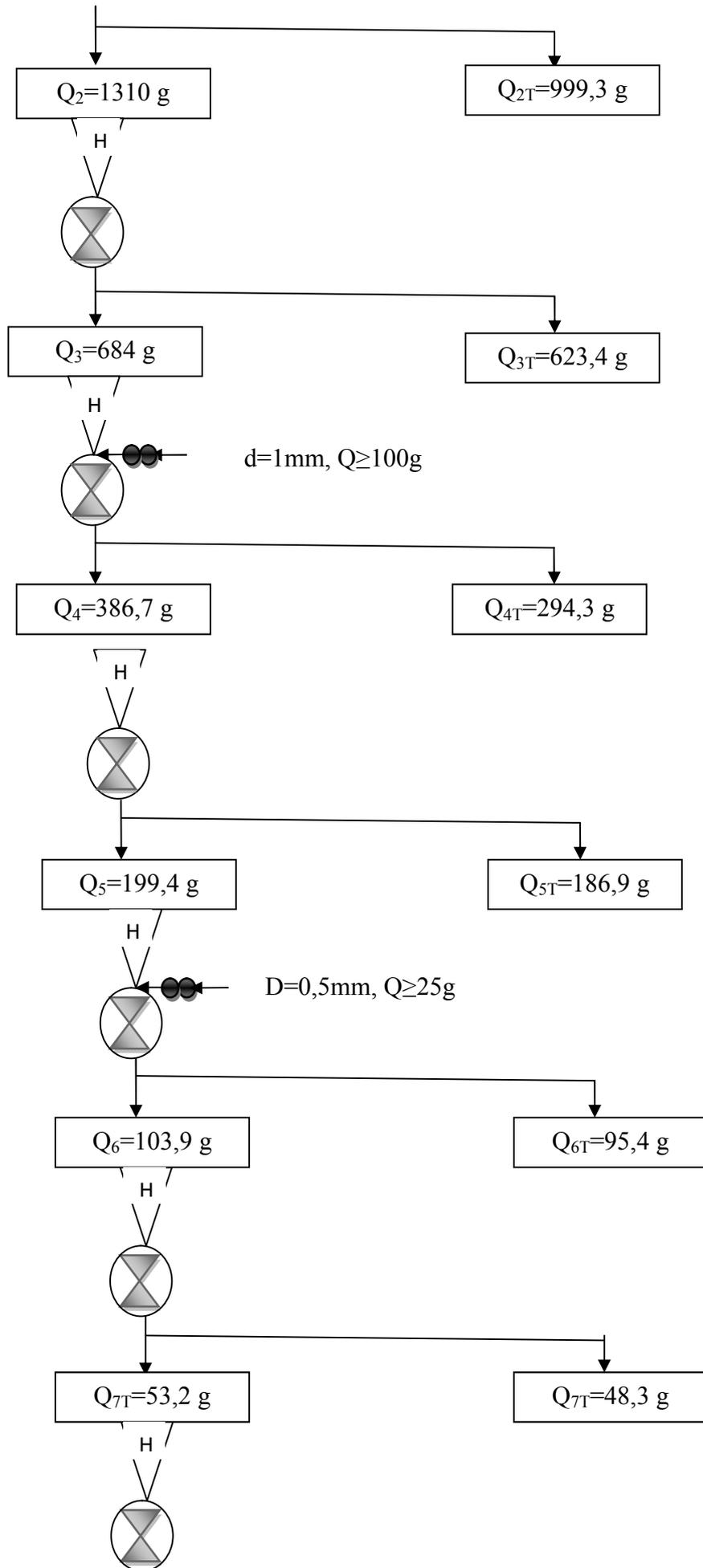


Diagramme de quartage pour l'échantillon calcaire II.

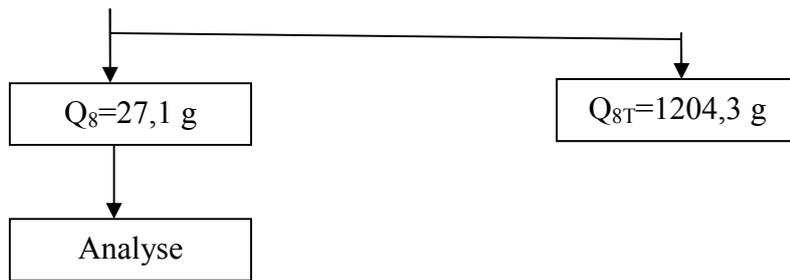
## CALCAIRE III



# ANNEXE

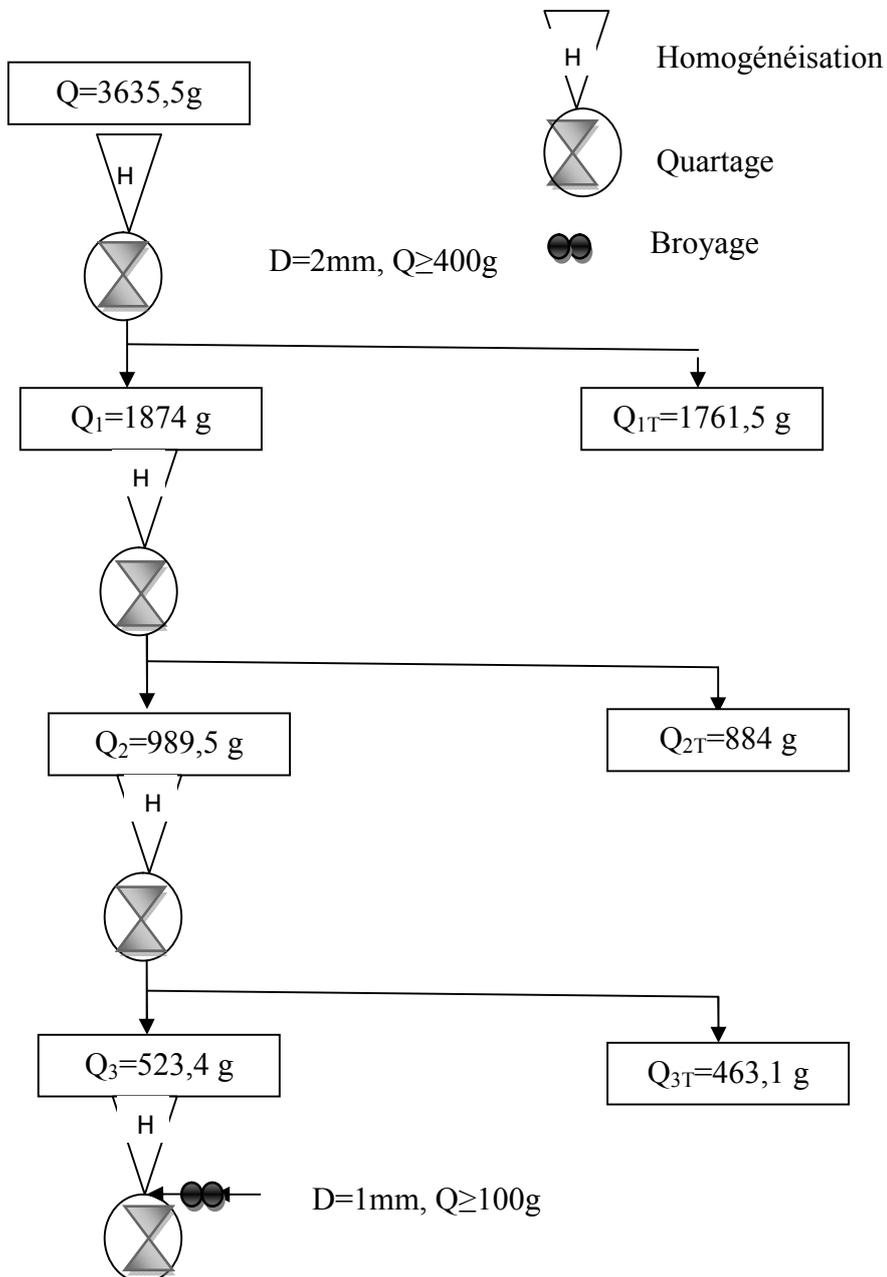


# ANNEXE



Digramme de quartage pour l'échantillon de calcaire III

## CALCAIRE III



# ANNEXE

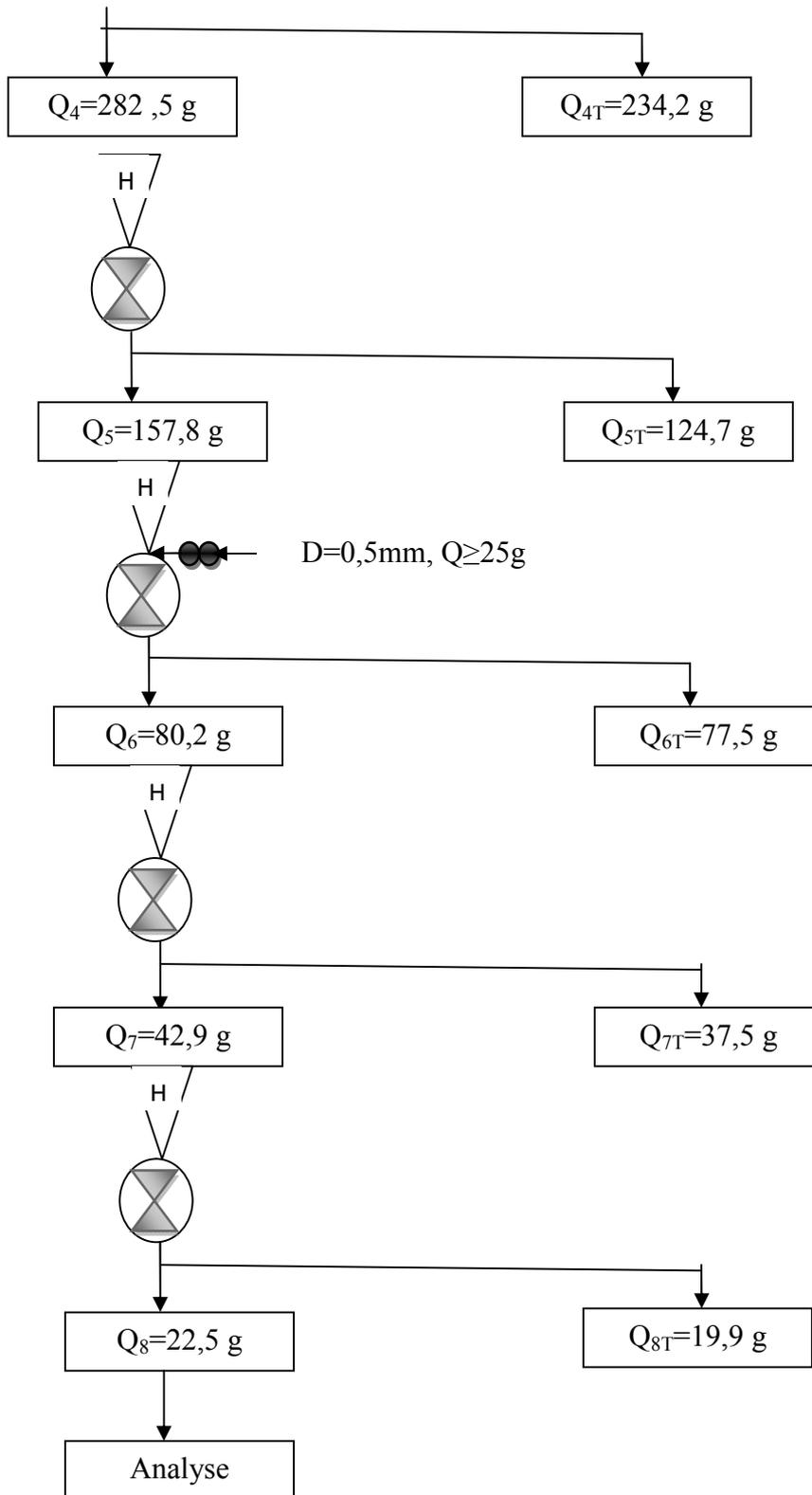
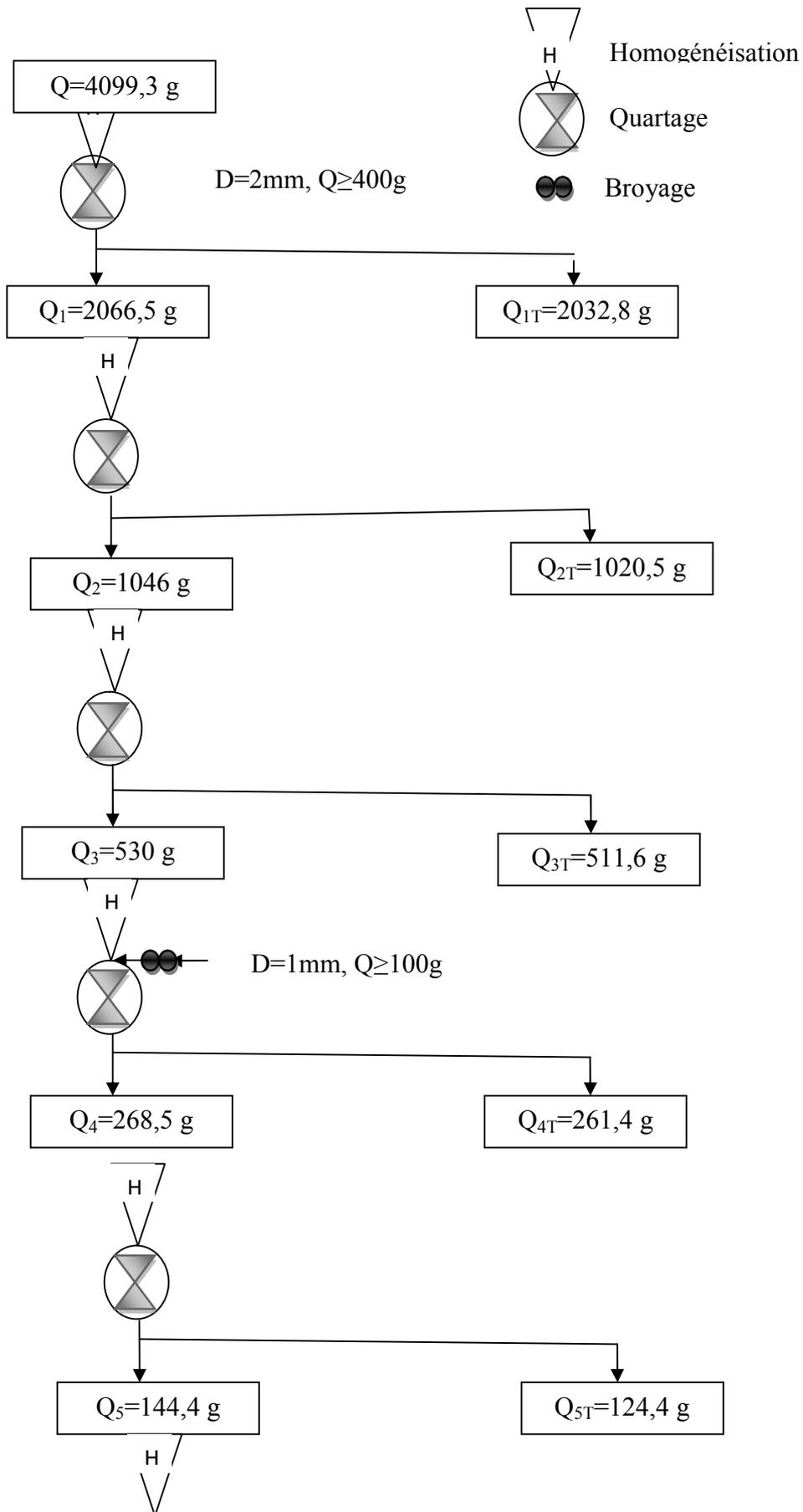


Diagramme de quartage pour l'échantillon de calcaire III

# ANNEXE

## MARNE I



# ANNEXE

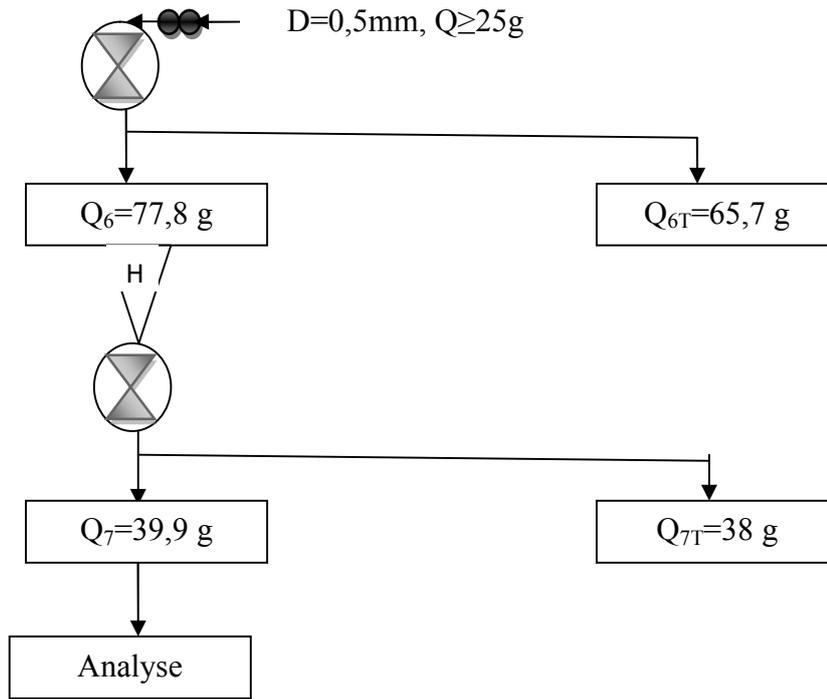
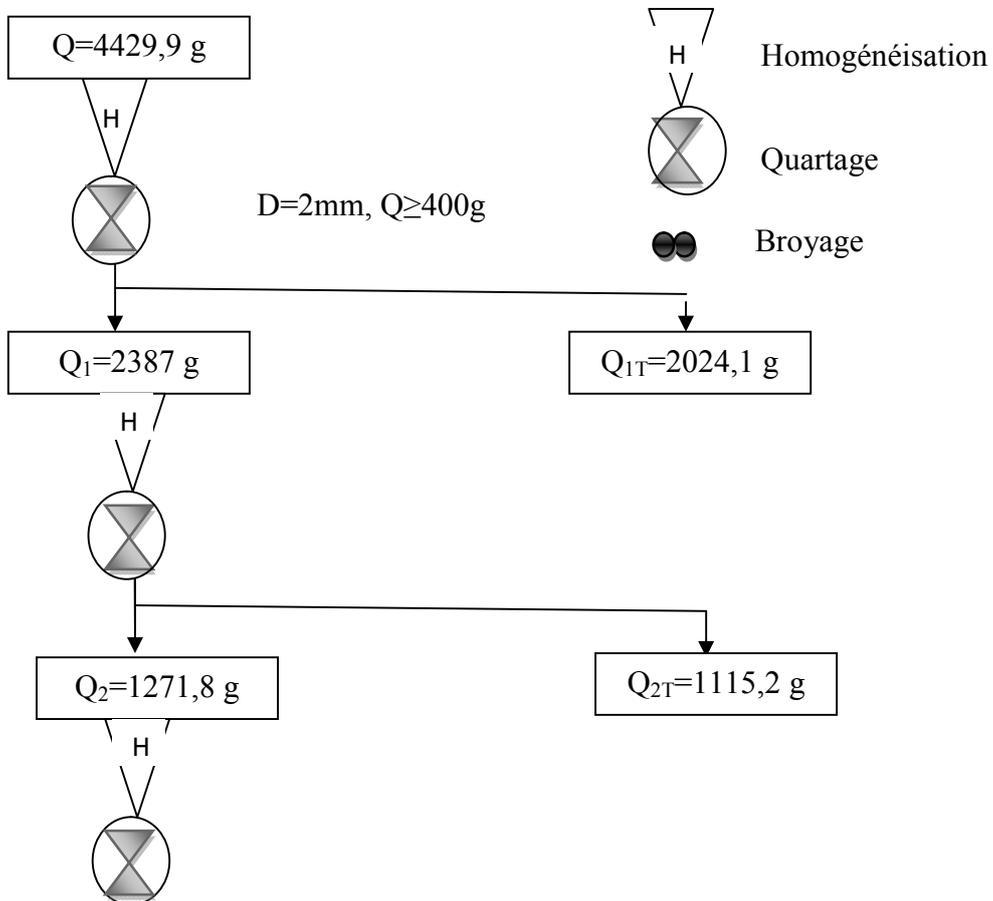
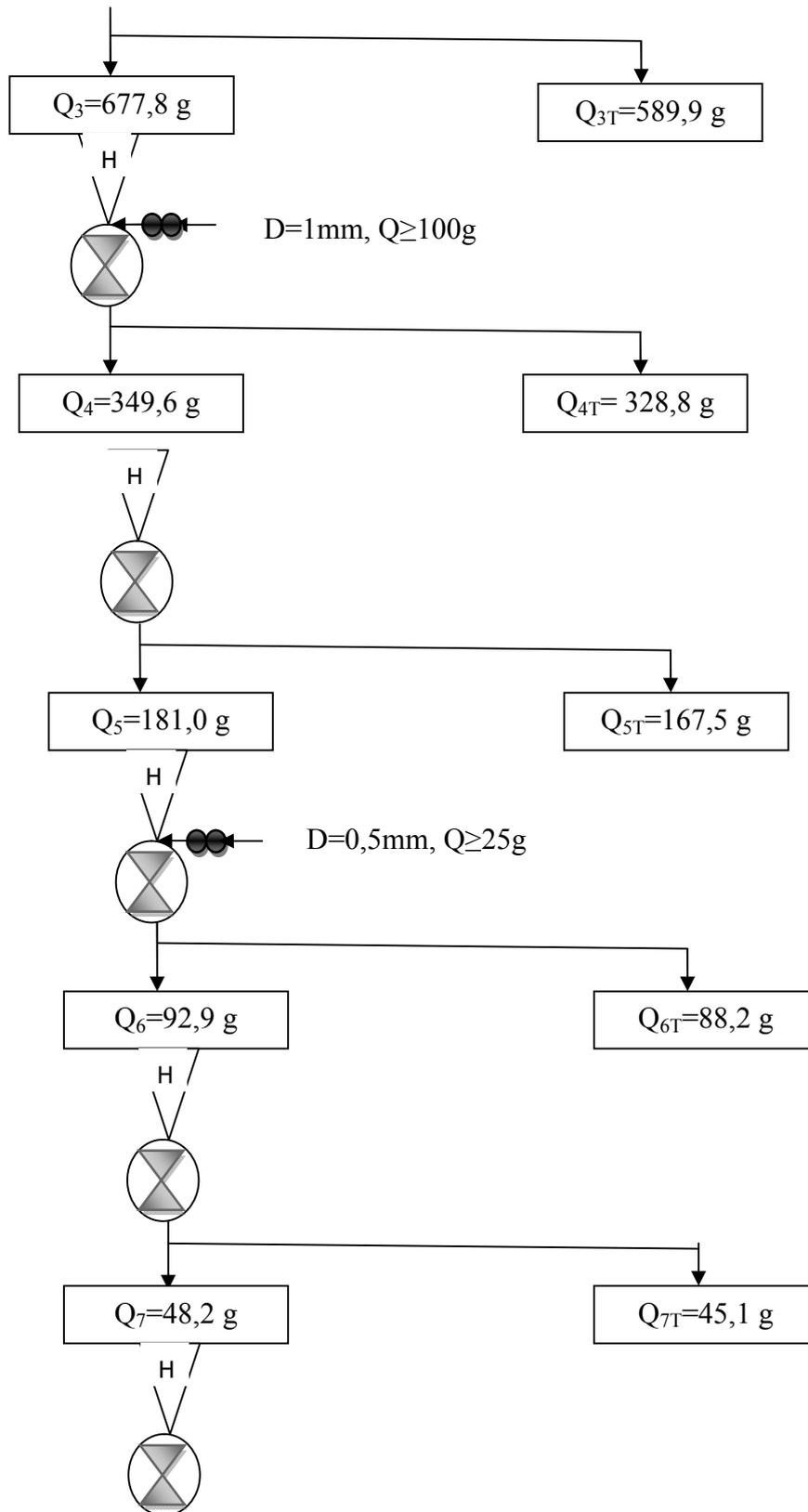


Diagramme de quartage pour l'échantillon de Marne II

## MARNE II



# ANNEXE



# ANNEXE

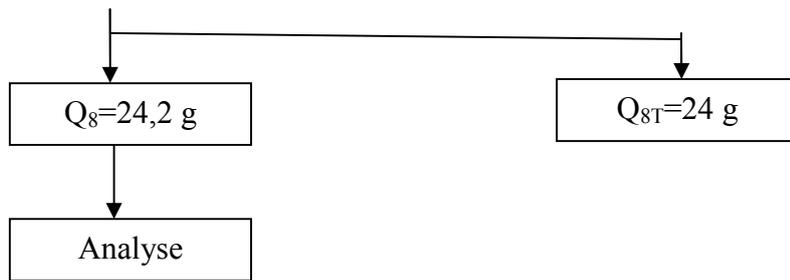
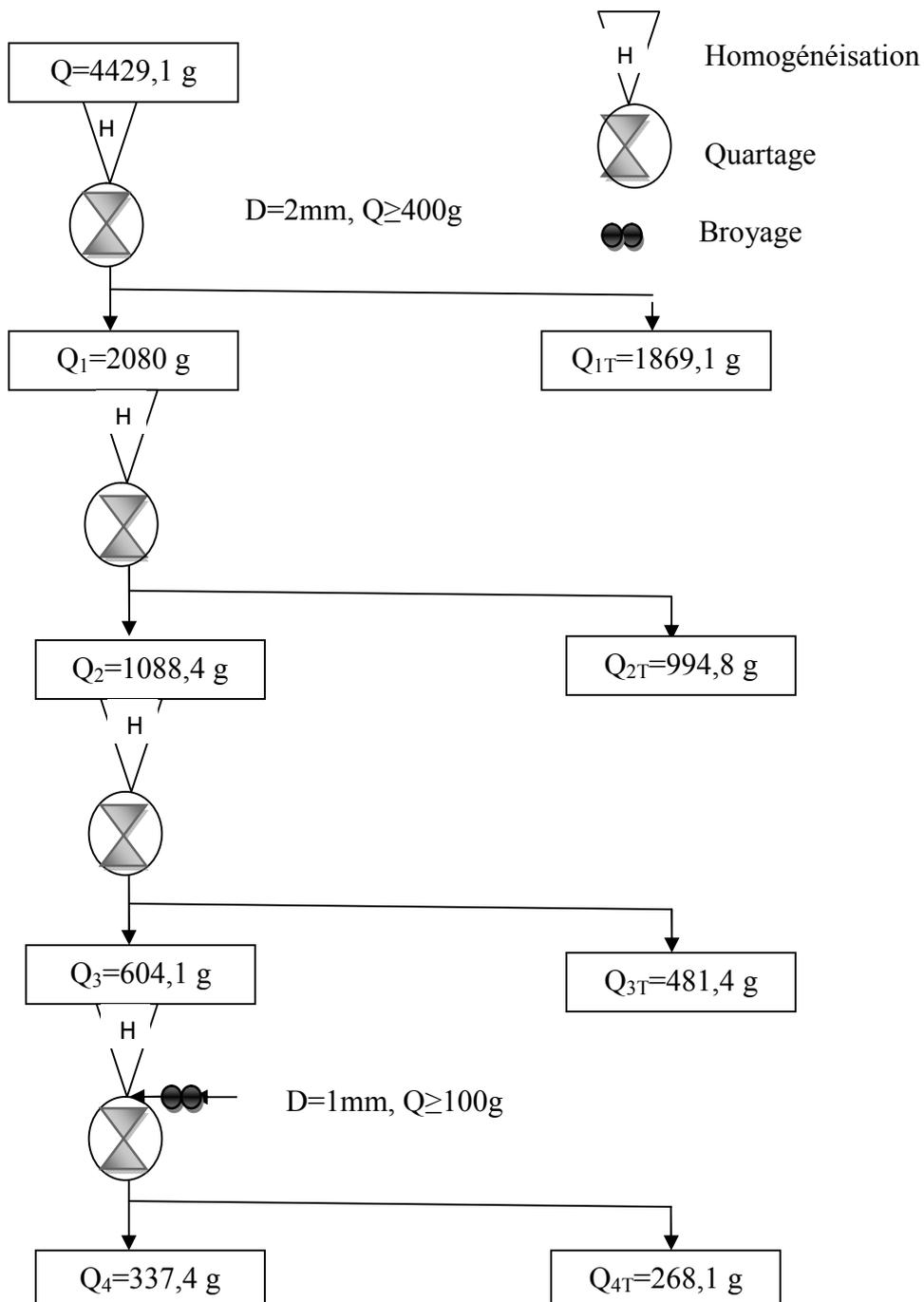
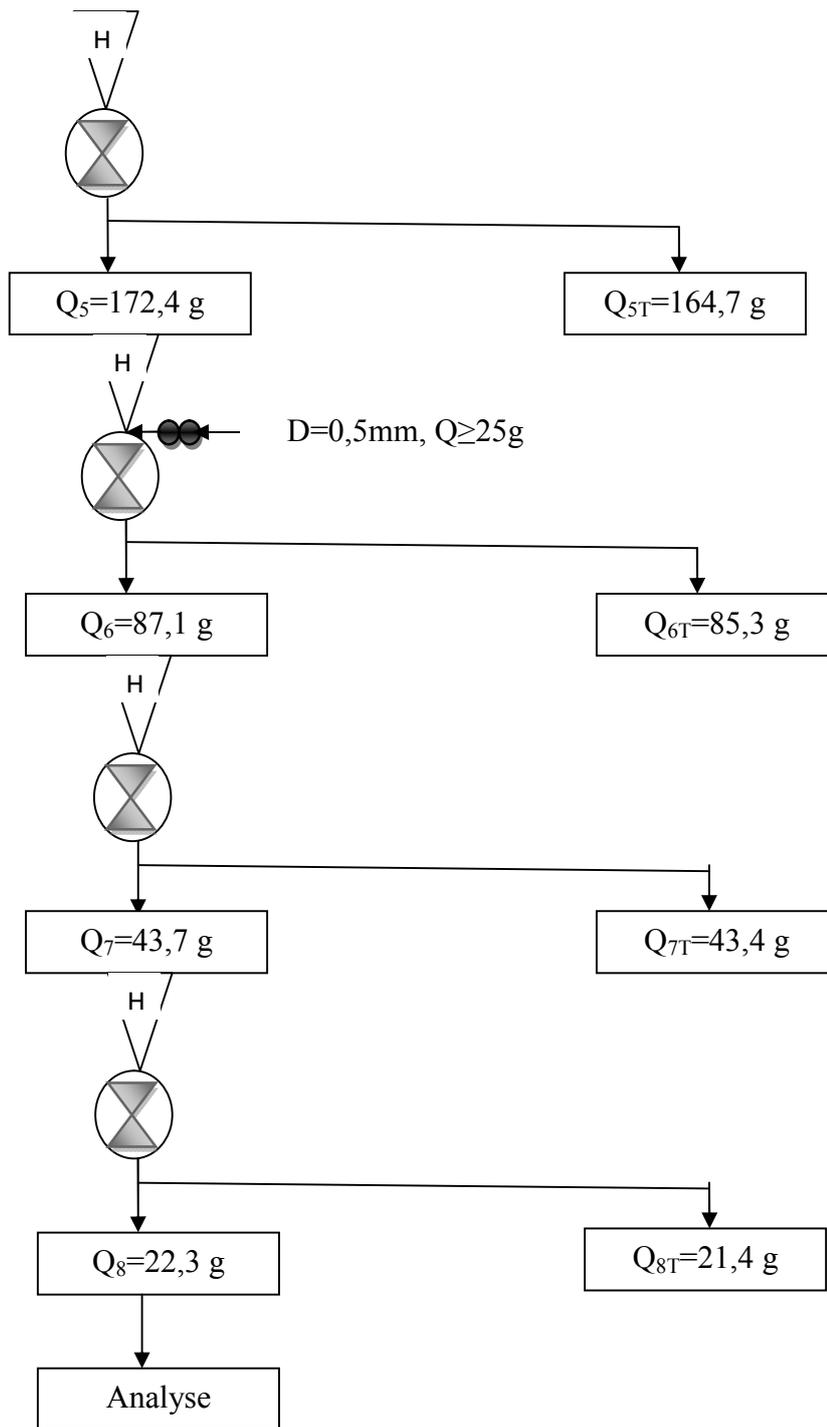


Diagramme de quartage pour l'échantillon de Marne II

## MARNE III



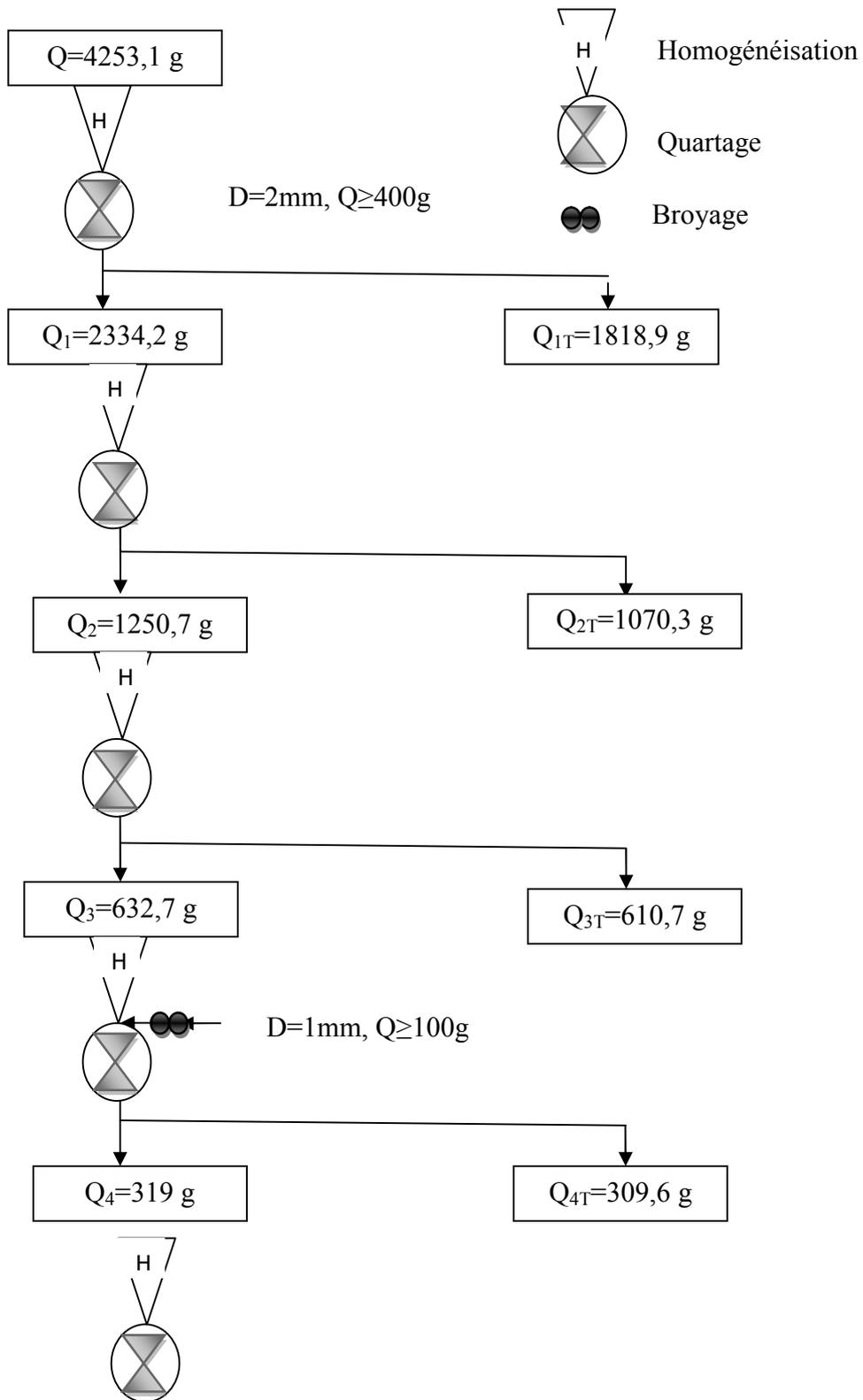
# ANNEXE



Digramme de quartage pour l'échantillon III

# ANNEXE

## MINERAI DE FER



# ANNEXE

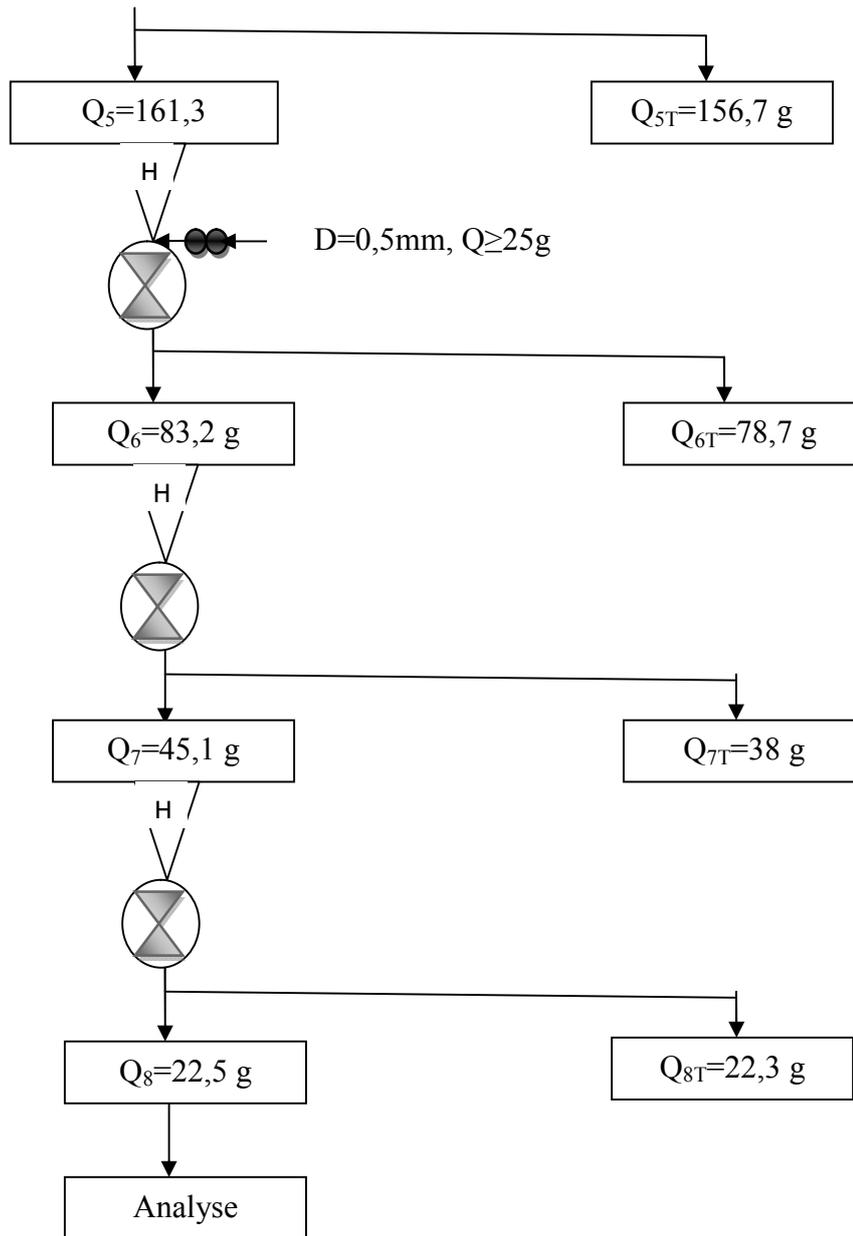


Diagramme de quartage pour l'échantillon de minerai de fer

# ANNEXE

---

## Les fiches d'analyse par diffraction des rayons X

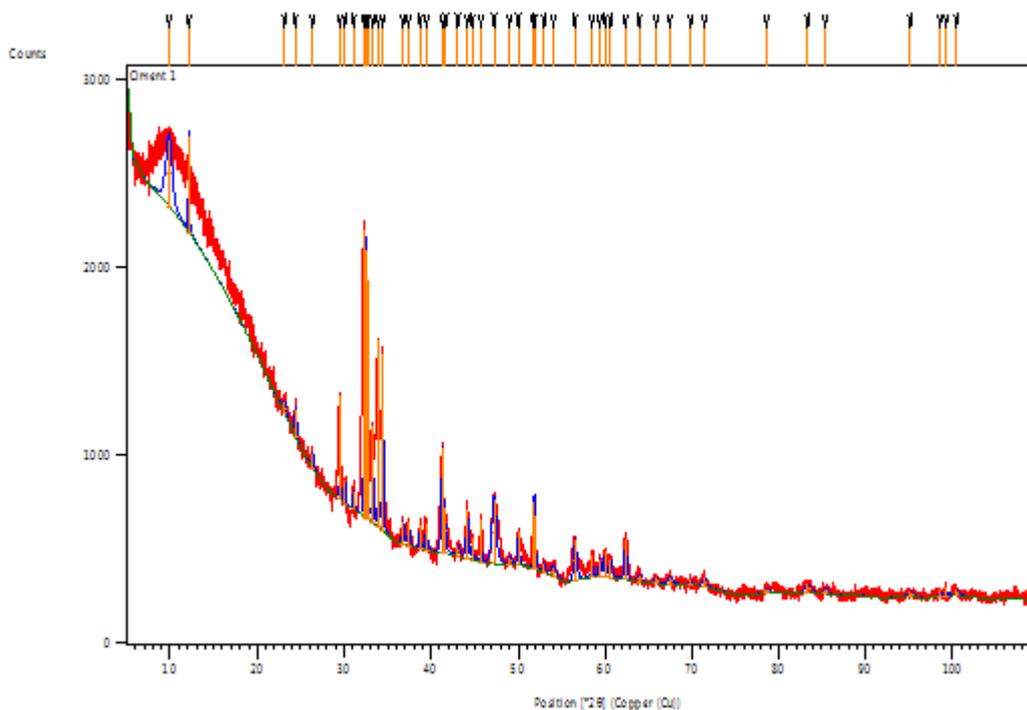
### ✓ Ciment1

#### **Anchor Scan Parameters**

Dataset Name:	Ciment 1
File name:	C:\XRD Data\Younes\Pr. Moussaceb Karim (Béjaia)\Ciment 1\Ciment 1.xrdml
Comment:	Configuration=Spinner PW3064/60, Owner=Plateforme-ST, Creation date=19-11-2015 14:56:49 Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001 Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1 Diffractometer system=XPERT-PRO Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\Test Silicium Div1° FASS2° P8 NoMonochromat 45kV40mA.xrdmp, Identifier={91654841-39BF-451F-8DDF-A3BAFAC12C0E}
Measurement Start Date/Time:	22-05-2017 08:55:05
Operator:	User
Raw Data Origin:	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis:	Gonio
Start Position [ $^{\circ}2\theta$ ]:	5.0036
End Position [ $^{\circ}2\theta$ ]:	109.9916
Step Size [ $^{\circ}2\theta$ ]:	0.0130
Scan Step Time [s]:	13.7700
Scan Type:	Continuous
PSD Mode:	Scanning
PSD Length [ $^{\circ}2\theta$ ]:	3.35
Offset [ $^{\circ}2\theta$ ]:	0.0000
Divergence Slit Type:	Fixed
Divergence Slit Size [ $^{\circ}$ ]:	0.8709
Specimen Length [mm]:	10.00
Measurement Temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]:	25.00
Anode Material:	Cu
K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ]:	1.54060
K-Alpha2 [ $\text{\AA}$ ]:	1.54443
K-Beta [ $\text{\AA}$ ]:	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio:	0.50000
Generator Settings:	40 mA, 45 kV
Diffractometer Type:	0000000011155250
Diffractometer Number:	0
Goniometer Radius [mm]:	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]:	100.00
Incident Beam Monochromator:	No
Spinning:	Yes

#### **Graphics**

# ANNEXE



## Peak List

Pos. [ $^{\circ}2\theta$ ]	Height [cts]	FWHMLeft [ $^{\circ}2\theta$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
9.8490	349.66	0.8187	8.98075	22.97
12.1396	512.48	0.1023	7.29086	33.67
23.1274	57.39	0.5117	3.84589	3.77
24.4027	149.50	0.2558	3.64772	9.82
26.3475	78.45	0.3070	3.38272	5.15
29.4981	555.88	0.1023	3.02820	36.52
30.0914	125.16	0.1279	2.96984	8.22
31.0699	96.86	0.2047	2.87850	6.36
32.2582	1522.29	0.0768	2.77512	100.00
32.5575	1427.32	0.0624	2.74802	93.76
32.6912	1272.99	0.0768	2.73936	83.62
33.2555	522.59	0.1279	2.69415	34.33
33.9047	1003.13	0.0768	2.64403	65.90
34.4019	936.93	0.1535	2.60695	61.55
36.7511	124.75	0.2558	2.44553	8.20
37.4196	129.69	0.2047	2.40336	8.52
38.7296	129.15	0.1535	2.32503	8.48
39.4539	138.45	0.2047	2.28400	9.10
41.2857	564.75	0.2558	2.18680	37.10
41.6763	244.80	0.0895	2.16720	16.08
43.0918	58.17	0.3070	2.09923	3.82
44.1290	263.88	0.2558	2.05227	17.33
44.7440	123.07	0.1535	2.02548	8.08
45.7281	234.58	0.0768	1.98416	15.41
47.2205	336.79	0.5628	1.92488	22.12
49.0104	39.11	0.3582	1.85868	2.57
50.0243	175.10	0.2047	1.82336	11.50
51.7617	361.28	0.0780	1.76471	23.73
51.9185	291.86	0.0768	1.76121	19.17
52.9719	48.07	0.3070	1.72864	3.16
54.0461	49.60	0.6140	1.69680	3.26
56.5595	219.60	0.3582	1.62721	14.43

## ANNEXE

58.5080	114.50	0.1535	1.57758	7.52
59.3876	96.23	0.3070	1.55630	6.32
60.0072	132.07	0.2047	1.54171	8.68
60.6450	100.49	0.3070	1.52701	6.60
62.3515	211.41	0.2303	1.48926	13.89
63.9352	33.36	0.6140	1.45614	2.19
65.8732	30.65	0.4093	1.41792	2.01
67.4531	38.45	0.5117	1.38850	2.53
69.8401	26.85	0.3070	1.34677	1.76
71.4274	53.45	0.4093	1.32070	3.51
78.6063	26.59	0.6140	1.21710	1.75
83.3164	43.72	0.8187	1.15985	2.87
85.3473	26.52	0.6140	1.13737	1.74
95.1300	28.98	0.8187	1.04457	1.90
98.5297	38.00	0.2558	1.01742	2.50
99.2368	44.45	0.0936	1.01123	2.92
100.4714	37.27	0.4093	1.00293	2.45

### **Document History**

#### Insert Measurement:

- File name = "Ciment 1.xrdml"
- Modification time = "22-05-2017 09:28:57"
- Modification editor = "User"

#### Default properties:

- Measurement step axis = "None"
- Internal wavelengths used from anode material: Copper (Cu)
- Original K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Used K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Original K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Used K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Original K-Beta wavelength = "1.39225"
- Used K-Beta wavelength = "1.39225"
- Irradiated length = "10.00000"
- Receiving slit size = "0.10000"
- Step axis value = "0.00000"
- Offset = "0.00000"
- Sample length = "10.00000"
- Modification time = "22-05-2017 09:28:57"
- Modification editor = "User"

#### Interpolate Step Size:

- Initial Scan Range = 5.00357 - 109.99300
- Initial Step Size = 0.01313
- Derived Step Size = 0.01300
- Use Derived Step Size = "Yes"
- Modification time = "22-05-2017 09:28:57"
- Modification editor = "PANalytical"

#### Determine Background:

- Add to net scan = "Nothing"
- User defined intensity = "0"
- Correction method = "Automatic"
- Bending factor = "4"
- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.01"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Use smoothed input data = "Yes"
- Granularity = "20"
- Modification time = "22-05-2017 09:29:01"
- Modification editor = "PANalytical"

#### Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.01"
- Maximum tip width = "1"

# ANNEXE

- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "22-05-2017 09:29:01"
- Modification editor = "PANalytical"

## ✓ Ciment 2

### Anchor Scan Parameters

Dataset Name: Ciment 2  
File name: C:\XRD Data\Younes\Pr. Moussaceb Karim (Béjaia)\Ciment 2\Ciment 2.xrdml  
Comment: Configuration=Spinner PW3064/60, Owner=Plateforme-ST, Creation date=19-11-2015 14:56:49  
Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001  
Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1  
Diffractometer system=XPERT-PRO  
Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\Test Silicium Div1° FASS2° P8 NoMonochromat 45kV40mA.xrdmp, Identifier={91654841-39BF-451F-8DDF-A3BAFAC12C0E}  
Measurement Start Date/Time: 22-05-2017 09:12:25  
Operator: User  
Raw Data Origin: XRD measurement (\*.XRDML)  
Scan Axis: Gonio  
Start Position [°2θ]: 5.0036  
End Position [°2θ]: 109.9916  
Step Size [°2θ]: 0.0130  
Scan Step Time [s]: 13.7700  
Scan Type: Continuous  
PSD Mode: Scanning  
PSD Length [°2θ]: 3.35  
Offset [°2θ]: 0.0000  
Divergence Slit Type: Fixed  
Divergence Slit Size [°]: 0.8709  
Specimen Length [mm]: 10.00  
Measurement Temperature [°C]: 25.00  
Anode Material: Cu  
K-Alpha1 [Å]: 1.54060  
K-Alpha2 [Å]: 1.54443  
K-Beta [Å]: 1.39225  
K-A2 / K-A1 Ratio: 0.50000  
Generator Settings: 40 mA, 45 kV  
Diffractometer Type: 0000000011155250  
Diffractometer Number: 0  
Goniometer Radius [mm]: 240.00  
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]: 100.00  
Incident Beam Monochromator: No  
Spinning: Yes

### Graphics

### Peak List

Pos. [°2θ]	Height [cts]	FWHMLeft [°2θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12.1636	461.36	0.1023	7.27653	27.45
24.3596	151.47	0.1535	3.65408	9.01
29.4136	761.54	0.1535	3.03671	45.30
30.0854	192.19	0.1023	2.97041	11.43
31.0240	59.18	0.2047	2.88266	3.52
32.2529	1680.98	0.0768	2.77557	100.00
32.5605	1506.64	0.0768	2.75005	89.63
33.2421	556.57	0.1279	2.69520	33.11
33.8873	1001.28	0.2047	2.64535	59.57
34.3840	1111.32	0.1535	2.60826	66.11

## ANNEXE

36.7681	115.09	0.2047	2.44443	6.85
37.3589	166.71	0.3070	2.40712	9.92
38.7702	164.61	0.2047	2.32269	9.79
39.4436	175.15	0.2047	2.28458	10.42
41.3453	605.30	0.2558	2.18378	36.01
42.9675	67.09	0.2558	2.10502	3.99
44.1827	284.64	0.1535	2.04990	16.93
45.8022	179.86	0.2558	1.98112	10.70
47.0833	298.11	0.3582	1.93016	17.73
50.0661	156.74	0.2047	1.82194	9.32
51.7221	390.83	0.1535	1.76743	23.25
56.4797	246.06	0.2047	1.62932	14.64
58.5023	103.70	0.3582	1.57772	6.17
59.3648	97.97	0.2558	1.55685	5.83
60.0641	145.19	0.4093	1.54038	8.64
62.2726	244.54	0.3582	1.49095	14.55
63.6962	61.27	0.3070	1.46102	3.64
65.8968	23.22	0.6140	1.41747	1.38
67.4058	55.29	0.5117	1.38936	3.29
71.3436	68.46	0.4093	1.32204	4.07
83.2762	39.88	0.8187	1.16031	2.37
85.4652	44.28	0.8187	1.13611	2.63

### **Pattern List**

Visible Fac.	Ref.Code Chem. Formula	Score	Compound Name	Displ. [°2θ]	Scale
*	00-002-0849	38	Calcium Silicate	0.000	
0.231	3 Ca O ! Si O2				
*	00-002-0323	Unmatch	Calcium Silicate	0.000	
0.141	3 Ca O !2 Si O2				
*	00-001-1060	23	Calcium Aluminum O..	0.000	
0.225	3 Ca O ! Al2 O3				
*	00-002-0386	Unmatch	Aluminum Calcium O..	0.000	
0.160	2 Al2 O3 ! Ca O				
*	00-002-0920	21	Calcium Aluminum O..	0.000	
0.179	3 Ca O ! Al2 O3				

### **Document History**

Insert Measurement:

- File name = "Ciment 2.xrdml"
- Modification time = "22-05-2017 09:32:17"
- Modification editor = "User"

Default properties:

- Measurement step axis = "None"
- Internal wavelengths used from anode material: Copper (Cu)
- Original K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Used K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Original K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Used K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Original K-Beta wavelength = "1.39225"
- Used K-Beta wavelength = "1.39225"
- Irradiated length = "10.00000"
- Receiving slit size = "0.10000"
- Step axis value = "0.00000"
- Offset = "0.00000"
- Sample length = "10.00000"
- Modification time = "22-05-2017 09:32:17"
- Modification editor = "User"

Interpolate Step Size:

## ANNEXE

---

- Initial Scan Range = 5.00357 - 109.99300
- Initial Step Size = 0.01313
- Derived Step Size = 0.01300
- Use Derived Step Size = "Yes"
- Modification time = "22-05-2017 09:32:17"
- Modification editor = "PANalytical"

### Determine Background:

- Add to net scan = "Nothing"
- User defined intensity = "0"
- Correction method = "Automatic"
- Bending factor = "4"
- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.01"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Use smoothed input data = "Yes"
- Granularity = "20"
- Modification time = "22-05-2017 09:32:21"
- Modification editor = "PANalytical"

### Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.01"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "22-05-2017 09:32:21"
- Modification editor = "PANalytical"

### Determine Background:

- Add to net scan = "Nothing"
- User defined intensity = "-5"
- Correction method = "Automatic"
- Bending factor = "5"
- Minimum significance = "0.7"
- Minimum tip width = "0"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Use smoothed input data = "Yes"
- Granularity = "20"
- Modification time = "22-02-2001 10:17:43"
- Modification editor = "PANalytical"

### Search Peaks:

- Minimum significance = "2"
- Minimum tip width = "0.01"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "20-02-2001 11:55:18"
- Modification editor = "PANalytical"

### Search & Match:

- Allow pattern shift = "No"
- Auto residue = "Yes"
- Data source = "Profile and peak list"
- Demote unmatched strong = "Yes"
- Multi phase = "Yes"
- Restriction set = ""
- Restriction = "None"
- Subset name = ""
- Match intensity = "Yes"
- Two theta shift = "0"
- Identify = "Yes"
- Max. no. of accepted patterns = "5"
- Minimum score = "27"
- Min. new lines / total lines = "40"
- Search depth = "6"
- Minimum new lines = "3"
- Minimum scale factor = "0.06"
- Intensity threshold = "0"

## ANNEXE

---

- Use line clustering = "Yes"
- Line cluster range = "1.5"
- Search sensitivity = "1.8"
- Use adaptive smoothing = "Yes"
- Smoothing range = "1.5"
- Threshold factor = "3"
- Modification time = "16-02-2001 11:03:07"
- Modification editor = "PANalytical"

## Résumé

Le présent travail visait à étudier la faisabilité de production d'un ciment pétrolier à partir des matières premières disponibles au niveau de la cimenterie d'Ain El Kebira Sétif.

Nous avons dans un premier temps réalisé une analyse granulométrique de matières premières récupérées de la cimenterie, le calcaire (différent gradin), la marne (différent gisement) et le minerai de fer.

Dans un second temps, nous avons déterminé les quantités nécessaires de chaque matière pour la préparation du mélange, à l'aide d'un logiciel de gestion de la qualité du ciment, et qui va être calciné à une température de 1450°C à refroidis. La composition chimique a été déterminée pour l'ensemble des matières premières ainsi que les mélanges préparé par l'analyse FX au niveau de la cimenterie Ain El Kebira. Le calcul des différents modules du clinker et la comparaison avec la composition chimique a montré qu'ils sont comparables. L'analyse minéralogique du clinker obtenu a montré la présence des quatre phases caractéristiques du ciment à savoir, le  $C_2S$ ,  $C_3S$ ,  $C_4AF$  et le  $C_3A$ .

Cette étude réalisé à l'échelle laboratoire a montré qu'il ya possibilité de fabriquer un ciment pétrolier à partir des matières premières disponibles au niveau de la cimenterie Ain El Kebira.

**Mots clés** : Ciment pétrolier, clinker, cru et calcination, Indice de qualité

## Abstract

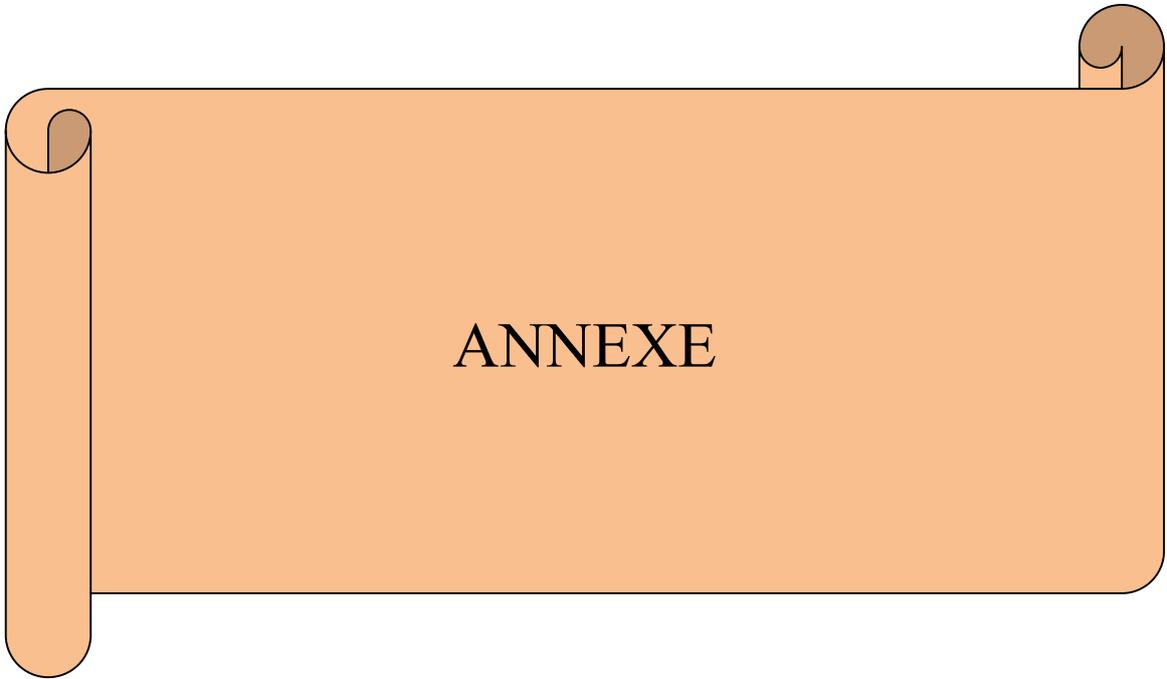
The present work was therefore aimed at studying the feasibility of producing petroleum cement from the raw materials available at the Ain El Kebira Sétif cement plant.

We first carried out a granulometric analysis of raw materials recovered from the cement plant, from different tiers, namely marl limestone and iron ore.

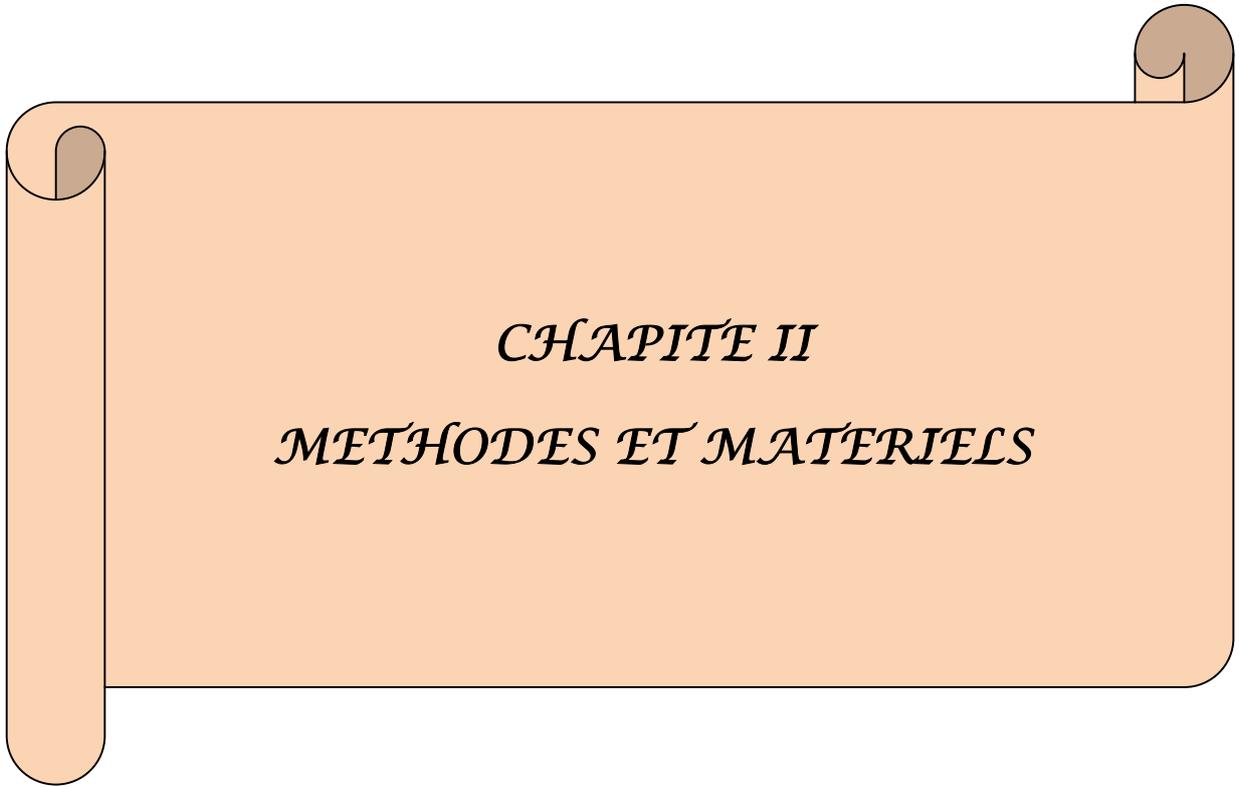
In a second step, we have determined the necessary quantities of each material for the preparation of the mixture, using cement quality management software, and which will be calcined at a temperature of 1450 ° C. for 30 minutes. The chemical composition was determined for all the raw materials as well as the mixtures prepared by the FX analysis. The calculation of the various clinker modules and the comparison with the chemical composition showed that they are close. The mineralogical analysis of the clinker obtained showed the presence of the four characteristic phases of the cement namely,  $C_2S$ ,  $C_3S$ ,  $C_4AF$  and  $C_2A$ . This study carried out on a laboratory scale showed that it is possible to manufacture petroleum cement from the raw materials available at the Ain El Kebira cement plant.

**Keywords**: oil cement, clinker, manufacturing processes, Ain El Kebira cement plant, raw and calcinations, Index of quality.

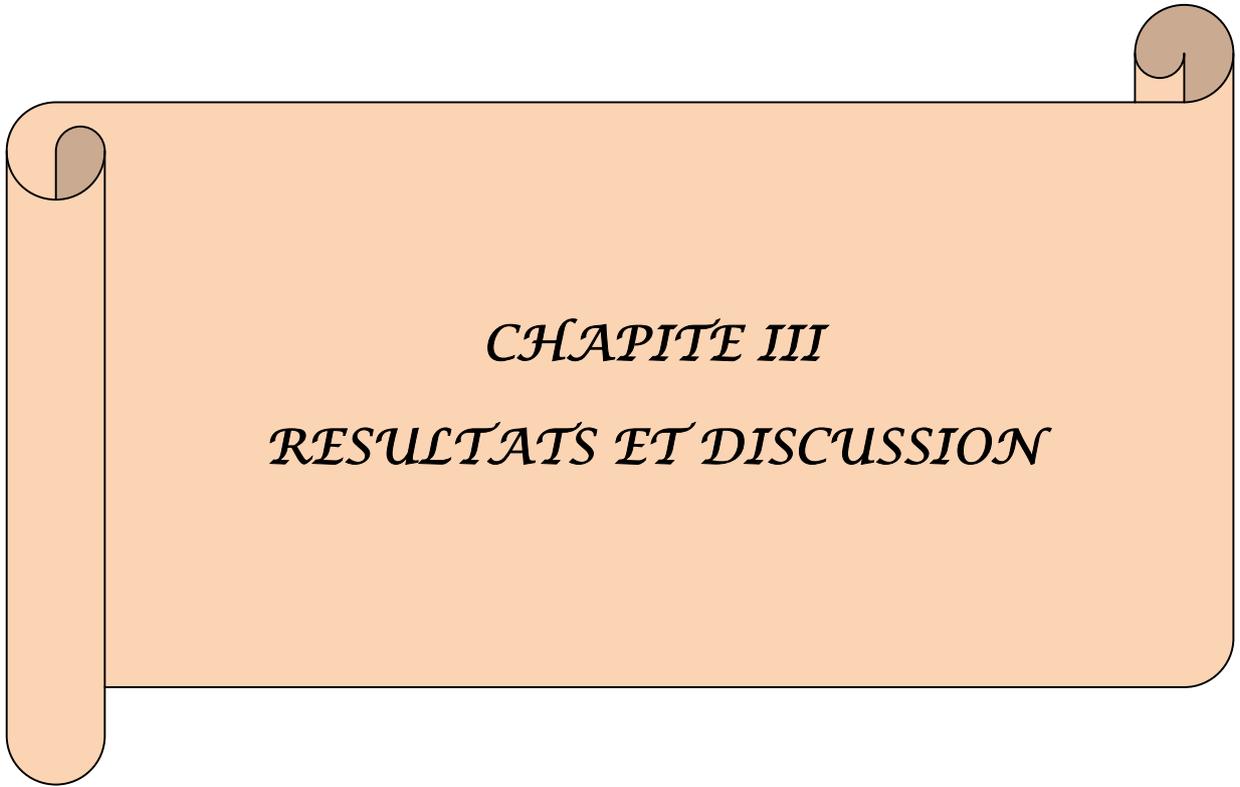




ANNEXE



*CHAPITE II*  
*METHODES ET MATERIELS*



*CHAPITRE III*

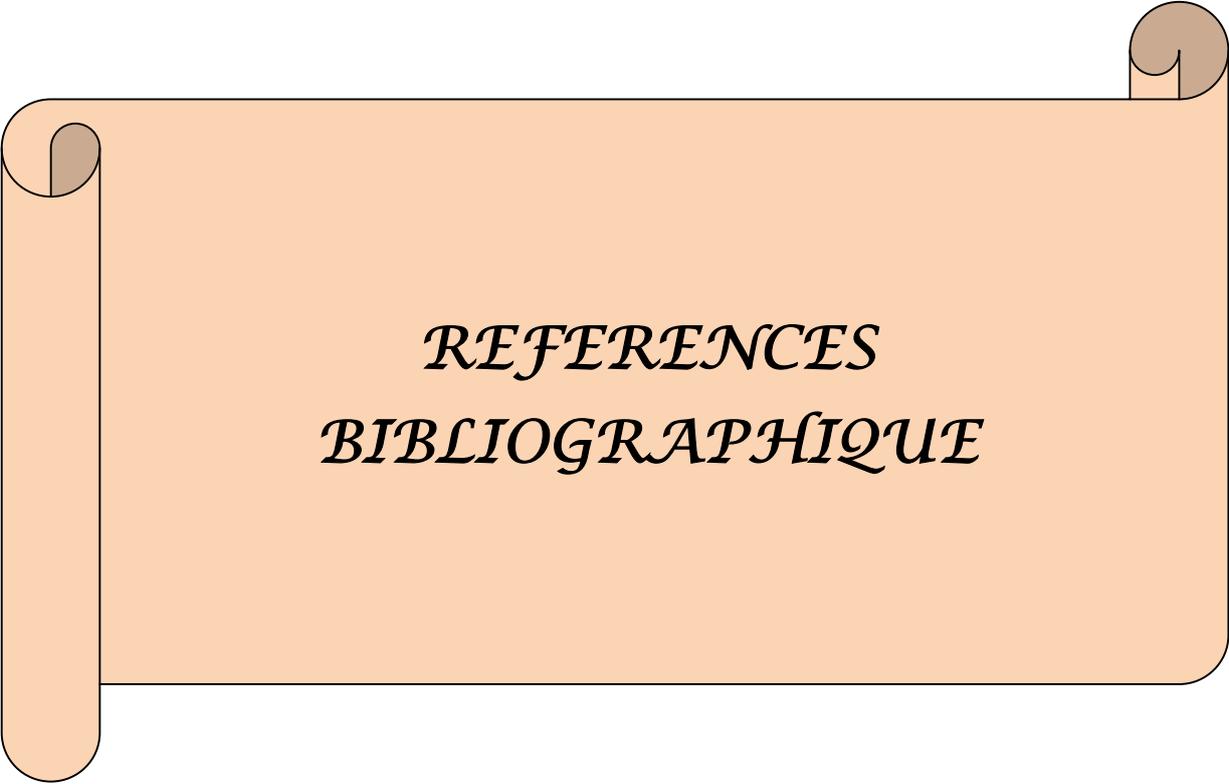
*RESULTATS ET DISCUSSION*



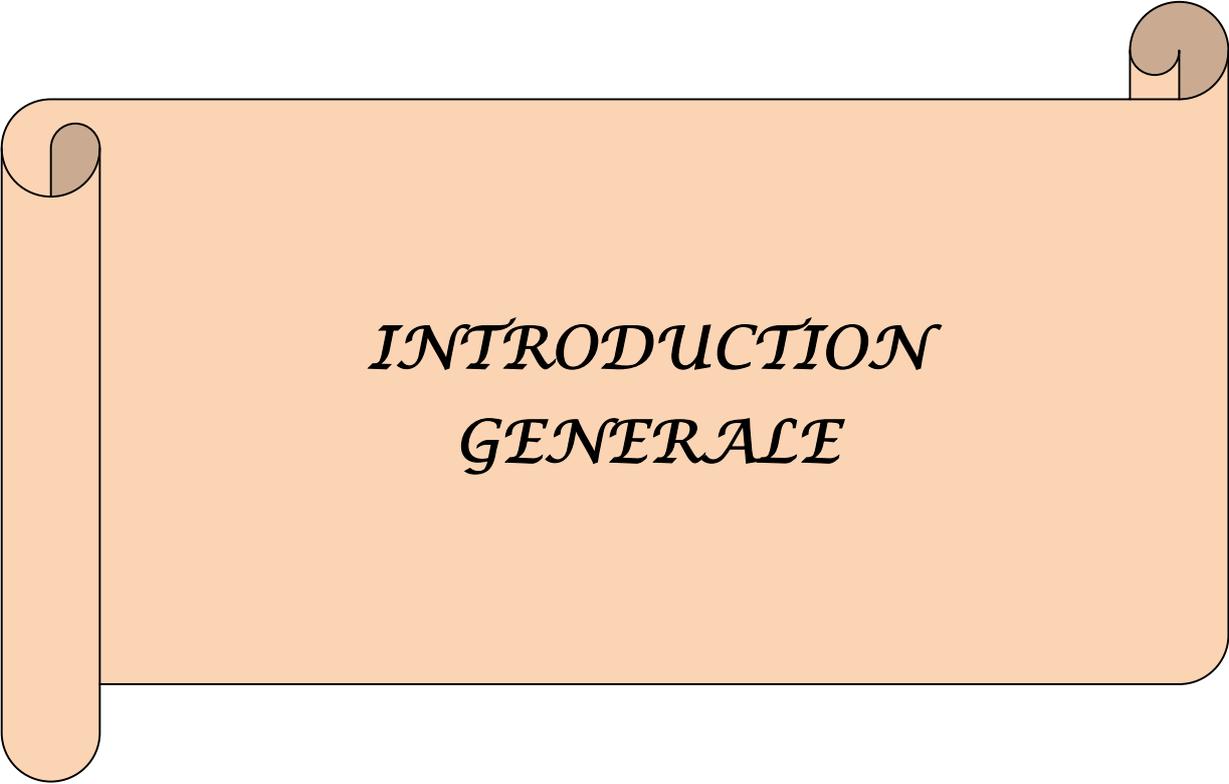
*Table des matières*



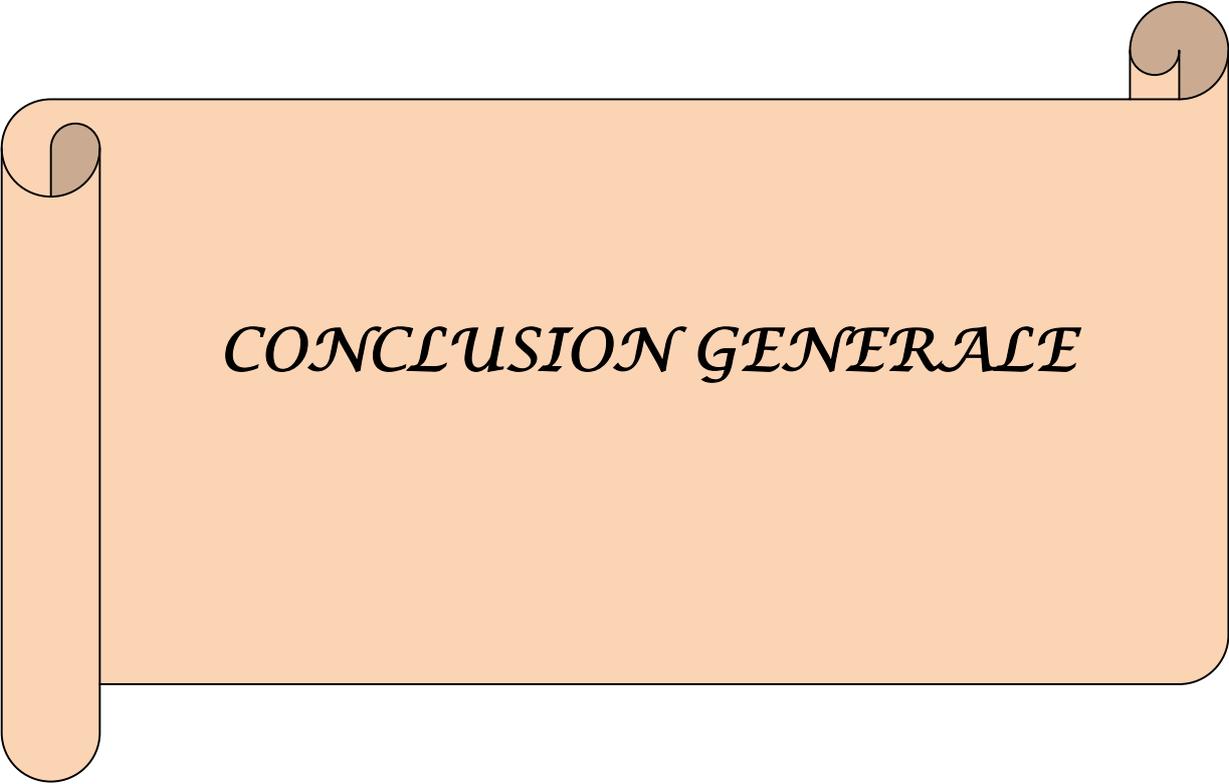
*Liste des abréviations*



*REFERENCES*  
*BIBLIOGRAPHIQUE*



*INTRODUCTION  
GENERALE*



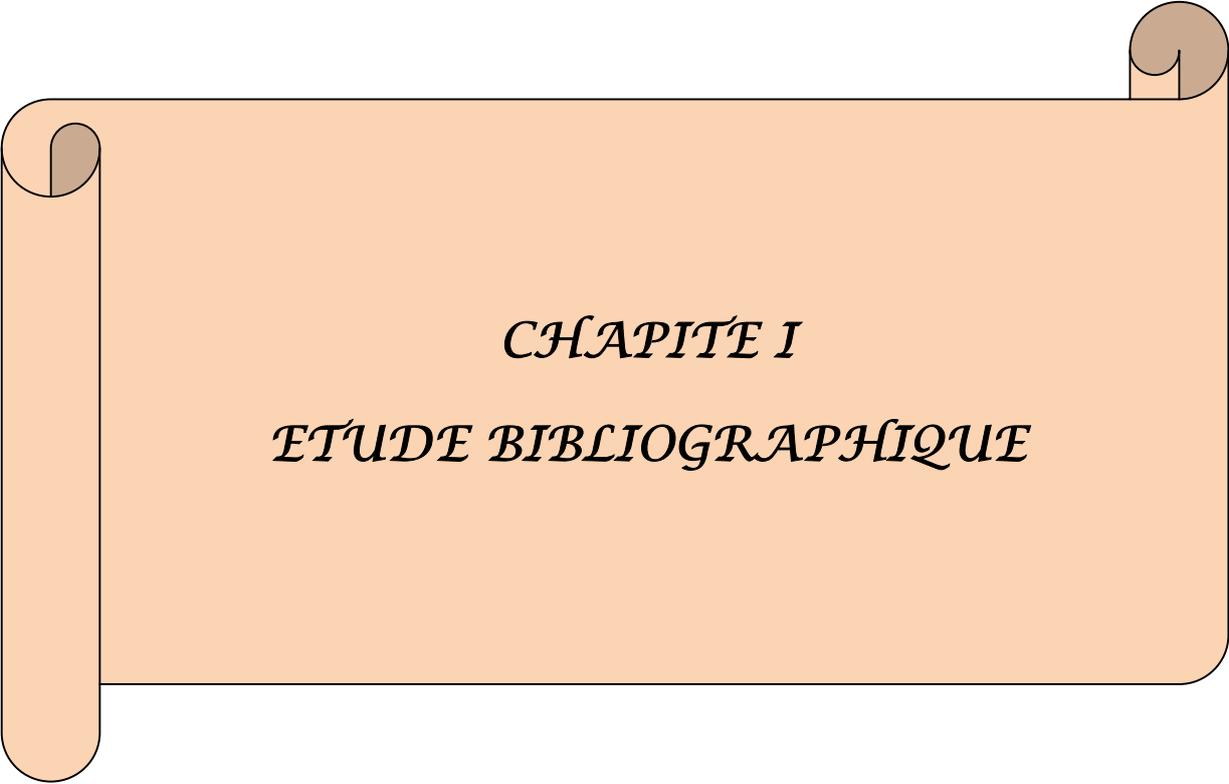
*CONCLUSION GENERALE*



*LISTE DES FIGURES*



*LISTE DES TABLEAUX*



*CHAPITRE I*  
*ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE*