



## Département de Technologie Chimique Industrielle

### Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme  
de Licence professionnalisant en :

**Génie de la Formulation**

**Thème :**

*L'influence d'un milieu agressif sur le comportement  
des mortiers à base du ciment*

**Réalisé par :**

BAGHDADI Zineb

**Encadré par :**

Mme BELALIA Fatiha

MCB / Enseignant chercheur

**Tuteur de l'entreprise :**

Mme MAAMERI Fouzia

Cimenterie SEG

# *Remerciement*

Merci ! C'est un petit mot tout simple mais qui pèse lourd. Un grand merci, un petit merci, peu importe sa taille, il n'a pas de dimension .C'est un signe de reconnaissance qui ne connaît pas d'indifférence.

Je tiens à remercier M<sup>me</sup> BELALIA qui a encadré ce travail, pour sa disponibilité, pour son écoute, pour ses grandes qualités pédagogiques, ainsi que pour sa rigueur scientifique, qu'elle a su me communiquer pour mener au mieux ce travail.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à tout l'ensemble des professeurs du département de Génie des procédés pour tout ce qu'ils nous ont transmis jusqu'ici.

Sans oublier de remercier tout l'ensemble de la cimenterie Sour El Ghozlane.

## *Dédicace*

- ♠ Avec l'aide de Dieu, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie.
- ♠ A mes chers parents sur qui j'ai pu compter et me ressourcer d'affection et de bénédiction durant toute ma vie.
- ♠ A toutes les personnes qui me sont chères.
- ♠ A mes chères sœurs et ami(e)s qui m'ont beaucoup soutenue et encouragée.
- ♠ A tous qui m'ont aidée et m'ont aimée.
- ♠ A la mémoire de Mme YAHYATEN Djazia.

# *Table des matières*

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

Introduction .....1

## Chapitre I Présentation de l'entreprise

I.1 Présentation de l'entreprise.....2

## Chapitre II Généralité sur le ciment

II.1 Définition du ciment.....4

II.2 Les matières premières et la composition de ciment.....4

II.3 Processus de fabrication de ciment.....6

II.4 Principales caractéristiques de ciment.....12

## Chapitre III Matériels et méthodes

III.1 Propriétés physiques.....16

III.2 Propriétés chimiques.....19

III.3 Propriétés mécaniques.....22

III.4 Spectrométrie de fluorescence X .....23

III.5 Préparation des solutions d'acide et des mortiers.....24

## **Chapitre IV    Résultats et interprétations**

IV.1	Analyse chimique.....	29
IV.2	Analyse physique.....	30
IV.3	Résistances chimiques et mécaniques .....	32
IV.4	Résistances a l'attaque chimique.....	32
IV.5	Résistances mécaniques.....	33
IV.6	Observation visuelle des éprouvettes .....	35
<b>Conclusion.</b>	.....	<b>36</b>

### **Références**

### **Annexes**

## Liste des figures

### **Chapitre I : Présentation de l'entreprise**

<b>Figure I.1:</b> Organigramme de l'entreprise.....	3
--	---

### **Chapitre II : Généralité sur le ciment**

<b>Figure II.1 :</b> Echantillon de ciment. ....	4
<b>Figure II.2 :</b> Composition de la farine cru.....	6
<b>Figure II.3 :</b> Schéma de processus de fabrication du ciment.....	6
<b>Figure II.4 :</b> Extraction de matières premières.....	6
<b>Figure II.5 :</b> Broyage de matières cru.....	7
<b>Figure II.6 :</b> Zone de cuisson.....	8
<b>Figure II.7 :</b> Clinker à la sortie de four et après le refroidissement.....	8
<b>Figure II.8:</b> Micrographie des quatre phases principales de clinker.....	10
<b>Figure II.9:</b> Expédition en sac.....	11
<b>Figure II.10:</b> Expédition en vrac.....	11

### **Chapitre III : Matériels et méthodes**

<b>Figure III.1:</b> Perméabilimètre de Blaine. ....	16
<b>Figure III.2:</b> Appareil de Vicat.....	18
<b>Figure III.3 :</b> Appareil de tamisage (Alpin). ....	18
<b>Figure III.4:</b> Le sable.....	22
<b>Figure III.5:</b> Le ciment.....	22
<b>Figure III.6:</b> L'eau de robinet.....	23
<b>Figure III.7:</b> Le malaxeur.....	23
<b>Figure III.8:</b> Les moules et l'appareil de choc.....	23
<b>Figure III.9:</b> Machine d'essais mécaniques.....	23
<b>Figure III.10:</b> Cubix XRF.....	24

## **Chapitre IV : Résultats et interprétation**

<b>Figure IV.1:</b> Résistance à l'attaque chimique de ciment en fonction d'âge.....	32
<b>Figure IV.2:</b> Evaluation de la résistance à la compression de ciment en fonction de l'âge.....	33
<b>Figure IV.3:</b> Evaluation de la résistance à la flexion de ciment en fonction de l'âge.....	34
<b>Figure IV.4:</b> Etat d'éprouvette après immersion de 28 jours dans 2% de HClO <sub>4</sub> .....	35
<b>Figure IV.5:</b> Etat d'éprouvette après immersion de 28 jours dans 2% de HCl.....	35

## Liste des tableaux

### Chapitre I : Présentation de l'entreprise

Tableau I.1 : Fiche technique de l'entreprise.....	2
--	---

### Chapitre II : Généralité sur le ciment

Tableau II.1 : Composition chimique de clinker.....	9
---	---

### Chapitre III : Matériels et méthodes

Tableau III.1: Résultats de masse de $\text{HClO}_4$ .....	26
--	----

Tableau III.2: Résultats de volume de $\text{HClO}_4$ .....	26
---	----

Tableau III.3: Résultats de masse de $\text{HCl}$ .....	27
---	----

Tableau III.4 : Résultats de volume de $\text{HCl}$ .....	27
---	----

### Chapitre IV : Résultats et interprétation

Tableau IV.1 : Analyse chimique de ciment.....	29
--	----

Tableau IV.2 : Analyse par fluorescence X.....	29
--	----

Tableau IV.3 : Caractéristique minéralogique .....	30
--	----

Tableau IV.4 : Analyse physique .....	31
---------------------------------------	----



## Liste d'abréviation

**GICA** : Groupe industriel Algérien du ciment.

**Ca(OH)<sub>2</sub>** : Hydroxyde de calcium (portlandite).

**CPj** : Ciment portland composé.

**EN 197-1** : Norme européenne.

**CaO** : Chaux.

**SiO<sub>2</sub>**: La silice.

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Oxyde d'alumine.

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : Oxyde de fer.

**C3A** : Aluminate tricalcique (Célite).

**C4AF** : aluminoferrite de calcium (Félite).

**C2S** : Silicate bicalcique (Bélite).

**C3S** : Silicate tricalcique (Alite).

**CaO** : oxyde de calcium (Chaux libre).

**NA 229** : Norme algérienne.

**β C2S** : Silicate bicalcique.

**NA442** : Norme Algérienne.

**CEM II/A-L 42.5 N** : Ciment portland /ajout –calcaire résistance 42.5 N/m<sup>2</sup>.

**E/C** : Eau/Ciment.

## *Résumé*

Les travaux de construction effectués dans des milieux agressifs posent des problèmes de durabilité dus aux attaques des produits chimiques comme les acides.

Le ciment, produit stratégique et incontournable pour le développement de tout pays, est un liant de première importance. A cet effet, ses caractéristiques intrinsèques et les conséquences des milieux agressifs sur ces dernières doivent être bien connues.

Pour faire ce travail traite de l'étude de comportement des mortiers à base d'un ciment portland de Sour el ghozlane dans un milieu agressif.

Les caractéristiques physico-chimiques (surface spécifique Blaine, pourcentage des refus, temps de prise, expansion et détermination des différents oxydes) ainsi que les essais de mesure de perte de masse (attaque chimique des milieux agressifs) ; les résistances à la traction par flexion et à la compression aux différents âges et pour différents milieux ont été déterminés durant notre séjour dans le laboratoire de la cimenterie de Sour El Ghozlane.

**Mots clés :** mortier, ciment composé, ciment portland, milieu agressif, résistances, flexion, compression

---

## *Abstract*

Construction work in aggressive environments poses sustainability problems due to attacks by chemicals such as acids.

Cement, a strategic product and essential for the development of any country, is a major binder. To this end its intrinsic characteristics and the consequences of aggressive environments on them must be well known.

To do this work deals with the behavior study of mortars based on a portland cement of Sour el Ghozlane in an aggressive environment.

Physical-chemical characteristics (Blaine specific surface, percentage of refusals, take time, expansion and determination of different oxides) as well as weight loss measurement tests (chemical attack of aggressive environments) ; and resistance to bending traction and compression at different ages and for different environments were determined during our stay in the laboratory of the sour El Ghozlane cement plant.

**Key words:** mortar, composite cement, portland cement, aggressive medium, resistors, flexion, compression

---

## ملخص

تسبب أعمال البناء في البيئات العدوانية مشاكل في الاستدامة بسبب الهجمات التي تشنها مواد كيميائية مثل الأحماض.

الأسمنت، وهو منتج استراتيجي وضروري لتنمية أي بلد، هو الرابط الرئيسي. وتحقيقا لهذه الغاية يجب أن تكون خصائصه جوهرية وعواقب البيئات العدوانية عليه معروفة جيدا.

وهذا العمل يتناول

دراسة خصائص أسمنت بورتلاندي لسور الغزلان في بيئة عدوانية.

ومدة الجفاف والتمدد وتحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية (السطح المحدد بلين، والنسبة المئوية للرفض أكاسيد مختلفة) وكذلك اختبارات قياس فقدان الوزن (الهجوم الكيميائي للبيئات العدوانية) وتحديد مقاومة الانحناء الشد والانضغاط في مختلف الأعمار وبيئات مختلفة تمت دراستها خلال إقامتنا في مختبر مصنع الأسمنت لسور الغزلان

**الكلمات المفتاحية:** أسمنت مركب، أسمنت بورتلاندي، وسط عدواني، مقاومات، انثناء، ضغط.

Une grande partie des problèmes de durabilité de béton rencontrée dans les régions chaudes résulte de la présence des chlorures et des sulfates (dans le sol ou dans les agrégats...). Ce manque de durabilité a directement une influence sur la structure de la construction et peut conduire à la détérioration totale d'un grand nombre des constructions [1].

Le béton est un matériau évolutif qui tout au long de son existence est le siège de réactions physico-chimiques. Sous l'influence du milieu extérieur en particulier par l'action d'agents agressifs externes dont il sera principalement question ici. Face à ces agents agressifs plus acides (eaux pures, sels, acides...), le béton matériau fortement basique (pH de l'ordre de 13).

L'attaque chimique des bétons s'effectue principalement sur la portlandite  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  contenue dans la pâte de ciment [1].

Ce travail a pour but d'identifier les causes de la dégradation des mortiers et d'évaluer l'influence de type de ciment. Cette étude a été réalisée en prenant en considération un type de ciment à base d'ajout calcaire (12%).

Après avoir effectué tous les essais d'identification de ciment portland selon les normes algériennes et internationales, nous nous sommes intéressés à la mesure :

- Des variations de masse des échantillons ayant immergés dans des milieux agressifs de différentes concentrations et différents séjours (7 jours et 28jours).
- De la variation de la résistance mécanique des mortiers à la traction par flexion et à la compression après immersion dans les milieux agressifs.

Dans le monde actuel l'industrie du ciment est en croissance phénoménale, ce qui nécessite une grande quantité de matière première pour le produire. Dans ce chapitre, on va présenter l'entreprise d'une manière générale ainsi que les processus de fabrication du ciment.

## I.1 Présentation de l'entreprise

### 1. Situation géographique de l'entreprise

La cimenterie est une filiale de groupe GICA (Groupe Industriel Algérien de Ciment) chargée de la recherche, du développement, de la production et de la commercialisation du ciment.

La cimenterie a été construite par F. L. Smidth Danemark, elle est située à 120 Km au sud-est d'Alger et à 25 Km de Bouira. La société occupe une position géographique stratégique. Cette position lui permet de jouer un rôle économique important dans la région du centre du pays [2]. Elle assure ainsi la satisfaction des besoins en ciment de plusieurs wilayas :

- Au nord : Médéa, Tizi-Ouzou, Bejaia.
- Au centre : Djelfa, Laghouat.
- Au sud : Ghardaïa, Tamanrasset, Illizi, Ouargla.

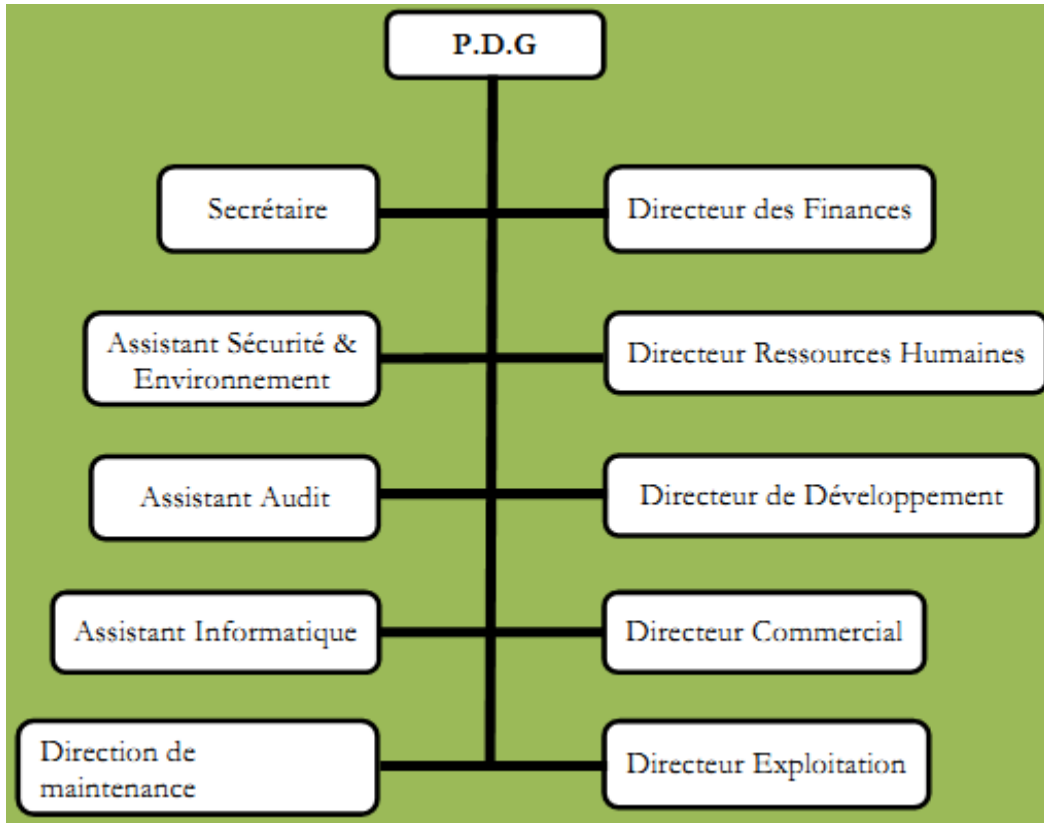
### 2. Fiche technique de l'entreprise

**Tableau I.1** : Fiche technique de l'entreprise

Dénomination	Société des ciments de Sour El Ghozlane
<b>Localisation</b>	- Commune de Sour El Ghozlane. - Daïra Sour El Ghozlane. - Wilaya de Bouira.
<b>Capacité de production</b>	- 3000 tonnes de clinker par jour. - 1000000 tonnes de ciment par année.
<b>Constructeur</b>	- F.L SMIDTH et CIE France.
<b>Qualité de ciment</b>	- CPj à 42.5 MPa.
<b>Superficie</b>	- 41 Hectares.
<b>Superficie occupé</b>	- 11 hectares.

### 3. Organigramme de l'entreprise

Cette figure représente l'organigramme filial de l'entreprise qui est dirigée par le PDG et les cadres des différents départements



**Figure I.1 :** Organigramme de l'entreprise

## II.1 Définition du ciment

La définition actuelle du ciment selon la norme EN 197-1 est la suivante :

« Le ciment est un liant hydraulique fabriqué à partir des matières premières calcaire, marne et gypse. Par liant hydraulique, on entend un produit qui, après gâchage avec de l'eau, durcit aussi bien à l'air que dans l'eau. L'aggloméré de ciment qui en résulte résiste à l'eau et présente une bonne résistance à la compression ».

C'est le principal composant du béton, auquel il confère un certain nombre de propriétés, et notamment sa résistance. Il s'agit d'un matériau de construction de haute qualité, économique, utilisé dans les projets de construction du monde entier [3].



**Figure II.1:** Echantillon de ciment

## II.2 Matières premières et composition de ciment

Généralement dans la production de ciment on utilise 4 matières premières

Calcaire : 80% - Argile : 17% - Sable : 2% - Minerai de fer : 1%

Les blocs de matières sont acheminés vers des concasseurs puis stockés dans un hall de stockage [4].

### ❖ Calcaire :

Capacité de stockage : - utile : 2 x 35 000 35 000 tonnes

- dimensions de silos du stockage : 2 x (136.5m x 34m) + 3m

- granulométrie matière inf à 25mm (avec cependant 5% sup. A 25mm)
- humidité maximale : 6% H<sub>2</sub>O [4].

❖ **Argile :**

Capacité de stockage : - utile : 2 x 3 000 3 000 tonnes

- dimensions de silos du stockage : 2 x (39m x 21m) + 3m
- granulométrie matière inf. à 25mm (avec cependant 5% sup. à 25mm)
- humidité maximale : 10 % H<sub>2</sub>O [4].

❖ **Sable :**

Le transport est assuré par des camions ver l'usine à partir de la sablière de Boussaâda

- Capacité des silos de stockage : - utile : 2 000 tonnes.
- dimensions de silos du stockage : diamètre 23m [4].

❖ **Minerai de fer**

Il est transporté par des camions ver l'usine à partir de la mine de ROUINA (AIN DEFLA)

- Capacité des silos de stockage : utile : 2 000 tonnes
- dimensions du stockage : diamètre 23m [4].

❖ **Le gypse :**

Il provient de la carrière d'EL HAKIMIA (SEG) et de la carrière de MEDEA.

Ses matières premières composées essentiellement de chaux (CaO), de silice (SiO<sub>2</sub>), d'alumine (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et d'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), la chaux est apportée généralement par les roches de calcaire, L'alumine, la silice et l'oxyde de fer sont apportés par des argiles [4].



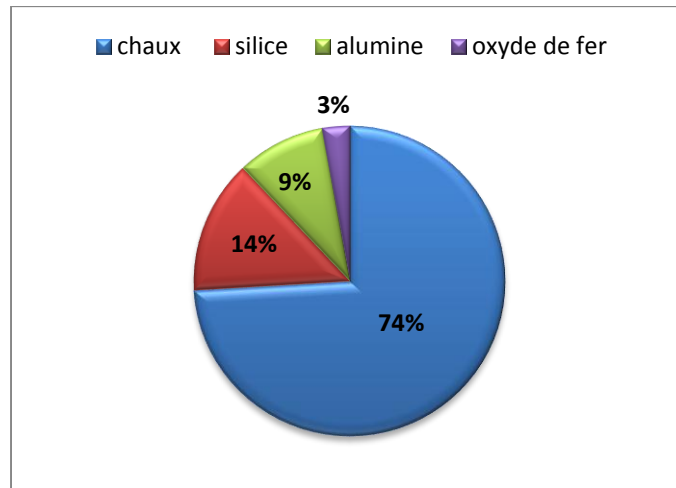


Figure II.2: Composition de la farine crue

### II.3 Processus de fabrication de ciment

La fabrication du ciment comporte tout d’abord une extraction du calcaire et de l’argile dans des grandes carrières, bien équipées mécaniquement. Ce dernier est ensuite broyé très finement, les réactions chimiques qui ne pouvant avoir lieu que pour les grains de quelques micromètres de grosseur. Il existe quatre types de processus différents, la voie humide, le voie sèche, et deux processus intermédiaires appelés voie semi-humide et voie semi- sèche, et il y a des phases communes à tous ces processus. Nous allons par la suite décrire la voie sèche car c’est la voie la plus utilisée et la plus économique [5].

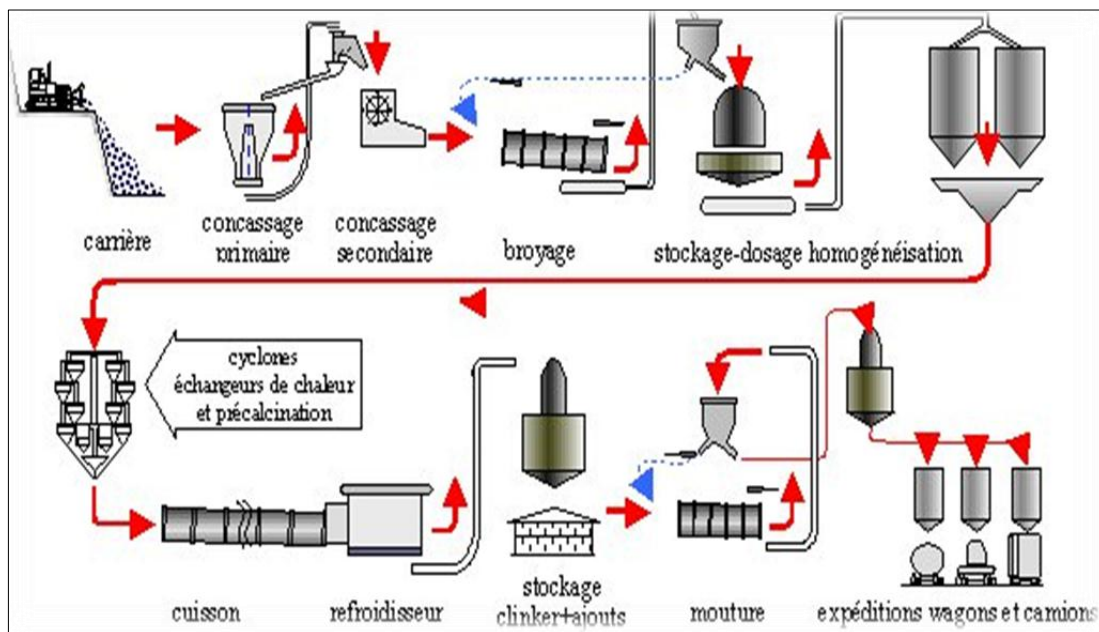


Figure II.3: Schéma de processus de la fabrication de ciment

### A. Extraction et concassage

Les matières premières vierges (comme calcaire et l'argile) sont extraites de carrières (à ciel ouvert) à partir des roches.

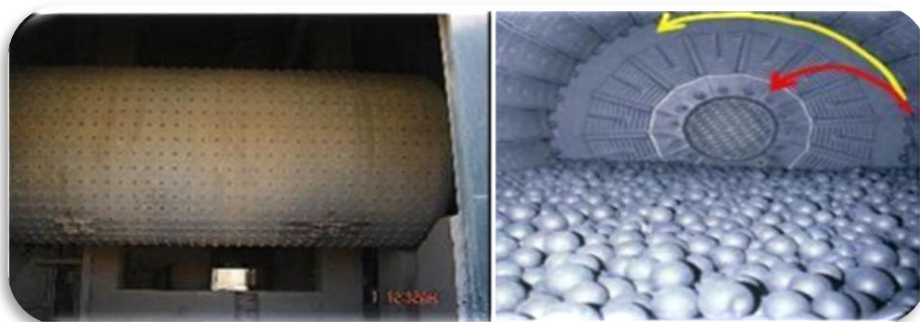
Les roches sont acheminées par des dumpers ou des bandes vers le hall de concassage et concassées en élément de dimension de 50 mm la maximum (le concasseur à marteaux à deux rotors) [6].



**Figure II.4:** Extraction des matières premières

### B. Préparation de cru

Ce stade, les matières premières préalablement concassées (en éléments de 50 mm maximum) sont pré-homogénéisées, séchées puis broyées mécaniquement. D'autres minéraux sont en général ajoutés afin de corriger la composition chimique du mélange. Ce premier broyage permet de produire une fine poudre, c'est le «cru de ciment ». Pour produire un ciment de qualité, toutes les matières premières doivent être soigneusement dosées et mélangées. Mais elle peut varier d'une cimenterie à l'autre en fonction de la qualité du gisement [6].



**Figure II.5:** Broyage des métiers cru

### C. Cuisson

Réalisée dans des fours rotatifs à une température maximale d'environ 1400°C, la cuisson permet la transformation du cru en clinker (forme de grains de 0,5 à 4 cm de diamètre). A la sortie du four, le clinker est refroidi rapidement (à une température de 80 à 250°C) pour éviter une forte cristallisation [6].



Figure II.6: Zone de cuisson

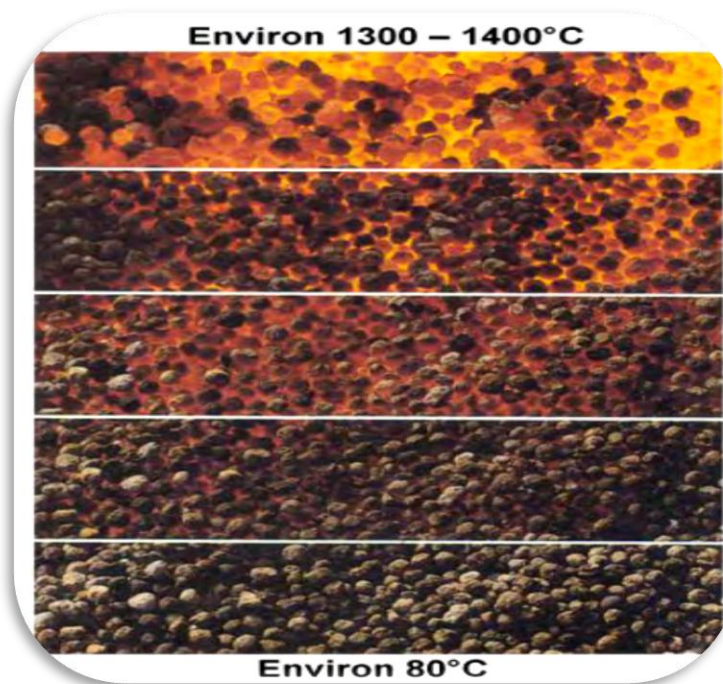
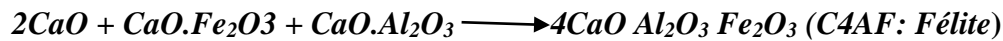
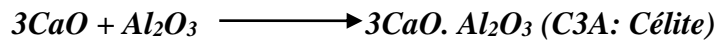


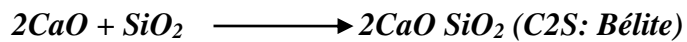
Figure II.7: Clinker à la sortie de four et après le refroidissement

Les phénomènes physico-chimiques au cours de la cuisson :

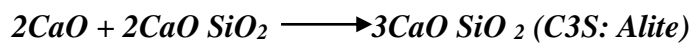
- A 100 °C : évaporation de l'eau mécanique ou eau libre.
- Entre 450 et 550 °C : Evaporation de l'eau de constitution (chimique) ou cristalline.
- A partir de 650 °C : Formation des aluminates et ferrites de calcium.



- A partir de 700 °C : Décomposition du calcaire  $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- Vers 800 °C : Formation du silicate bi calcique ( $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$ )



- A partir de 1250 °C : le silicate tricalcique appelé 'Alite' commence à apparaître
- Partir de la chaux et de la Béélite.



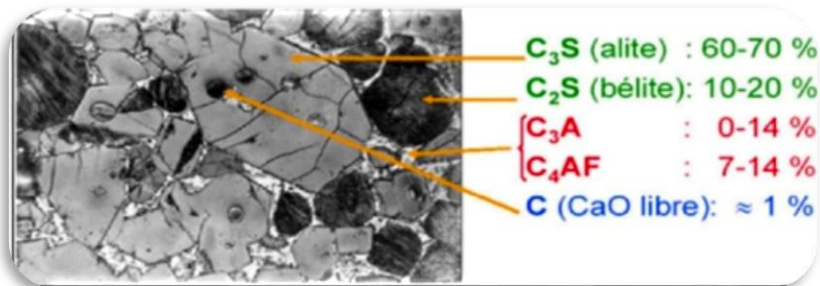
- Entre 1260 et 1450 °C : apparition du premier liquide

T = 1450 °C : Clinkérisation

**Tableau II.1:** Composition chimique de clinker

composant	Formule	Min.
<b>Alite (silicate tricalcique)</b>	$\text{Ca}_3\text{SiO}_5$	45.0 %
<b>Béélite (silicate bicalcique)</b>	$\text{Ca}_2\text{SiO}_4$	5.7 %
<b>Aluminate tricalcique</b>	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$	1.1 %
<b>Aluminoferrite tétracalcique</b>	$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$	2.0 %
<b>Chaux libre</b>	$\text{CaO}$	0.6 %

- Silicate tricalcique également dénommé (alite),  $C_3S$  dont la formule chimique  $3CaO, SiO_2$ .
- Silicate bi-calcique ou (bélite),  $C_2S$ , de formule chimique  $2CaO, SiO_2$ .
- Aluminate tricalcique ou (célite)  $C_3A$ , de formule chimique  $3CaO, Al_2O_3$ .
- Ferro-aluminate tétra-calcique  $C_4AF$ , de formule chimique est  $4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$ .



**Figure II.8:** Micrographie des quatre phases principales de clinker

#### D. Refroidissement

Dès la sortie de four le clinker doit être brusquement refroidi par un refroidisseur à grille :

- Le clinker va avancer à l'intérieur du refroidisseur grâce aux à-coups répétés des grilles sur lesquelles ce dernier repose,
- Au travers des grilles, de puissants ventilateurs vont souffler sous le clinker pour le refroidir,
- Au début ou à la fin du refroidisseur (cela dépend du modèle utilisé), un concasseur à un ou plusieurs rouleaux va broyer de manière grossière le clinker [6].

#### E. Les ajouts

Cette étape consiste à doser les différents constituants du ciment. Ainsi, plusieurs types de ciment peuvent être créés selon les produits ajoutés, appelés "adjuvants". En général, une petite quantité de plâtre (3 à 5 %) et de gypse sont ajoutées au clinker afin de réguler les caractéristiques de prise du ciment. Si le clinker constitue en général l'élément de base du produit fini, notamment pour les ciments Portland, il peut néanmoins être mélangé et broyé avec d'autres minéraux industriels ou naturels :

- le laitier de haut-fourneau (pour obtenir un ciment écologique).
- Des cendres volantes de centrales électriques au charbon.
- Des fillers (matières souvent très fines généralement à base de calcaire).

– différentes formes de sulfate de calcium (gypse, anhydrite) qui peuvent être utilisés pour réguler le temps de prise du ciment, notamment pour faciliter sa mise en œuvre.

Ces constituants de substitution permettent de limiter les émissions de CO<sub>2</sub> et de créer des ciments dotés de propriétés variées [6].

### F. broyage

Le clinker enrichi de ses ajouts est ensuite broyé de façon à obtenir une poudre homogène et très fine : le ciment. Lors de cette étape les cimentiers utilisent traditionnellement un broyeur à boulets. Mais de nouvelles techniques de broyage sont désormais disponibles, comme par exemple les broyeurs à rouleau et les broyeurs verticaux. Ces nouvelles machines permettent de réduire la consommation d'électricité, un autre facteur important de l'impact climatique de cette activité [6].

### G. Stockage, ensachage et expédition

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage, pour être soit ensaché soit expédié en vrac. L'ensachage s'effectue dans des sacs en papier kraft de 50 kg à l'aide de machines capables de remplir de 2000 à 4000 sacs par heure. La livraison en vrac est assurée par camions, wagons ou péniches [6].



**Figure II.9:** Expédition en sac



**Figure II.10:** Expédition en vrac

## II.4 Principales caractéristiques de ciment :

### 1. propriété physique

#### A. La finesse de ciment

C'est la surface spécifique du ciment ou bien la surface totale des grains contenus dans une unité de masse exprimée en  $m^2/Kg$  de poudre l'étude de la finesse ou surface spécifique du ciment est d'autant plus nécessaire puisqu'elle a une influence directe sur les propriétés mécaniques et rhéologiques du mortier et béton. Elle est calculée en fonction du temps au moyen de l'appareil de Blaine ou « perméabilimètre de Blaine » [7].

#### B. Consistance

La consistance normale caractérise la propriété rhéologique des pâtes. Elle est déterminée par la méthode décrite par la norme « NA 229 » qui consiste en la détermination de la quantité d'eau qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte ciment [8].

#### C. Temps de prise

Le début ou la fin de prise dépend de plusieurs paramètres, il varie notamment suivant la composition chimique et la finesse de mouture de ciment étudié, il dépend aussi de la température ambiante et, le cas échéant, des dosages en adjuvant, utilisés à une même température et sans adjuvant, deux ciments différents pourront se distinguer, par une plus ou moins grande rapidité de prise. L'objectif de l'essai est de définir, pour un ciment donné, un temps qui soit signification de cette rapidité de prise [9].

##### 1) Début de prise

Le début de prise est l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'instant du début de gâchage et celui où l'aiguille de Vicat ne s'enfonce pas jusqu'au fond c'est-à-dire s'arrête à une distance du fond du moule conique

##### 2) La fin de prise

C'est le temps qui sépare le début de gâchage de ciment jusqu'au moment où la sonde portant l'aiguille ne s'enfonce plus dans la pâte.

## D. Refus

La détermination du pourcentage des refus de ciment se fait après le broyage. Les refus sont déterminés pour contrôler l'état de fonctionnement du broyeur et le degré du broyage [9].

## 2. propriétés chimique

### A. Hydratation de ciment

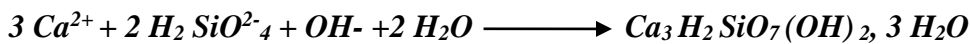
L'ajout de l'eau à du ciment donne un fluide qui se transforme assez rapidement en une masse durcie. Cette transformation est obtenue grâce à l'hydratation du ciment. Cette hydratation est un ensemble de réactions chimiques qui interviennent dès le début de gâchage et qui se poursuivent dans le temps, pendant plusieurs mois [10].

#### 1) Hydratation du silicate tricalcique (C3S)

Au contact de l'eau, le silicate tricalcique se dissout superficiellement en libérant des ions silicates  $\text{H}_2\text{SiO}_4^-$  des ions hydroxydes  $\text{OH}^-$  et des ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  dans la solution [10].

Selon Regourd, l'hydratation du C3S conduit à la formation de trois produits distincts

- Le silicate de calcium hydraté (C-S-H) suivant la réaction :



#### 2) Hydratation du silicate bicalcique ( $\beta$ C2S)

Le silicate bicalcique se comporte comme le silicate tricalcique en donnant des C-S-H semblables avec une certaine différence dans la microstructure. Cependant, les principales différences résident dans l'absence d'une sursaturation marquée en portlandite et dans un flux de libération de chaleur plus faible. Si le degré de sursaturation est en relation avec la germination de la portlandite, la faible sursaturation autour des grains de  $\beta$ C2S peut expliquer sa réactivité moins importante par rapport à celle du C3S au jeune âge [10].

#### 3) Hydratation de l'aluminate tricalcique (C3A)

Les études portant sur l'hydratation du C3A montrent clairement l'influence de cette réaction sur le comportement rhéologique initial du ciment. Contrairement aux phases silicatées, le sulfate de calcium joue un rôle crucial sur l'hydratation du C3A et les hydrates formés sont différents

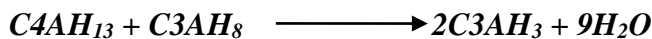


(morphologie, structure, composition) selon que le processus d'hydratation a lieu en absence ou en présence de « gypse »

En absence de « gypse », une réaction accélérée se produit et conduit à la formation d'aluminates hydratés hexagonaux suivant la réaction :



Ces hydrates hexagonaux ne sont pas stables et se transforment au cours du temps sous l'action de la chaleur d'hydratation du C3A en hydrate cubique C3AH6, plus stable, suivant la réaction :



Ces réactions sont la cause principale de la prise rapide des ciments Portland lorsque la quantité de « gypse » présente dans le ciment est insuffisante [10].

#### 4) Hydratation de l'aluminoferrite de calcium (C4AF)

L'hydratation du C4AF est similaire à celle du C3A. Cependant, le C4AF réagit moins vite que le C3A. Son hydratation n'est toujours pas totalement élucidée et est souvent ignorée dans les publications portant sur l'hydratation des ciments [10]. Les réactions mises en jeu lors de l'hydratation sont les suivantes :

- Sans gypse :  $C4AF + H_2O \longrightarrow C4(AF) H_{13}$
- Avec gypse :  $C4AF + \text{gypse} + H_2O \longrightarrow C4(AF) SH_{12}$

### 3. Propriétés mécaniques

#### A. Flexion-compression

Ils ont pour but de mesurer les résistances aux différentes contraintes au bout d'un certain temps. Les essais de flexion et de compression permettent la détermination de la contrainte de rupture à la traction par flexion et compression des mortiers [10].

## 4. Spectrométrie de fluorescence X

La spectrométrie de fluorescence X est une technique d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Cette technique peut être utilisée pour des matériaux très variés : minéraux, céramiques, ciments, métaux, huiles, eau, verres... sous forme solide ou liquide [11].

Dans le laboratoire de l'usine cette méthode d'analyse permet de :

- Qualifier les éléments chimiques présents dans un échantillon c'est-à-dire connaître les éléments constituant l'échantillon (exemple : Calcium, Silicium, Aluminium, Fer...)
- Quantifier les éléments présents c'est-à-dire connaître leur teneur (exemple : 70% de calcium, 8% de silicium...).

A tous les stades de la fabrication, de la carrière à l'expédition des échantillons sont prélevés et analysés, une surveillance de la production garantit une qualité élevée constante. Les méthodes de contrôle des ciments sont décrites dans les normes Algériennes et normes équivalentes EN 197. Le traitement statistique des résultats de prélèvement à l'expédition doit reprendre aux exigences de la norme 197-1

### III.1 propriétés physiques

#### A. La finesse de ciment

##### 1) Principe de l'essai

La méthode consiste à mesurer le temps mis par un volume d'air donné pour traverser un lit de ciment avec des dimensions et une porosité spécifique.

##### 2) Réactifs et appareillage :

- Cellule de perméabilité.
- Disque perforé.
- Piston plongeur.
- Balance de précision.
- Manomètre.
- Chronomètre.
- Papier filtre.
- Entonnoir.
- Graisse légère.
- Liquide manométrique.



**Figure III.1:** Perméabilimètre de

##### 3) Mode opératoire :

- On prend une masse déterminée de ciment.
- On forme un lait de ciment :
- On place la grille au fond de la cellule. Appliquer sur cette grille, au moyen d'une tige à face inférieure plane et d'une équerre, un disque neuf de papier-filtre.
- On verse le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir.
- On donne quelques légères secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du liant, puis placer sur celui-ci un autre disque neuf de papier filtre.

- On tasse avec précaution au moyen du piston en évitant la remontée de la poudre au-dessus du papier filtre jusqu'à ce que le collier vienne buter contre le haut de la cellule.
- On retire le piston lentement (Il est commode de pratiquer une légère rotation alternative).
- On vérifie le niveau du liquide du manomètre qui doit affleurer au trait inférieur.
- On aspire lentement au moyen de la poire l'air du tube jusqu'à ce que le niveau du liquide atteigne le trait supérieur.
- On ferme le robinet. Mettre en marche un chronomètre sensible au cinquième de seconde quand le niveau de liquide atteint le deuxième trait.
- L'arrêter quand le niveau de liquide atteint le troisième trait.
- On note le temps écoulé  $t$  ainsi que la température de la pièce.
- On fait trois mesures et prend la moyenne arithmétique des trois temps.

**Calcul et expression des résultats :**

$$SSB = K * t \text{ (cm}^2 \text{ / gr)}$$

Où :

SSB : surface spécifique de Blaine

K : Constante de l'appareil.

t : Temps mesuré en secondes (s).

## **B. La consistance**

### 1) Principe de l'essai :

La consistance est évaluée en mesurant le degré d'enfoncement de la sonde de consistance de l'appareil de Vicat sous l'effet de la charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la consistance est fluide.

Le temps de fin de prise correspond au temps que met le mortier pour arrêter l'enfoncement de l'aiguille à une certaine profondeur normaliser. Le début correspond à 2.5 mm du fond et la fin de prise correspond à 20.5 mm du niveau supérieur.

### 2) Appareillage

Appareille de Vicat.



**Figure III.2:** Appareille de Vicat

### 3) Préparation de la pate

On mélange 500 g de ciment avec 125 ml d'eau dans un malaxeur jusqu'à l'obtention d'une pâte.

La durée de cette opération est de 150 secondes.

### 4) Vérification de la consistance normale

- Mettre la pâte de ciment au-dessus de la sonde et la régler jusqu'au zéro.
- La sonde est amenée à la surface de la pâte et relâchée sans vitesse. La sonde alors s'enfonce au centre de la pâte
- Noter la norme indiquée sur la graduation

## C. Le refus

### 1) Matériel et appareillage utilisé

-Un tamis de 40  $\mu\text{m}$

-appareil de tamisage (une tamiseuse)



**Figure III.3:** Appareil de tamisage (Alpin)

## 2) Mode opératoire

- On Pèse 5 g de ciment
- On met le tamis sur l'appareil et converse la quantité de ciment dans le tamis.
- On lance la tamiseuse (durée de 5 min)
- La quantité de ciment qui reste dans le tamis est le refus.

## III.2 propriétés chimique

### B. Méthodes d'analyse chimique

Les méthodes classiques d'analyse chimique utilisées au niveau de la cimenterie de Sour el Ghozlane selon la norme « NA 442 » sont de deux types :

- Attaque par fusion
- Attaque par acide

#### 1) Attaque par fusion alcaline

L'attaque par fusion alcaline est utilisée uniquement pour la matière non cuite ; c'est-à-dire le cru dont le mode opératoire est le suivant :

- On prend un creuset en platine propre et sec, et on dépose 1 g de matière crue puis on ajoute une mesure de carbonate double de sodium (le bicarbonate). On mélange et on couvre avec une deuxième mesure (jouant le rôle d'un fondant), et on remet le couvercle en platine pour éviter de perdre notre matière au cours de la calcination dans le four à la température de 1000 °C pendant 20 minutes.
- Ensuite, on refroidit la base du creuset avec de l'eau distillée et puis on le met dans un bécher de 600 ml et on ajoute 20 ml de l'acide chlorhydrique (HCl) pur et un peu d'eau distillée.
- Une fois la matière enlevée du creuset, le faire sortir en le rinçant. On ajoute 10 ml de HCl et 15 ml d'eau distillée. On met le bécher dans le bain de sable jusqu'à évaporation à sec (le séchage complet) ; mais dans le laboratoire de la cimenterie, ils mettent sur la plaque chauffante pour réduire le temps.
- Enfin, On prépare une fiole de 500 ml et on filtre, et lavé plusieurs fois le filtre.

- Puis on complète la fiole jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée pour le dosage des oxydes qu'ils seront détaillés dans le cas de l'attaque par acide et on recueille le filtre pour avoir la Silice.

## 2) Attaque par acide

L'attaque par acide est utilisée pour la matière cuite ; à savoir le clinker et le ciment dont le mode opératoire [9] est le suivant :

- On pèse 2g de matière cuite et la faire introduire dans un bécher sec de 500 ml.
- Ajouter ensuite 10 ml d'acide perchlorique et quelques gouttes d'eau distillée.
- Avec une baguette, remuer jusqu'à ce que le produit soit bien solubilisé dans l'acide.
- Mettre l'ensemble sur un bain de sable jusqu'à séchage complet de la solution.
- On le retire lorsqu'on n'observe plus les fumées blanches qui se dégagent.
- Après séchage complet, on ajoute environ 150 ml d'eau distillée tiède et 10 ml d'acide chlorhydrique pur dans le bécher et on le laisse chauffer sur une plaque chauffante.
- La solution chaude est filtrée dans une fiole jaugée de 500 ml puis on complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge et on recueille le filtre pour avoir la Silice

### ➤ Détermination de la chaux libre CaOL:

- On pèse 1 g de matière (clinker ou ciment), puis mettre dans un erlenmeyer propre et bien séché.
- Ajouter ensuite 50 ml d'éthylène glycol et on chauffe notre solution à 90 °C, puis on filtre (filtre moyen).
- On ajoute à la solution filtrée quelques gouttes de bleu de méthylène ; qui donne la couleur bleue et on titre avec HCl jusqu'à l'apparition de la couleur jaune.
- Le pourcentage de la chaux libre est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{CaOL} = T \times V_{\text{CaOL}}$$

Où : T : titre de HCl.

% CaOL : pourcentage de la chaux libre.

$V_{\text{CaOL}}$  : le volume de la solution

- Détermination de la perte au feu (PAF) :
- On prend une capsule en platine propre et sèche puis on met 2 g de matière cuite. On pèse l'ensemble ; soit P1.
  - Ensuite, On met la capsule en platine dans un four à moufle pour la calcination à température de 1000 °C pendant 1 heure.
  - On sortit la capsule en platine et on la pèse froide ; soit P2.
  - La P.A.F est déterminée selon la formule suivante :

$$PAF = (P1 - P2) \times 100/2$$

Où : PAF : perte à feu

P1 : La masse pesée avant la cuisson

P2 : La masse pesée après la cuisson

- Détermination des résidus insolubles :

Après la première filtration du  $SO_3$ , et avant d'ajouter le  $BaCl_2$  dans la solution (filtra), on retire le papier filtre et son contenu dans un bécher propre et on le déchire. Puis, on ajoute 5 g de bicarbonate de sodium et on verse 150 ml d'eau distillée. On laisse le bécher sur la plaque chauffante jusqu'à l'ébullition.

- Ensuite, on filtre la solution (filtre rapide) et puis on rince le papier filtre avec 25 ml de HCl et 25 ml d'eau distillée, on rince à nouveau avec de l'eau distillée pour débarrasser tous les chlorures présents sur le filtre.
- Ensuite, on pèse un creuset en platine propre et sec et on note (P1). On met le papier filtre dans le creuset en platine et on met dans le four à température de 1000° C pendant 20 minutes.
- Puis on retire le creuset et on laisse le creuset se refroidit et puis on pèse le creuset et on note (P2).

$$\% \text{ Résidus Insolubles} = (P2 - P1)$$



### III.3 Propriétés mécaniques

Ces essais est pour le mesures de la résistance à la flexion et à la compression

#### 1) Mode opératoire

##### 1. préparation des mortiers :

- On pèse 450g de ciment et 225g d'eau. On introduit les dans un malaxeur ; on verse 1350g da sable normalisé dans le malaxeur et on met le malaxeur on marche jusqu'au l'obtention d'une pate homogène.
- Ensuite-on verse le mélange dans le moule à l'aide d'une spatule et on met le moule dans l'appareil à choc pour dégager les bulles d'air et on racle la surface du moule.
- Après, on met le moule dans la chambre humide pendant 24 heures.
- Ensuite on fait le démoulage et on conserve les éprouvettes dans des casiers remplis par l'eau ; pour faire la casse de 7 jours et même de 28 jours dans notre étude.



Figure III.4: le sable



Figure III.5: le ciment



Figure III.6 : L'eau de robinet



Figure III.7: Le malaxeur



Figure III.8 : L'appareil de choc et les moules

Pour la mesure de la flexion et la compression, on fait la casse des mortiers après 7 jours et 28 jours a avec une machine d'essai mécanique.



Figure III.9: Machine d'essais mécaniques

## III.4 Spectrométrie de fluorescence X

### 1. Principe

L'échantillon à analyser est placé sous un faisceau de rayons X. Sous l'effet de ces rayons X, les atomes constituant l'échantillon passent de leur état fondamental à un état excité. L'état excité est instable, les atomes tendent alors à revenir à l'état fondamental en libérant de l'énergie, sous forme de photons X notamment. Chaque atome, ayant

une configuration électronique propre, va émettre des photons d'énergie et de longueur d'onde propres. C'est le phénomène de fluorescence X qui est une émission secondaire de rayons X, caractéristiques des atomes qui constituent l'échantillon. L'analyse de ce rayonnement X secondaire permet à la fois de connaître la nature des éléments chimiques présents dans un échantillon ainsi que leur concentration massique [11].



Figure III.10 : Cubix XRF

### III.5 préparation des solutions d'acide et des mortiers :

#### 1) Caractéristiques des solutions

Dans cette partie, deux types d'acides sont utilisés pour la mise en solution : l'acide chlorhydrique (HCl) et l'acide perchlorique ( $\text{HClO}_4$ ) à différentes concentrations comme suit : 0.5%, 1% et 2% respectivement.

☞ Caractéristiques d'acide perchlorique ( $\text{HClO}_4$ ) :

- La pureté : 70%
- Masse molaire : 100.46 g/mol
- La masse volumique : 1.67 g/cm<sup>3</sup>

☞ Caractéristiques d'acide chlorhydrique (HCl) :

- La pureté : 37%
- Masse molaire : 36.46 g/mol
- La masse volumique : 1.19 g/cm<sup>3</sup>

## 2) Préparation des solutions d'acide

- ◆ On calcule, tout d'abord, les concentrations nécessaires à la préparation des solutions d'acides (1L d'acide à 0.5%, 1% et 2% respectivement pour chaque type).
- ◆ On met ces volumes dans des fioles jaugées de 5L, et on ajuste le volume jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.
- ◆ Ensuite, on agite bien pour homogénéiser les solutions qui seront prêtes pour l'utilisation.
- ◆ En fin, on les transpose dans les bidons.

### a) Détermination de la masse de HClO<sub>4</sub>

A titre d'exemple, pour une solution de 0.5% de HClO<sub>4</sub>, on a :

$$m_{HClO_4} / (m_{HClO_4} + m_{H_2O}) = 0.5\% = 0.005$$

$$m_{HClO_4} = 0.005 \times (m_{HClO_4} + m_{H_2O})$$

On a 1L d'eau pèse environ 1000 g, donc :

$$0.0995 \times m_{HClO_4} = 0.005 \times 1000$$

$$m_{HClO_4} = 5/0.995$$

Donc :

$$m_{HClO_4} = 5.025 \text{ g}$$

De la même manière, on calcule la masse de HClO<sub>4</sub> pour les autres concentrations. Les valeurs obtenues sont données dans le tableau suivant :

**Tableau III.1:**Résultats de masse de HClO<sub>4</sub>

Concentration de HClO <sub>4</sub> (%)	0.5	1	2
Masse calculée de HClO <sub>4</sub> (g)	5.025	10.10	20.4

**b) Calcul du volume HClO<sub>4</sub>**

A titre d'exemple, pour une solution de 0.5% de HClO<sub>4</sub>, on a :

- La masse volumique de HClO<sub>4</sub> est de 1.67 Kg/L ( $\rho = 1.67 \text{ g/cm}^3$ ).
- La pureté est de 70 %.

On a : 1L de cette solution contient 1.67Kg de soluté.

$$\frac{m_{\text{HClO}_4}}{(m_{\text{HClO}_4} + m_{\text{H}_2\text{O}})} = 0.005$$

$$m_{\text{HClO}_4} = 5,025 \text{ g}$$

Pour une pureté de 70%, on peut écrire :

Dans : 100g (solution)  $\longrightarrow$  70g de HClO<sub>4</sub>

m (solution)  $\longrightarrow$  5.025 g de HClO<sub>4</sub>

$$m_{\text{solution}} = 7,179 \text{ g}$$

On a:  $\rho = \frac{m_{\text{HClO}_4}}{V_{\text{HClO}_4}}$

$$V_{\text{HClO}_4} = \frac{m_{\text{HClO}_4}}{\rho} = \frac{7,179}{1,67}$$

$$V_{\text{HClO}_4} = 4,3 \text{ mL}$$

Le tableau suivant donne les volumes calculés pour les trois concentrations.

**Tableau III.2:**Résultats de volume de HClO<sub>4</sub>

Concentrations(%)	0.5	1	2
Volumes calculés (ml)	4.3	8.64	17.45

Par analogue, on calcul les masses et les volumes d'acide chlorhydrique pour les trois concentrations. Les valeurs trouvées sont groupées dans les tableaux suivants :

**Tableau III.3:** Les masses de HCl à différentes concentrations

Concentration de HCl (%)	0.5	1	2
Masse calculée (g)	5.025	10.10	20.4

On sait que :

- La masse volumique de HCl est de 1.19 Kg/L ( $\rho = 1.19 \text{g/cm}^3$ ).
- La pureté est de 37%

**Tableau III.4:** Les volumes calculés de HCl à différentes concentrations.

Concentration de HCl(%)	0.5	1	2
Volume calculé (ml)	11.4	22.9	46.33

### 3) Préparation du mortier

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques de ciment et notamment la résistance à la compression. Ce mortier est réalisé conformément à la norme EN196-1. C'est le mélange des éléments secs (1350 g de sable normalisé et 450 g de ciment) avec un rapport eau/ ciment égale à 0.5 ( $E/C = 0,5$ ).

☞ N.B : L'eau de gâchage est l'eau potable de robinet.

### 4) Procédure expérimentale

Les échantillons d'essais sont des éprouvettes prismatiques ( $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ).

Après démoulage des mortiers, ces éprouvettes sont divisées :

- Celles qui sont immergées dans les solutions d'acides à différentes concentrations (0.5 ; 1 et 2 % en HCl et/ou  $\text{HClO}_4$ ) pour des séjours 7 et 28 jours.
- Celles qui sont immergées dans l'eau potable pour des séjours 7 et 28 jours.

Le jour de l'essai, les parties attaquées des éprouvettes sont nettoyées avec de l'eau puis les laissées sécher. Après une demi-heure, on évalue :

↳ La résistance à l'attaque chimique selon la variation de masse par :

$$\Delta M = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

Où :  $M_1$  et  $M_2$  étant respectivement les masses avant et après l'immersion dans le milieu considéré.

↳ Les résistances à la flexion et à la compression sont mesurées avec la machines d'essai mécanique après 7j et 28j.

Le traitement de l'échantillon avant l'analyse est très importante dans le monde industriel, car le mode de préparation ainsi que les conditions de traitement des échantillons influent sur les résultats.

Les quatre tableaux dans ce chapitre montrant les résultats d'analyse du ciment utilisé dans la pratique.

### IV.1 Analyse chimique

Les analyses sont réalisées au laboratoire d'essais chimiques. Le type de ciment utilisé est le Ciment Portland au calcaire (CEM II/A-L 42,5N). Les résultats obtenus par voie chimique et par la fluorescence sont affichés dans les tableaux ci-dessous.

#### ☞ Par voie chimique

**Tableau IV.1:** Analyse chimique de ciment

Constituants	Valeur	Les normes
Perte au feu %	7.58	[7-8]
Teneur en anhydride sulfurique SO <sub>3</sub> %	1.59	[1.5-2]
Résidus insolubles %	2.65	[1.77-3]
Teneur en magnésium MgO%	2	[1.5-2]
Teneur en chlorure	0.005	≤0.01

#### ☞ Par fluorescence X

**Tableau IV.2 :** Analyse chimique par fluorescence X

Constituants	Valeurs
% SiO <sub>2</sub>	21.1
% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.09
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.34
% CaO	65.29
% MgO	2.11
% K <sub>2</sub> O	0.85
% Na <sub>2</sub> O	0.12
% SO <sub>3</sub>	2.9



### ☞ Caractérisation minéralogique

Les caractéristiques minéralogiques du ciment sont illustrées dans le tableau IV.3.

**Tableau IV.3:** Caractéristiques minéralogiques

Constituants	Valeur	Les normes
<b>C<sub>3</sub>S</b>	62.76	[55-65]
<b>C<sub>2</sub>S</b>	13.19	[10-20]
<b>C<sub>3</sub>A</b>	7.84	[7-9]
<b>C<sub>4</sub>AF</b>	10.15	[10-12]
<b>CaO libre</b>	0.9	/

#### **a. Interprétation de l'analyse chimique du ciment**

La composition chimique est un facteur déterminant pour la résistance des ciments aux agents agressifs.

- ☞ Les résultats des analyses présentés sur le tableau IV.1 se situent dans la fourchette des valeurs de la norme algérienne NA « 442 ».
- ☞ L'augmentation de pourcentage des oxydes (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) par rapport aux normes sélectionnées influent sur les propriétés de ciment :
  - Une cuisson difficile par manque de fondant.
  - Une prise rapide.
  - Stabilité du volume de gonflement.
  - Résistance initiale élevée.
  - Haute résistance finale.

La perte au feu (PAF) et la chaux libre (CaO) dépend de la matière ajoutée (l'ajout de calcaire), dans le ciment utilisé à la pratique. La teneur en perte au feu est moins importante par rapport à la valeur souhaitée.

## IV.2 Analyse physique

Les analyses ont été effectuées dans le laboratoire des essais physiques de la cimenterie.

Les résultats sont représentés par le tableau IV.4.

**Tableau IV.4:** Analyse physique

Essai	Valeurs		Les normes
<b>Temps de prise (h)</b>	Début	02 h55	[145-155]
	Fin	05 h 45	[290-300]
<b>E/C (%)</b> [E : Eau (ml) C : consistance (mm)]	27%		[25-26]
<b>S.S.B (Surface Spécifique Blaine) (cm<sup>2</sup>/g)</b>	4050		[4000-4050]
<b>Expansion à chaud (mm)</b>	0		[0-0.1]
<b>Refus</b>	15.15g		/

### a. Interprétation de l'analyse physique du ciment

Les résultats d'analyse sont conformes à la norme algérienne « NA 442 ». Cependant, nous notons ce qui suit :

- La consistance normalisée (E/C) traduit sur le temps de prise qui reste conforme à la norme NA « 442 ».
- Les ciments se présentent sous forme de poudre finement divisée. Cette finesse est une caractéristique importante car lors du gâchage, plus la surface de ciment en contact avec l'eau est grande plus l'hydratation est rapide et complète.

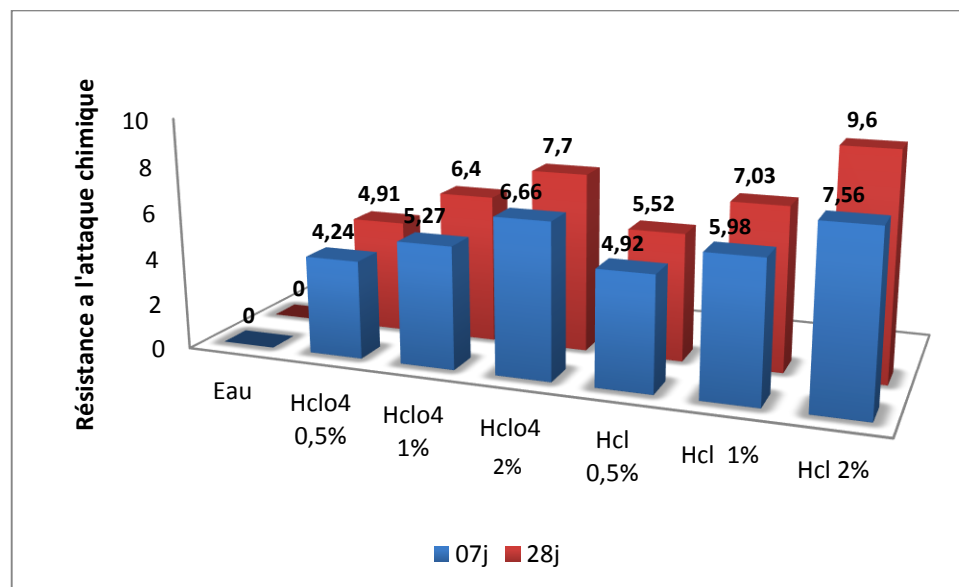
### IV.3 Résistances chimiques et mécaniques

Cette étude expérimentale, nous a permis d'obtenir des résultats concernant l'estimation de la durabilité des mortiers à l'attaque chimique dans un milieu agressif à différents pourcentages d'acide chlorhydrique et d'acide perchlorique pour des séjours différents d'une part et les résistances mécaniques à la compression et/ou à la flexion d'autre part.

A titre comparatif, les mêmes essais ont été effectués sur des échantillons témoins (le milieu est l'eau potable).

### IV.4 Résistance à l'attaque chimique

Les résultats relatifs à l'attaque chimique des éprouvettes sont donnés par le tableau suivant :



**Figure IV. 1 :** Résistances à l'attaque chimique de ciment en fonction de l'âge.

#### a. Interprétation des résultats relatifs à l'attaque chimique

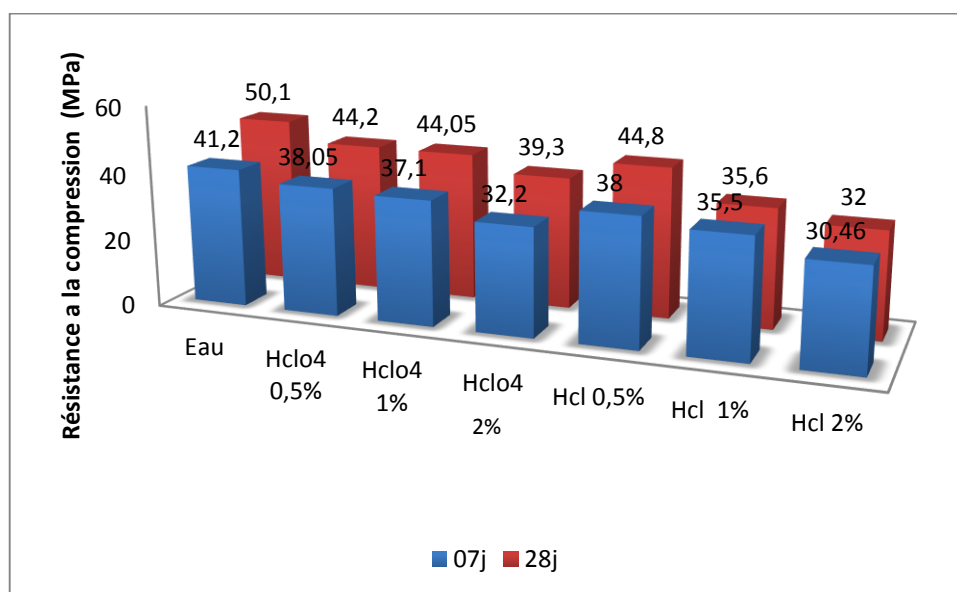
La figure IV.1 représente les résistances à l'attaque chimique en fonction de l'âge des mortiers conservés dans les deux acides à différentes concentrations. Les valeurs obtenues évoluent progressivement dans le temps, ou nous avons noté une évolution rapide pour l'acide HCl à 2%.

L'apparition d'une couche sur les éprouvettes annonce le début de dépôt de composés expansifs provoquant ainsi l'expansion et l'éclatement du mortier. Mais pour

les mortiers conservés dans l'eau potable, on a une stabilisation. Ce qui veut dire que les agents agressifs contenus dans les acides réagissent avec les phases hydratées du mortier en provoquant une déstabilisation.

#### IV.5 Résistances mécaniques

Les résultats des résistances à la flexion et à la compression aux âges 7 et 28 jours des éprouvettes immergées dans l'eau potable (témoins) et de celles immergées dans les solutions d'acides sont publiés par les graphes suivants :

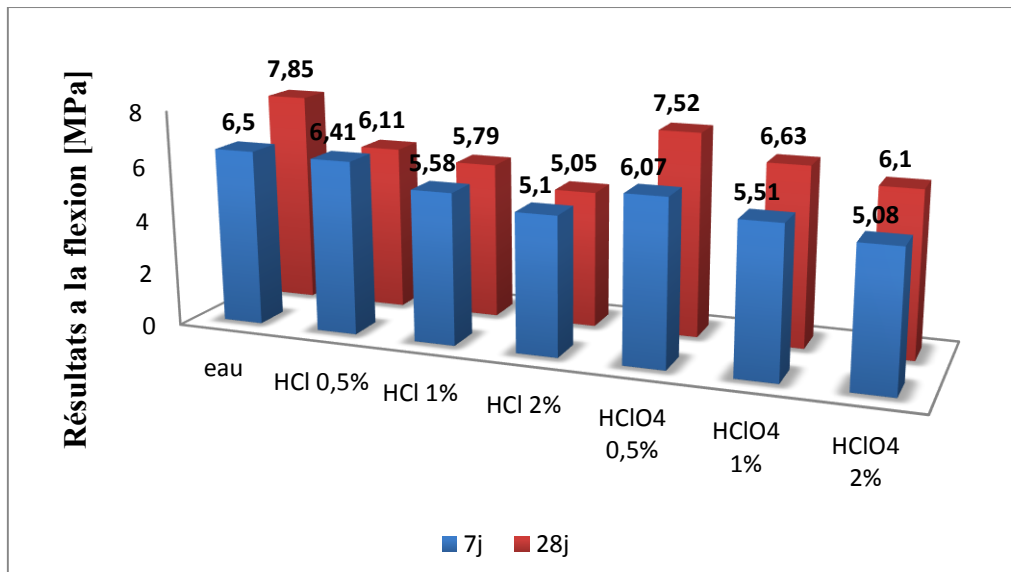


**Figure IV.2 :** Evaluation de la résistance à la compression de ciment en fonction de l'âge.

##### a. Interprétation des résultats relatifs à la compression

La figure IV.2 montre la variation résistance à la compression des éprouvettes des mortiers de ciment immergées dans différents milieux.

L'ensemble des résultats d'analyses des différents éprouvettes montrent qu'il y a une augmentation de la résistance à la compression pour les six milieux (témoins ; chlorhydrique 0.5%, 1% et 2% ; perchlorique 0.5%, 1% et 2%).



**Figure IV.3 :** Evaluation de la résistance à la flexion de ciment en fonction de l'âge

### b. Interprétation des résultats relatifs à la flexion

Les résultats de la résistance à la flexion des éprouvettes des mortiers de ciment immergées dans différents milieux sont représentés sur la figure ci-dessous.

Les résultats d'analyses coïncidant avec une augmentation de la résistance à la flexion en fonction de temps pour les divers milieux usagés (témoins ; chlorhydrique 0.5%, 1% et 2% ; perchlorique 0.5%, 1% et 2%).

Dans les deux essais mécaniques, les résultats en concernant la solution l'acide chlorhydrique à différentes concentrations, nous n'avons pas enregistré une grande différence entre la résistance de 7 j et 28 j.

### IV.6 Observation visuelle des éprouvettes

Le changement apparent de la couleur des éprouvettes et l'éclatement montrent l'effet de l'acide sur les propriétés du ciment. Ce qui veut dire que les agents agressifs réagissent avec le ciment en provoquant une déstabilisation.



**Figure IV.4** : Etat d'éprouvette après immersion de 28 jours dans 2% de  $\text{HClO}_4$



**Figure IV.5** : Etat d'éprouvette après immersion de 28 jours dans 2% de  $\text{HCl}$

Ce travail est une étude sur les propriétés physico-chimiques et mécaniques des mortiers à base de ciment dans un milieu agressif contenant des acides (HCl et HClO<sub>4</sub>).

Les caractéristiques de ciment ont été déterminées en utilisant les méthodes classiques physico-chimiques. A travers les résultats d'analyses effectués, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les résistances à la flexion et à la compression sont sensibles aux milieux dans lesquels les éprouvettes ont été conservées :
  - ☞ Haute résistance pour les éprouvettes immergées dans l'eau potable après 28 j.
  - ☞ Diminution de ces résistances pour les éprouvettes immergées dans les acides HCl et HClO<sub>4</sub> par rapport aux autres immergées dans l'eau.
  - ☞ Faibles résistances pour les éprouvettes immergées dans l'acide chlorhydrique (HCl) à 2%.
- L'importance du degré d'agressivité du milieu acide sur la durabilité des mortiers. Nous constatons qu'il y a une altération totale des éprouvettes et une perte de masse importante accompagnée par un changement de coloration qui est dû aux réactions chimiques entre le liant hydraulique et les milieux acides.
- L'attaque chimique, constatée visuellement, est beaucoup plus significative pour les éprouvettes immergées dans l'acide chlorhydrique à 2%.
- Les conséquences de l'attaque par les acides peuvent être très importantes. D'abord, la formation de produits expansifs entraîne bien souvent des problèmes de fissuration et d'altération du béton. Par la suite la dissolution de ces produits, ce qui influe sur la résistance.
- L'ensemble de ces effets peut éventuellement réduire significativement la durée de vie des ouvrages en béton.

Le présent travail a permis de m'avoir donné l'occasion pour pénétrer dans le milieu professionnel à l'aide du séjour pratique effectué au sein du laboratoire de la cimenterie de Sour El Ghozlane. Nous les remercions très vivement.

## *Références bibliographiques*

---

- [1] J, BARON et J, P OLLIVIER ; La durabilité des bétons. Paris. 1992
- [2] Site web:<http://www.scseg.dz/index.php/article1>
- [3] Site web:<https://www.vicat.fr/nos-solutions/nos-expertises/ciment>.
- [4] M. Venuat; La pratique des ciments, mortiers et bétons. Tome 1 « Caractéristiques deliants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers ». Edition2 ; Collection Moniteur p 277 ;1989.
- [5] Site web :<http://www.ciment.wikibis.com/index.php>.
- [6] L.PLISKIN ; La fabrication du ciment ; Edition Eyrolles – p 217- Paris1993.
- [7]France Bureau de recherches géologiques et minières ; Bulletin: Géologie appliquée, chronique des mines. Section II ; Éditions du B.R.G.M., p65. 1975 ;
- [8] France. Ministère des travaux publics. Commission des Méthodes d'Essai des Matériaux de Construction ; Commission des Méthodes d'Essai des Matériaux de Construction: Première session, Partie 1 ; édition Imprimerie Nationale, p273. 1894
- [9] Nabila BOUALLA ; « Etude de l'influence de l'ajout de la pouzzolane sur les caractéristiques physico- chimiques des ciments » ; Université des sciences et de la technologie d'Oran - Licence 2011
- [10] Jean P. Mercier, Gérald Zambelli, Wilfried Kurz ; Introduction à la science des matériaux ; PPUR presses polytechniques, P127. 1999 ;
- [11] Andrew T. Ellis, Royal Society of Chemistry (Great Britain) ; P. J. Potts, Margaret West ; Portable X-ray Fluorescence Spectrometry: Capabilities for in Situ Analysis ; Royal Society of Chemistry, p 116. 2008
-



## Annexes

---

### **Annexe 1** : le ciment utilisé dans la pratique

#### **Ciment Portland au calcaire CEM II/A-L 42,5N**

Le ciment Portland CEM II /A- L contient de 80 à 94 % de clinker, le reste est composé des constituants suivant repérés par la lettre L : calcaire, la lettre N signifie une résistance à court terme ordinaire.

#### **Usages :**

Le ciment Portland CEM II /A- L 42,5N est généralement utilisé pour les ouvrages en

- ❖ Béton armé, coulé sur place ou préfabriqué.
- ❖ Béton précontraint
- ❖ Béton étuvé ou auto-étuvé
- ❖ Préparation de béton, mortier, coulis et autres mélanges pour la construction et la fabrication de produit de construction.

#### **Analyses et propriétés physico- chimiques :**

##### **Analyses chimiques :**

Perte au feu %	[7-8].
Teneur en anhydride sulfurique SO <sub>3</sub> %	[1,5-2].
Résidus insolubles %	[1,7-3].
Teneur en magnésie MgO %	[1,5-2].
Teneur en chlorure	≤0.01.

##### **Composition minéralogique du clinker :**

Silicates tricalciques, C <sub>3</sub> S%	[55-65].
Silicates bicalciques, C <sub>2</sub> S %	[10-20].
Aluminates tricalciques, C <sub>3</sub> A%	[7-9].
Aluminoferrites tétra calcique, , C <sub>4</sub> AF %	[10-12].

---

**Propriétés physiques :**

Consistance normale de la pate de ciment%	[25-26].
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /gr)	[4000-4300].
Expansion (mm)	[0,0-0.1].

**Temps de prise à 20° C :**

Début de prise (minute)	[145 -155].
Fin de prise (minute)	[290 - 300].

**Résistance à la compression : (NA442/2013)**

2jours, (N/mm <sup>2</sup> )	[18-20].
28jours, (N/mm <sup>2</sup> )	[44-48].

---

**Annexe 2** : les normes (les tableaux sont pris du journal officiel de la république Algérienne N°40 du 2 juillet 2003).

**Tableau A1** : Valeurs de la résistance à la compression des classes de ciments.

Classe	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance au jeune âge		Résistance normal	
	2 jours	7 jours	28 jours	
32,5	/	/	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R (*)	≥ 13,5	/		
42,5	≥ 12,5	/	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R (*)	≥ 20	/		
52,5	≥ 20	/	≥ 52,5	/
52,5 R (*)	≥ 30	/		

**Tableau A2** : Temps de début de prise des ciments.

Classe	Temps de début de prise (min)
32,5	≥ 90
32,5 R	
42,5	≥ 60
42,5 R	
52,5	
52,5 R	

**Tableau A3 : Résistances à l'attaque chimique Variation de la masse  $\Delta M$** 

<b>Résistances à l'attaque chimique</b>			
<b>Variation de la masse <math>\Delta M</math> (%)</b>			
<b>Les milieux</b>	<b>Concentration (%)</b>	<b>7 jours</b>	<b>28 jours</b>
Eau potable	-	0	0
Solution d'acide perchlorique (HClO <sub>4</sub> )	0.5	4.24	4.91
	1	5.27	6.4
	2	6.66	7.7
Solution d'acide chlorhydrique (HCl)	0.5	4.92	5.52
	1	5.98	7.03
	2	7.56	9.60

**Tableau A4: Résistances à la flexion et à la compression des éprouvettes des mortiers de ciment immergées dans différents milieux.**

<b>Les milieux</b>	<b>Concentrations (%)</b>	<b>Résistance à la flexion (MPa)</b>		<b>Résistance à la compression (MPa)</b>	
		<b>7 jours</b>	<b>28 jours</b>	<b>7 jours</b>	<b>28 jours<sup>(*)</sup></b>
Eau potable	-	6.5	7.85	41.2	50.1
Solution HClO <sub>4</sub>	0.5	6.41	7.52	38.05	44.2
	1	5.58	6.63	37.1	44.05
	2	5.1	6.1	32.2	39.3
Solution HCl	0.5	6.07	6.11	38	44.8
	1	5.51	5.79	35.5	35.6
	2	5.08	5.05	30.46	32

(\*)NB : Selon les normes Algérienne, la résistance à la compression à 28 jours doit être dans l'intervalle de [42.5-62.5 MPa]