



## LICENCES CIENCES ET TECHNIQUES

# GENIE CHIMIQUE

### **METHODE DE DETERMINATION DE SILICE LIBRE DANS LES MATIERES PREMIERES**

#### Présenté par:

- ◆ ELKAIMA ELACHI

#### Encadré par:

- ◆ Pr. HASSANE GRECHE (FST FES)
- ◆ Mr. NAJIB HAMRIA (ASMENT TEMARA)

**Soutenu Le 7 Juillet 2022 devant le jury composé de:**

**Pr. HASSANE GRECHE**

**Pr. KHALID MISBAHI**

**Pr. HICHAM CHTIOUI**

**Stage effectué à ASMENT TEMARA**

**Année Universitaire 2021 / 2022**

جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس  
+٠٨٠٧٤٦ ٠٤٨٤ ٢٤٨٢٢٢٠٨ ٠١ ٥٨٧٧٠٠ ١ ٣٠٠  
UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH DE FES



كلية العلوم والتقنيات فاس  
+٠٢٤٧٠١٦ ١ ٢٠٠٠٠١٤١ ٨ ٠١٤٨٤٦٤١ - ٣٠٠  
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE FÈS



## Remerciement

Je tiens à remercier dans un premier temps, toute l'équipe pédagogique de la FST de FES et les intervenants professionnels responsables de la formation Génie Chimique, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Je remercie également professeur HASSANE GRECHE pour l'aide et les conseils concernant les missions évoquées dans ce rapport, qu'il m'apporté lors des différents suivis.

Je remercie professeur KHALID MISBAHI et professeur HICHAM CHTIOUI d'avoir accepté de juger ce projet.

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elles m'ont fait vivre durant ma période de stage au sein de l'entreprise Asment Temara.

Je tiens à remercier M.NAJIB HAMRIA chef de laboratoire, pour son encadrement et sa précieuse aide dans l'accomplissement de notre stage dans les meilleures conditions.



## Liste d'abréviation

- ADG** : Directeur générale de l'administration  
**BK**: Broyeur clinker  
**C<sub>2</sub>S**: Silicate bi calcique  
**C<sub>3</sub>S**: Silicate tricalciques  
**C<sub>3</sub>A**: Aluminate tricalcique  
**C<sub>4</sub>AF**:Alumino ferrite Tétra calcique  
**CPJ** : Ciment portland avec ajout  
**NM**: La norme marocaine  
**QSE**: Qualité, sécurité et environnement  
**RH**: Ressource humaine  
**SI** : Système d'information  
**ISO** : Organisation international standard  
**CC** : Centimètre cube  
**C2, C3** : cyclone



## Table des matières

Introduction générale.....	5
Partie 1 : Présentation de l'Organisme d'accueil .....	6
1. Identification de l'entreprise.....	7
1.1. Société Asment Temara.....	7
1.2. Groupe Votorantim : .....	8
1.3. Historique de l'entreprise .....	8
1.4. Organisation de l'entreprise.....	9
1.5. Service laboratoire.....	10
1.5.1. Les analyses chimiques .....	11
1.5.2. Les essais physiques .....	12
1.6. Gamme de produits de l'entreprise Asment Temara.....	13
1.6.1. Ciment.....	13
1.6.2. Béton.....	14
1.6.3. Granulat .....	14
Partie 2 : chimie et procédé de fabrication du ciment .....	16
1. Chimie du ciment.....	17
1.1. Généralité sur le ciment.....	17
1.1.1. Définition.....	17
1.1.2. Matières premières de base du ciment .....	17
1.1.3. Composition du ciment .....	18
1.1.4. Composition chimique du Clinker .....	18
1.1.5. Composition chimique de la farine : .....	19
2. Procédé de fabrication de ciment.....	20
2.1. Extraction et concassage .....	20
2.2. Pré-homogénéisation .....	21





## Liste des figures

Figure1: Vue globale de l'entreprise d'Asment Temara.....	7
Figure2:Logo de l'entreprise.....	8
Figure3: Organisation de l'entreprise.....	10
Figure4:Les gammes des produits Asment Temara.....	13
Figure5:Granulat finis.....	15
Figure6:Schéma des compositions de ciment.....	18
Figure7:Le procédé de fabrication du ciment.....	20
Figure8: Salle de formation de tas.....	22
Figure9:L'appareil de la finesse et les tamis.....	30
Figure10:La spectromètre par fluorescence aux rayons X.....	31
Figure11:Pourcentage de résidu en fonction de volume HCl.....	34
Figure12 :Pourcentage de refus et résidu pour chaque échantillon.....	35
Figure13:Pourcentage de SiO <sub>2</sub> dans la matière première, le refus et résidu.....	37



### Liste des tableaux

Tableau1 : Composition du clinker et influence sur le ciment.....	18
Tableau2 : Pourcentage des résidus en fonction des volumes HCl.....	33
Tableau3: Pourcentage des refus et des résidus pour chaque échantillon.....	35
Tableau4: Pourcentage de SiO <sub>2</sub> dans les matières premier, les résidus, les refus.....	36
Tableau5: Pourcentage de silice après l'attaque par la soude2%.....	37



## Introduction générale

Dans toute formation structurée et basée sur les objectifs répondant aux exigences du marché de l'emploi, le stage devient un module obligatoire pour valoriser, contrôler et compter les aspects techniques. De contact direct avec une entreprise privée ou établissement public pour assurer une meilleure intégration et une bonne adaptation des étudiants à la vie professionnelle et aussi pour vivre une expérience humainement enrichissante, socialement forte, d'améliorer ses connaissances de l'entreprise, du rapport entre les ouvriers, leur relation avec les supérieurs, la motivation qui peut les animer, comprendre comment ils travaillent, les qualités, les impératifs ; les différentes facettes d'une tâche généralement éprouvante et physiquement difficile.

La faculté des sciences et techniques intègre dans son cursus de formation de troisième année cycle de licence de faire un stage d'application industrielle d'une durée de 8 semaines à effectuer dans des entreprises et des organisations de différentes tailles et activités. Le présent rapport est préparé à l'issue d'un stage de fin de formation que j'ai passé au sein du service de laboratoire Asment Temara qui veille sur le contrôle de qualité des matières premières et de produit fini.

Le besoin d'améliorer la performance de qualité de clinker a fait l'objet de plusieurs études soutenues par la chimie moderne et de la technologie industrielle.

Les travaux effectués et les résultats obtenus font l'objet du présent rapport comportant quatre parties ;

La première partie consiste à une brève présentation de l'organisme d'accueil.

La deuxième partie est consacrée à la description de chimie et procédé de fabrication de ciment qui effectué dans l'usine Asment Temara.

Ensuite, la troisième partie est dédiée la méthode de détermination de silice libre dans les matières premières.

En quatrième partie nous avons exposé les résultats obtenus et les discussions, en fin nous avons terminé notre rapport par une conclusion générale.



## Partie1:Présentation de l'Organisme d'accueil

## 1. Identification de l'entreprise:

### 1.1. Société Asment Temara

Asment Temara est une société ultramoderne qui répond aux normes internationales en matière de fabrication de ciment. Elle s'alimente de deux carrières : l'une fournissant le calcaire et l'autre le schiste. La disponibilité des matières à proximité de l'usine sont deux facteurs favorables à la rentabilité

L'usine est située à 15 Km du sud de Rabat et a été créée en 1976 par le groupe Iaraqui. La société Asment Temara, était une filiale du Groupe portugais Cimpor, est présente au Maroc depuis 1996.

La société dispose d'une cimenterie, six centrales à béton et une Carrière des granulats. L'usine de ciment est d'une capacité annuelle de production de 1,2 millions de tonnes de ciment avec un effectif d'environ 200 employés, réparti comme suit:

36 Cadres

46 Agent de maîtrise

108 Employés et Ouvriers



Figure 1: vue globale de l'entreprise Asment Temara

## 1.2. Groupe Votorantim:

C'est un groupe international avec un capital 100% brésilien. Il est présent dans plus de 20 pays dans différents secteurs tels que le ciment, les métaux, l'acier, l'énergie, le papier et le jus d'orange concentré.

Le groupe brésilien Votorantim, a signé une convention d'investissement avec le Gouvernement, en vue de développer une cimenterie à Meknès, pour un investissement global de 1,45 Mrds DH. Votorantim a récupéré le projet d'Asment Tamara, filiale du portugais cimpor (détenu à 94% par Votorantim. Rappelons que le groupe brésilien fait partie des dix plus grands cimentiers du monde.

Opérant dans l'industrie des matériaux de construction (ciment, béton, granulats et plâtre) depuis 1933, Votorantim Cimentos, partie intégrante de Votorantim, a une capacité de production annuelle de 54,5 millions de tonnes de ciment et un chiffre d'affaires 4,14 milliards d'euros en 2014, ce qui en fait de nous l'une des plus grandes entreprises dans le secteur.[1]



Figure2:logo de l'entreprise

## 1.3. Historique de l'entreprise

Asment Temara fondée en 1976 par Feu Omar Laraoui. Elle a commencé la production du ciment en 1979 avec une capacité de 640000 tonnes par an

✓ En 1986, le fuel est remplacé par le charbon et le coke de pétrole, en vue de rationaliser les couts de production.



✓ En 1996 le groupe portugais cimpor a détenu la majorité de la capitale d'Asment Temara

En parallèle, le groupe cimpor a créé la filiale betocim spécialisée dans la fabrication et la commercialisation du béton prêt à l'emploi.

L'usine a pu doubler sa capacité de production qui atteint aujourd'hui 1,2 Million de tonnes avec un débit journalisé de 2900 tonnes de clinker et 4000 tonnes par jour minimum de ciment sur palettes.

✓ En 2012, Asment Temara a été rachetée par le groupe brésilien votorantim, l'un des plus grands conglomérats industriels d'Amérique latine, et ce dans le cadre de l'achat de la quasi-totalité des actions de cimpor.

✓ En 2013, Asment Temara absorbe la filiale betocim et crée la filiale grabemaro spécialisée dans la production du granulats.

Asment Temara a mis en place un système de management intégré conforme aux exigences des normes ISO 9001 version 2015 et 14001 version 2015 relatives au management de la qualité et de l'environnement

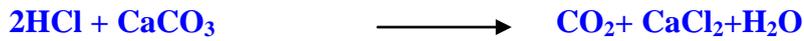
#### **1.4. Organisation de l'entreprise**

La société est gérée par 4 principales directions et un service qualité sécurité environnement piloté par l'ADG tel que décrit dans l'organigramme général ci-joint :

- Direction commerciale;
- Direction usine;
- Direction financière;
- Direction ressources humaines.







### Mode opératoire :

- ✓ Peser 1 g de ciment.
- ✓ Le mettre dans un flacon contenant quelques gouttes d'eau distillée.
- ✓ Introduire soigneusement 10ml d'HCl contenu dans un tube à essai.
- ✓ Fermer le flacon et régler le zéro du calcimètre et fermer son robinet.
- ✓ Renverser le contenu du tube et bien agiter.
- ✓ Laisser refroidir .
- ✓ Lire le volume V de CO<sub>2</sub>.

Donc le **taux d'ajout en calcaire** = V x Coeff

Avec **Coeff** = 100/ (2.24 x %CaCO<sub>3</sub>)

### Analyse complète par fluorescence X :

La méthode de fluorescence X constitue le moyen le plus précis pour les analyses qualitatives et quantitatives des éléments chimiques habituellement présents dans les ciments.



### 1.5.2. Lesessaisphysiques:

Pour la préparation de la pâte normale et du mortier normal, pour la confection des éprouvettes et pour les essais de prise, la température de la salle et des matériaux de travail doit être de 20°C et l'humidité inférieure à 65%.

#### **Essaisdeprise:**

Déterminer le temps de prise d'un ciment, c'est mesurer le temps qui s'écoule entre l'instant où le mélange liant eau a été réalisé et le début de prise.

#### **Déterminationdesrefus:**

Les essais de la granulométrie consistent à passer la matière dans des tamis de différents diamètres (45,63,80 et 90 microns).Le refus de l'un de ces tamis caractérise la granulométrie de la matière analysée.

$$\% \text{refus} = \frac{\text{Massederefus} \times 100}{\text{masseinitiale}}$$

**NB :** plus la masse de l'échantillon est grande plus les résultats sont précis.

#### **Déterminationdela massevolumique:**

La masse volumique est mesurée à partir du densimètre de CHATELIER|, cela consiste à prendre une masse de 25g de l'échantillon et l'introduire dans le densimètre de CHATELIER, le jauger à 0 avec le trichlore, ainsi on détermine le volume de l'échantillon.

**NB:** Le rapport de ces deux paramètres donne directement la masse volumique. Le choix du trichloré comme solvant n'est pas arbitraire, en effet, il ne rentre pas en réaction avec le ciment et il est facilement récupérable après filtration.

#### **La résistance à la flexion et de compression (Essais mécaniques):**

##### **Résistance à la flexion:**

Cette résistance est déterminée à l'aide d'un appareil de flexion, on attend la rupture de l'éprouvette et on prélève la valeur en Newton.

## **Résistance de compression:**

Elle a pour but la détermination des résistances à compression des demis éprouvette après la rupture à la flexion.

### **1.6. Gamme de produits de l'entreprise Asment Temara**

#### **1.6.1. Ciment**

##### **CPJ35**

Ciment destiné à la réalisation de tous types de mortiers de la maçonnerie (enduits, cuvelage, crépissage, mortier de finition, chape...) et aussi dans des bétons non structuraux et non armés. Il est fourni en sac

##### **CPJ45**

Ciment utilisé pour la réalisation de béton structural (structures porteuses, fondations, etc.), béton armé standard, éléments préfabriqués en béton armé ou non (poutres, poutrelles, blocs, tuyaux, etc.) et autres types de projets: barrages, usines, industriels bâtiments, etc.). Il existe en sac et vrac.

##### **CPJ55**

Ce ciment est spécifique à la réalisation d'ouvrages en béton armé fortement sollicité, éléments préfabriqués et de béton armé, réalisation de travaux exigeant un décoffrage rapide et de hautes résistances initiales. Il existe en sac et vrac Le CPJ 55 PM fourni en vrac nommé Prise Mer dédié au milieu marin

##### **CPJ65**

Ce ciment est destiné à la réalisation d'ouvrages en béton armé fortement sollicité, éléments préfabriqués, béton précontraint, coulis d'injection, et pour la réalisation de travaux exigeant un décoffrage rapide et de hautes résistances initiales. Il existe en vrac.



Figure4:les gammes des produits Asment Temara



### 1.6.2. Béton

#### Bétons courants

C'est un béton prêt à l'emploi, souvent utilisé dans les bâtiments, voiries et assainissement. Les bétons de B10 à B45 sont certifiés NM.001.1.008. (Ex: béton de structure).

#### Bétons spéciaux

Ces produits portent des spécifications clients selon la type d'utilisation. Ils constituent une solution technique adaptée en fonction du chantier. Ex (béton lourd est utilisé pour l'isolation radio active).

#### Bétons décoratifs

Il est choisi par nos clients pour une meilleure harmonisation avec l'architecture et l'environnement local. (Ex: Béton désactivé).

#### Les mortiers

C'est un type de béton à base de ciment et sable. La quantité du ciment utilisée dépendu type de mortier et de son utilisation.

### 1.6.3. Granulat

Il produit plusieurs types de granulats pour béton, terrassement et préfabriqué.

Les différents types de granulat :

**Sable concassé ;**

**Sable lavé Gravettes ;**

**Gravas (tout venant).**



Figur5:Granulatfinis

Le ciment d'Asment Temara fait l'objet de contrôles réguliers et approfondis à chaque étape du processus de fabrication, garantissant ainsi la conformité du produit fini à la norme marocaine NM 10.1.004.

Asment Temara est également certifiée ISO 9001 relatif à la qualité et ISO 14001 relatif à l'Environnement[2].



## **Partie2:chimie et procédé de fabrication du ciment**



## 1. Chimie du ciment

### 1.1. Généralité sur le ciment

#### 1.1.1. Définitions

Le ciment est une matière pulvérulente, à base de silicate et d'aluminate de chaux, formant, avec l'eau ou une solution saline, une pâte plastique liante. Après avoir durci dans l'air ou dans l'eau, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité. Sous forme de poudre mélangée à l'eau, le ciment permet d'agréger du sable fin pour produire du mortier, des granulats et du béton.

Ciment portland :Liant hydraulique qui fait prise et durcit en vertu d'une réaction chimique à l'eau nommée hydratation quand on ajoute la pâte (ciment, air et eau) aux granulats (sable et gravier, pierre concassée ou autre matériau granulaire), elle agit comme une colle et lie ensemble les granulats pour former une seule masse[3].

#### 1.1.2. Matières premières de base du ciment

**Calcaire** :Roches sédimentaires, facilement solubles dans l'eau, composées majoritairement de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ , mais aussi de carbonate de magnésium  $\text{MgCO}_3$ .

**Schiste** : Roches de constitution très variable, caractérisées par une texture feuilletée résultant d'une forte compression, de contraintes tectoniques ou du métamorphisme. Ces roches peuvent être sédimentaires ou faiblement métamorphiques dérivant de sédiments essentiellement argileux.

**Gypse** $\text{CaSO}_4$  : Minéral composé de sulfate hydraté de calcium de formule  $\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$  ainsi qu'une roche évaporitique. Le gypse joue un rôle de retardateur de prise entant que composant du ciment. En effet, il retarde la précipitation des aluminates de calcium.

### 1.1.3. Composition du ciment

Nous pouvons rassembler les éléments composant le ciment dans les schéma qui suit:

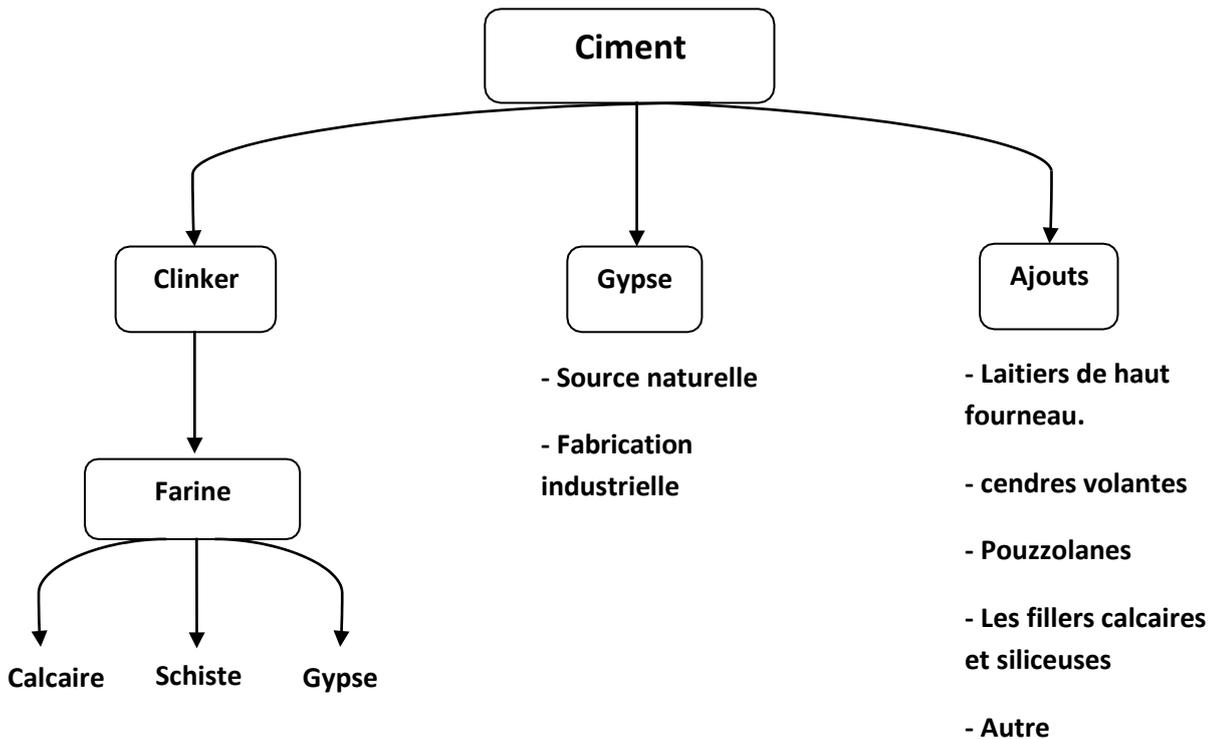


Figure6:schéma des compositions de ciment

### 1.1.4. Composition chimique du Clinker

La composition des clinkers est représentée par quatre grandes phases cristallines caractéristiques de la chimie du ciment. Elles sont en moyenne les suivantes :





### 1.1.5. Composition chimique de la farine:

Les éléments majoritaires qui définissent les propriétés hydrauliques:

<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>
------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------

Les éléments minoritaires qui influencent le processus d'hydratation et l'environnement

<b>MgO</b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>NaO</b>
<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>
<b>Cl<sup>-</sup></b>	<b>F<sup>-</sup></b>		

## 2. Procédé de fabrication de ciment

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité. Ce procédé comporte les étapes de fabrication suivantes:

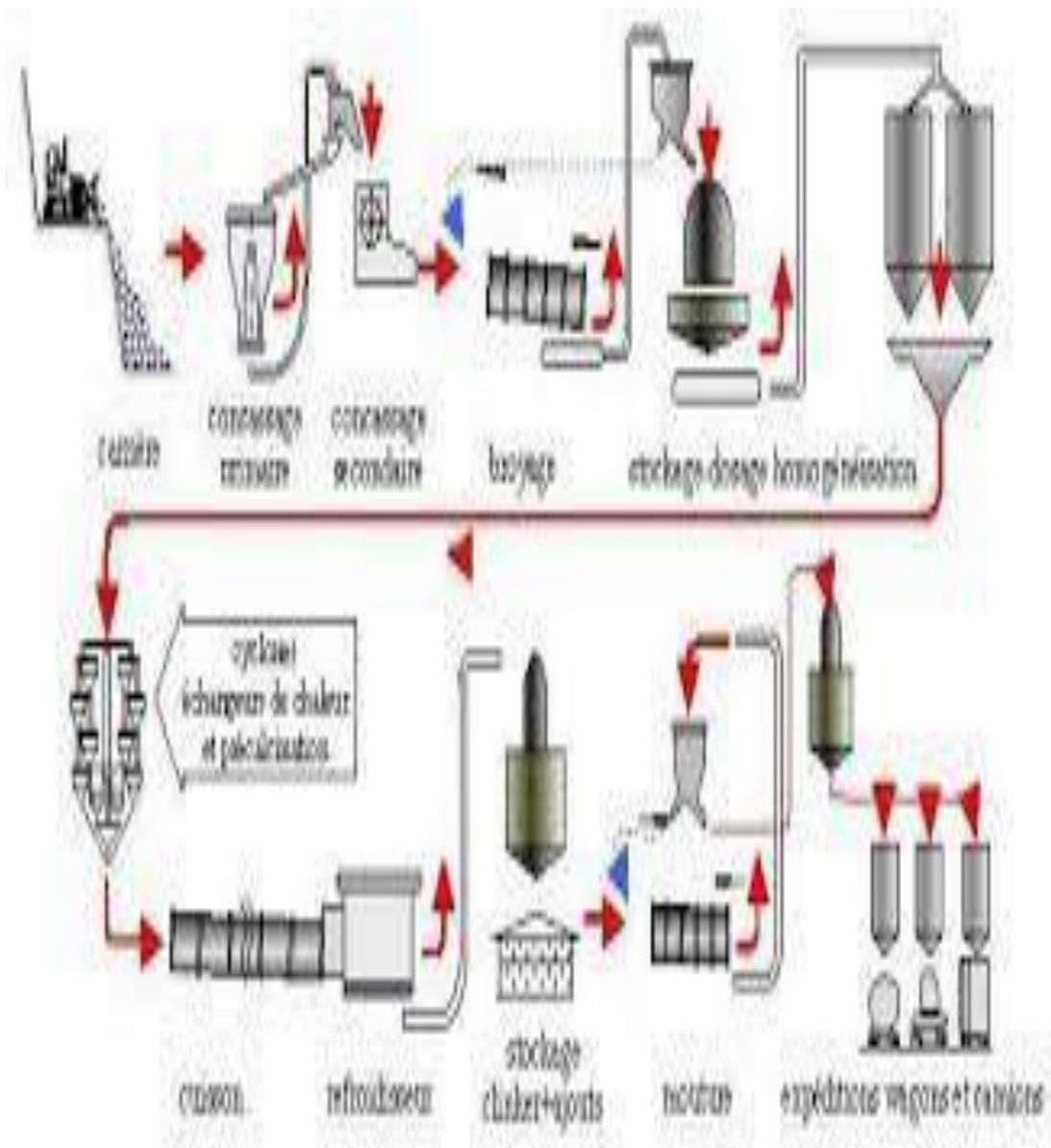


Figure7:Le procédé de fabrication du ciment



## 2.1. Extraction et concassage

Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique ou encore par ripage au bulldozer. La roche est reprise par des dumpers vers un atelier de concassage

Asmet Temara dispose de Trois carrières:

La carrière du calcaire Asmet : elle se trouve à Ain attiq sur une superficie d'environ 160ha

La carrière du calcaire Asmet 2: elle se trouve à ouade charrat sur une superficie d'environ 40ha.

La carrière du schiste: elle se trouve à oued iqem sur une superficie d'environ 6,5ha. Les blocs de calcaire et de schiste récupérés des carrières, subissent un concassage. Pour ce faire la station de concassage est équipée de deux concasseurs.

Le concasseur primaire à mâchoires destiné au concassage du Calcaire asmet et Calcaire riche.

Le concasseur secondaire à marteaux williams destiné au concassage du Calcaire Asmet, Calcaire riche, Schiste et du gypse.

A la sortie du concasseur secondaire, la granulométrie de la matière est réduite à moins de 50 mm.

## 2.2. Pré-homogénéisation

Les matières premières concassées sont ensuite véhiculées vers un hall de pré-homogénéisation.

Pour former le tas la matière est disposée en couche successive superposées longitudinalement dans l'ordre suivant : Une couche inférieure de calcaire Asmet, suivi d'une couche secondaire de calcaire riche qui superpose la première couche, puis une couche supérieure de schiste.

La reprise s'effectue transversalement par une roue-pelle comportant à son extrémité un dispositif de <herse> provoquant l'éboulement régulier de la matière qui est récupérée dans des godets.

Les extrémités des tas ont des compositions instables, suite au glissement de la matière, mais une addition d'adjuvants (Calcaire Asmet, Calcaire Riche et Schiste) de correction s'effectue au niveau de la deuxième étape permettant ainsi la correction de ces variations. Des convoyeurs à bande assurent le transport de la matière pré-homogénéisée vers la trémie centrale du broyeur cru.



Figure8: Salle de formation de tas

### 2.3. Broyage de la matière première

Cette étape est destinée à l'affinement de la matière déjà concassée et homogénéisée pour faciliter les réactions chimiques dans la phase cuisson. A ce stade, la matière (tout venant) subit, en cas de besoins, des corrections Avant son introduction dans les broyeurs.

Pour se faire, quatre doseurs sont placés en amont du broyeur:

- Doseur de tout venant.
- Doseur du calcaire riche pour la correction du pourcentage de la chaux.
- Doseur du schiste réglant le pourcentage en silice et en alumine.
- Doseur de pyrrhotine contrôlant la teneur en fer.

Asment Temara dispose de deux broyeurs fonctionnant selon le même principe et qui diffèrent en terme de conception. En effet, les deux broyeurs sont des tubes cylindriques à boulets revêtus intérieurement de blindage et qui sont traversés par les gaz chauds venant de la cuisson pour assurer le séchage de la matière. Or le premier est constitué de deux chambres et a une décharge centrale alors que le second est un tube mono-chambre à décharge finale et où le transport de la matière est assuré par le flux des gaz le traversant.



## 2.4. L'homogénéisation

Le cru (la matière obtenue après broyage) est stocké dans d'immenses silos, où il est mélangé soigneusement durant plusieurs heures, afin d'uniformiser le mélange. C'est ce que l'on appelle l'homogénéisation. La méthode généralement utilisée pour l'homogénéisation est un axe vertical sur lequel sont fixées des pales. Cet axe tourne sur lui-même, lentement, et ce mouvement fait que les pales « découpent » la matière, et ce faisant, la mélange.

La farine est introduite directement dans le four sous forme pulvérulente, après un préchauffage dans une tour à échangeurs thermiques.

## 2.5. Préchauffage et cuisson

### La Tour de préchauffage

La tour de préchauffage permet de réduire la consommation énergétique en récupérant plus efficacement la chaleur des gaz de combustion issu du four. Les calories contenues dans les gaz de combustion sont captées et servent à sécher et réchauffer la matière cru. Celle-ci passe dans une succession de conduites où elle est directement mise en contact avec ces gaz chauds.

De plus , cet échangeur thermique est doté d'un précalcinateur qui permet de rationalisé la consommation d'énergie en dissociant décarbonatation et clinkérisation.

Cette technique, mise en œuvre judicieusement, permet par ailleurs de réduire les émissions d'oxyde d'azote(NO).

La farine crue est introduite au sommet de la tour au 1<sup>er</sup> étage elle est mise en suspension dans le flux de gaz sortant de C2 où elle est séparée de ces gaz pour être remise en suspension dans les gaz sortant de C3 ainsi de suite. Durant sa chute la farine absorbe les calories des gaz chauds montants pour atteindre 850°C. A cette température, elle se déshydrate et se décarbonate partiellement.



Unités. En effet, dans le système à préchauffage classique (four à tour avec 4 étages de cyclones), la matière quitte le cyclone inférieur avec un taux de décarbonatation relativement faible (30-50%) et achève sa décarbonatation dans le four. Comme le four n'est pas un échangeur performant et que la décarbonatation est très endothermique, c'est l'échange thermique gaz-matière qui limite le débit du four. En outre, la matière en décarbonatation se fluidise facilement à cause de la régénération de  $\text{CO}_2$ , et ainsi peut déstabiliser la marche du four.

### **Le four rotatif**

La cuisson se fait à une température voisine de  $1450^\circ\text{C}$  dans un four rotatif, long cylindre tournant de 1,5 à 3 tours/minute et légèrement incliné. La matière chemine lentement et se combine en venant à la rencontre de la source de chaleur, une longue flamme alimentée au charbon pulvérisé, au fuel lourd, au gaz, ou encore partiellement avec des combustibles de substitution (valorisation de résidus d'autres industries).

A la sortie du four, un refroidisseur à grille permet d'assurer la trempe des nodules incandescents et de les ramener à une température d'environ  $100^\circ\text{C}$ .

Tout au long de la cuisson, un ensemble de réactions physico-chimiques conduit à l'obtention du clinker :

La décarbonatation du carbonate de calcium (calcaire) donne de la chaux vive, l'argile se scinde en ses constituants : silice et alumine qui se combinent à la chaux pour former des silicates et aluminates de chaux. Ce phénomène progressif constitue la clinkérisation.

### **2.6. Refroidissement**

Le clinker à sa sortie du four subit un refroidissement afin de figer la structure cristalline du clinker et maintenir la teneur de  $\text{C}_3\text{S}$  supérieur à 50%. En effet, le système de refroidissement est composé de : Quatre grilles statiques, de longueur 50 cm chacune, où le clinker subit un soufflage d'air pour se refroidir.

Les gaz chauds sont récupérés et recyclés vers le four et le produit ainsi refroidi est véhiculé vers des silos de stockage.



## 2.7. Du clinker aux ciments

Pour obtenir un ciment aux propriétés hydrauliques actives, le clinker doit être à son tour broyé très finement.

Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets. Les corps bruyantes sont constitués de boules d'acier qui, par choc, font éclater les grains de clinker et amènent progressivement le ciment à l'état de fine farine, ne comportant que très peu de grains supérieurs à 40 microns. A la sortie du broyeur, un cyclone sépare les éléments suffisamment fins des autres qui sont renvoyés à l'entrée du broyeur.

C'est également lors du broyage que l'on ajoute au clinker le gypse, le calcaire et les cendres volantes selon le type du ciment produit. Le gypse (3 à 5%) indispensable à la régulation de prise du ciment, le calcaire et les cendres volantes sont des additifs d'amélioration de la résistance du produit. On obtient alors le ciment "Portland". Les ciments "à ajouts" sont obtenus par l'addition au clinker, lors de son broyage, d'éléments minéraux supplémentaires contenus par exemple dans les laitiers de hauts fourneaux, les cendres de centrales thermiques, les fillers calcaires, les pouzzolanes naturelles ou artificielles. Ainsi sont obtenues les différentes catégories de ciments qui permettront la réalisation d'ouvrages allant du plus courant au plus exigeant.

L'atelier de broyage ciment d'Asment Temara comprend trois broyeurs à boulets (BK1, BK2 et BK3).

## 2.8. Stockage et expédition

Le produit fini est acheminé vers les quatre silos de stockage par des aéroglisseurs et des élévateurs à godets. Le ciment est ensuite livré soit en vrac, soit par sac.

La mise en sac se déroule à l'aide de machines automatiques de remplissage et de passage sur lesquels l'ouvrier n'ajuste qu'à faire pénétrer la valve du sac sur un bec conçu pour la recevoir. Tandis que la livraison en vrac du ciment s'effectue par la mise en fluidisation de la poudre [4].



### 3. Généralité sur la silice

Silicium(Si) est le deuxième élément le plus abondant sur terre a près l'oxygène. Le  $\text{SiO}_2$  n'est pas présent sous sa forme pure à l'état naturel ; on le trouve plutôt sous la forme de minéraux comme la silice  $\text{SiO}_2$  ou les silicates. La silice et les silicates font partie de la composition de la quasi-totalité des types de roches de l'écorce terrestre. Le minerai à base de silice le plus connu est le quartz. Du point de vue des substances utiles, le terme silice désigne également les dépôts géologiques enrichis de quartz ou d'autres minéraux siliceux. La silice est connue sous deux états : amorphe et cristallin. Sa forme cristalline est présente dans de nombreuses roches (granit, grès, sable, silex, schiste, Argile.....).

La silice est une substance dure et chimiquement inerte il a un point de la fusion élevé et il joue le rôle de semi-conducteur des caractéristiques qui lui confère de nombreuses applications industrielles. Il faut généralement traiter les dépôts de silice pour en extraire le fer, l'argile et les autres minéraux. Les ressources les plus précieuses renfermant >98% de  $\text{SiO}_2$  et elles peuvent facilement être broyées en différentes grosseurs pour divers produits finaux. La silice est principalement utilisée par les secteurs de la métallurgie, du ciment, la fabrication du verre, du traitement des eaux et de la céramique ainsi que par les secteurs chimiques. Elle constitue en outre la matière première nécessaire à la production du ferrosilicium et du silicium métal[5]



## Partie3 :Méthode de détermination de silice libre



## 1. Problématique et objectif de l'étude

La formation de cru est une opération qui consiste à assurer une composition chimique régulier du mélange des matières premier( schiste et calcaire) ,cette répartition est contrôlée au niveau du laboratoire de l'usine par plusieurs méthodes ( fluorescence ,la perte au feu, analyse des insolubles et le taux d'ajout)qui donne des informations importantes sur la composition chimique du mélange et sur les proportions de chaque composé chimique pour obtenir une bonne qualité de clinker, il faut aussi faire des analyses sur les insolubles qui affectent la qualité de clinker, ainsi des analyse sur la silice libre qu'a un grand impact parmi les autre constituants. Pour faire cette analyse le service de laboratoire est obligé d'envoyer les échantillons à un laboratoire externe qui fait l'analyse par la diffraction aux rayons X et par résonance magnétique nucléaire, par ce que il ne possède pas le mode opératoire pour le déterminer.

Pour cela, notre objectif de stage est de trouver une méthode manuelle pour déterminer la quantité de silice libre dans la matière première.

## 2. Mode opératoire pour la préparation des échantillons

### 2.1.Matériel utilisée

Barreau alimenté, plaque chauffante, creuset, Fourde1050 °C, capsule de pesée , papier filtre, machine de fluorescence, tamisede90  $\mu\text{m}$ , la soude de 2%, l'acide chlorhydrique 50 %, Tamiseur, four de 975°C, titra borate de lithium, échantillon, balance, électronique, spatule , bécher, erlenmeyer, pissette d'eau distillé, entonnoir, éprouvette gradue.

## 2.2.L'attaque par HCL et par la soude

Peser avec précision 10g de l'échantillon, disposer dans une erlenmeyer de 1000 ml, ajouter 500ml d'acide chlorhydrique (HCL)50%, chauffer la solution doucement pendant 15min jusqu'à la température d'ébullition avec agitation pour la désagrégation complète de l'échantillon, filtrer le mélange sur papier filtre moyen, laver complètement avec l'eau dont la température est voisine du point d'ébullition, disposer le papier filtrat et son contenu dans un creuset a platine et calciner le résidu à 975°C pendant 30min, après la calcination on mesure la masse finale de filtrat pour calculé le pourcentage de  $\text{SiO}_2$  .

Après l'attaque par HCL, le résidu restant contient :

Le quartz, et les autres minéraux inattaqués d'une part et d'autre part la silice des silicates. On dissout cette dernière on percolant le résidu par la soude à 2 % tiède. Le silicate de soude formé est recueilli dans une fiole jaugée de 250 CC. Après passage de 200 CC de soude, on rince le résidu avec un peu d'eau tiède. On complète à 250 CC avec la soude 2%. Le résidu est séché à l'étuve, puis calciné à 1000°C dans un creuset, puis pesé à l'aide d'une balance pour déterminer la silice libre inattaqué [6].

## 2.3.la finesse

Prélever un échantillon et peser une masse de 10g soit m1 la masse de prise d'essai, tamiser l'échantillon prélevé sur un tamis de 90µm, peser le refus recueilli m2, calculer leur pourcentage.



Figure9:l'appareil de la finesse et les tamis



### 3. Mesure de la silice libre par la spectrométrie par fluorescence aux rayons X.

#### Principe

La spectrométrie par fluorescence des rayons X est une méthodes d'analyse qui permet d'identifier et de qualifier les éléments présents dans un échantillon, la méthode consiste à mesurer l'intensité des raies de fluorescence émises par les éléments à doser, l'analyse qualitative est réalisée par une conversion de l'intensité mesurée en concentration ,cela est réalisé aussi à une calibration préalable effectuée sur les préparations des pastilles des échantillons dont on connait les concentrations élémentaires

Le logiciel d'exploitation super permet de déterminer automatiquement les résultats des analyses

#### Mode d'emploi:

Les analyses sont effectuées soit sur des perles préparées à 1100 °C, soit sur des pastilles préparées par la presse, dans notre cas nous avons utilisées les perles.

#### Préparation des perles :

Pour les matières : cru, farine, farine chaude, calcaire, schiste,gypse, mineraifer, clinker.

- Peser 1g d'échantillon et mélanger avec 5g de fondant tétra borate de lithium. Mettre le mélange dans un creuset et le faire entrer dans le four de 1100°C pendant 15min
- Déterminer la perte au feu
- Mettre l'échantillon préparé dans le porte échantillon et lancer le programme d'analyse adéquat en précisant la perte au feu, le résultat s'affiche automatiquement à la fin d'analyse



Figure10:Le spectromètre par fluorescence aux rayons X



## Partie4 :Résultats et discussions



## Méthodes de détermination de silice libre et son impact sur la qualité de clinker

### 1. Détermination de volume de HCL nécessaire pour l'attaque

En a fait les tests sur 2g de la Farine et on a obtenu c'est résultats à l'aide de fluorescence.

La courbe et le tableau ci- dessus présentent la variation de pourcentage du résidu en fonction de la variation de volume de HCL

Tableau2: Pourcentage des résidus en fonction des volumes HCL

Pour 2gdelafarine		
Volume ml	La masse de résidu	Pourcentage de résidu
10	0.8334	41.67
20	0.7439	37.195
30	0.3982	19.91
50	0.3489	17.4
70	0.342	17.1
90	0.3362	16.91
100	0.3376	16.88
120	0.3369	16.845
130	0.3351	16.755





## 2. Détermination de pourcentage de refus et de résidu

Le tableau et la figure ci-dessus représente les pourcentages des résidus et des refus dans différents échantillons

Tableau3: pourcentage des refus et des résidus pour chaque échantillon

Echantillon	%de résidu	%de refus
Farine1	16.57	16.8
Calcaire Asment1	14.037	31.8
Calcaire Asment2	4.955	41.6
schiste	72.757	68
Calcaire Tazi	11.327	54.6
Calcaire Externe1	7.633	37.4
Calcaire Grabemaro	20.44	66.71

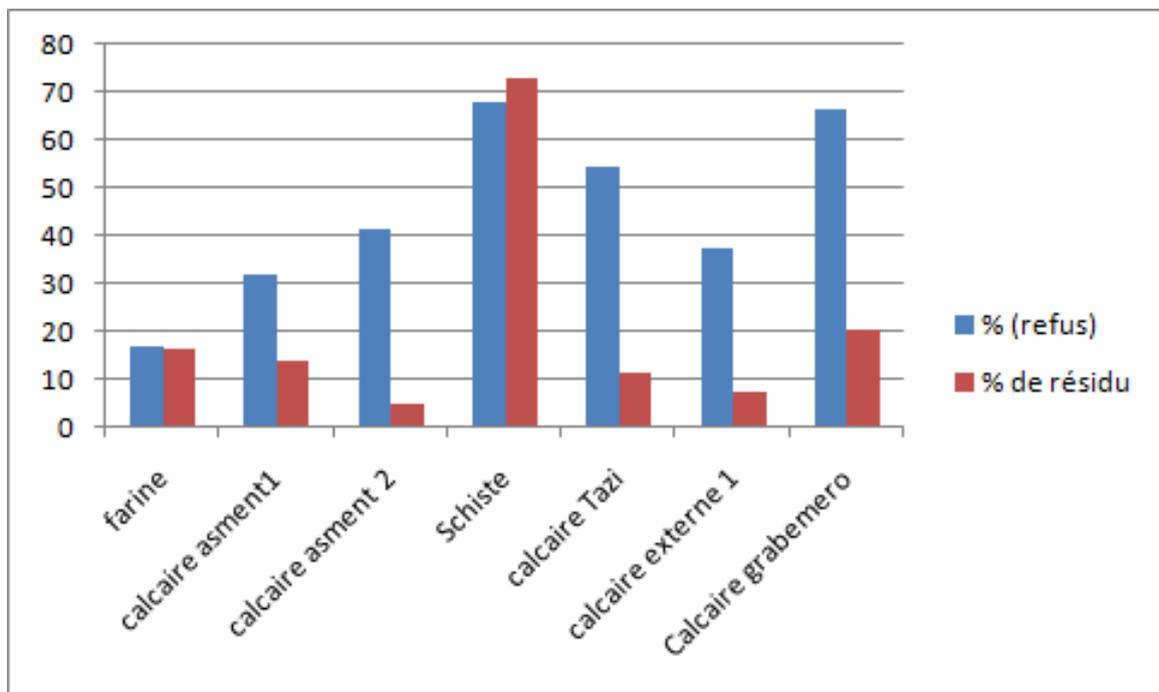


Figure12; pourcentage de refus et résidu pour chaque échantillon



Ces résultats sont obtenus après l'attaque par HCL et le tamisage de 90µm on observe que les pourcentages de refus prennent des valeurs supérieures de celles de résidu.

La méthode de finesse qui applique au laboratoire d'Asment Temara est pour but de prendre des idées sur le pourcentage de SiO<sub>2</sub> libre dans les échantillons (quand le pourcentage de refus est élevé donc le pourcentage de SiO<sub>2</sub> libre dans échantillon est élevé).

Pour valider ces résultats on va faire des analyses chimiques par spectrométrie par fluorescence aux rayons X

### 3. Détermination de pourcentage de silice après l'attaque par HCl

Le tableau ci-dessus rassemble les pourcentages de SiO<sub>2</sub> dans les différents échantillons qui sont obtenus par spectrométrie fluorescence aux rayons X

Tableau4: pourcentage de SiO<sub>2</sub> dans les matières premier, les résidus, les refus

Analyse chimique complète			
Pourcentage de SiO <sub>2</sub> (%)			
Echantillon	Matière première	Résidu	Refus
Farine	13,98	8,34	4,52
Calcaire ASMENT 1	13,71	9,34	3,61
Calcaire ASMENT 2	3,26	1,69	0,13
Schiste	54,37	33,64	28,69
Calcaire externe 1	6,50	4,26	0,43
Calcaire Tazi	8,58	5,76	1,26
Calcaire Grabemaro	17,94	11,77	2,44





On observe une diminution du pourcentage de silice après l'attaque par HCL et la soude 2% ce qui montre que ces dernière attaquent la silice combinée.

Pour valider cette méthode on a comparé nos résultats avec les données de laboratoire se traitaient les analyses d'Asment Temara on a trouvé qu'ils sont presque les mêmes (la différence de 1%). On déduire que notre méthode est valable

## 5. Impact de silice libre sur la qualité de clinker

Notre sujet est basé sur la détermination de silice libre dans les matières premières et la farine ausside déterminer leur impact sur la qualité de clinker mais malheureusement le temps insuffisant pour compléter notre travail pour cela on a des recommandations pour la détermination de l'impact de silice libre sur la qualité de clinker

### a. Mode opératoire utilisé(aptitude à la cuisson)

Peser 5g d'échantillon

Cuisson à 1400°C pendant 2min

Refroidissement rapide

Broyage dans un mortier

Tamissage à un tamise de 200 micromètre

Mesure de la chaux

### b. Remarque

- Quand la chaux libre est augmentée alors le cru est difficile à cuire
- La silice libre étant difficile à broyer c'est-à-dire la surface d'échange devient importante et il devient difficile de réagir avec d'autres composants. Tous ces facteurs affectent la réactivité du clinker



## Conclusion générale

Les 8 semaines de mon stage technique passées dans l'entreprise Asment Temara ont été l'occasion pour moi de m'immerger dans le monde du travail. Il m'a permis de confronter les connaissances et les méthodes de travail que j'avais acquises tout au long de mes études avec la réalité des entreprises. En effet, pendant ce stage, j'ai pu développer

Des compétences relationnelles très importantes pour ma future carrière professionnelle.

Pendant ce stage j'ai travaillé à la fois de façon autonome et en équipe. Par rapport à ce dernier je trouve qu'il est très enrichissant puisque l'on apprend beaucoup des échanges qu'on a avec les autres membres de l'équipe. J'ai beaucoup apprécié de pouvoir travailler avec différentes personnes car chacune d'elle a une façon unique de travailler et d'affronter les problèmes rencontrés.

Lors de ces travaux collectifs dans le service Laboratoire de l'entreprise Asment Temara, j'ai essayé de contribuer à établir un climat de confiance et une bonne ambiance de travail et j'ai participé activement à la réalisation de différents essais comme la perte au feu, le taux d'ajout, dosage de la chaux, le gâchage, et détermination de la compression et la flexion, Ceux-ci permettent de déterminer les caractéristiques physicochimiques de ciment.

Finalement, je dirai que ce stage a constitué une transition adéquate entre la théorie et la pratique, entre l'analyse et l'application et surtout entre le monde universitaire et celui du travail.



## Les références:

- [1].<https://www.emploima.ma/asment-temara-recrute-charge-communication-et-charge-recouvrement/>
- [2].<https://www.votorantimcimentos.ma/fr-fr/ciment/produits>
- [3].Rapport de stage mohamed anas benknabbour.Contrôle de qualité. Université Mohammed-V de Rabat .2021.46ppm
- [4]. <https://pdfcoffee.com/rapport-de-stage-asment-pdf-free.html>
- [5].<http://www.biostimulants.fr/produits-utilisation/types-de-produits/les-biostimulants-inorganiques-lexemple-du-silicium/>
- [6].Article f. du gain, les méthodes d'analyses utilisées au laboratoire de physico-chimie des sols, office de la recherche scientifique et technique outre-mer centre de pédologie de HANN-Dakar, avril 1961, 69ppm.