
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE BELHADJ BOUCHAIB D'AÏN-TEMOUCHENT



Institut des Sciences
Département de Sciences de la Matière
Filière : Chimie

Mémoire

Pour l'Obtention du Diplôme de Master
Spécialité Chimie Macromoléculaire

Thème :

Optimisation du Taux Des Incuits Dans le Ciment CEM II/A 42,5

Présenté par :

Mr. BENAÏSSA Abouseyf
Mr. HASSINOUI Yousouf

Soutenu en 2018

Devant le jury composé de :

<i>Président :</i>	Mr. BELARBI Lahcen	<i>(Professeur) C.U.B.B.A.</i>
<i>Examineurs</i>	Mme KIBOU Zahira	<i>(M.C.A) C.U.B.B.A.</i>
	Mr. CHIKHI Ilyesse	<i>(M.C.B) C.U.B.B.A.</i>
<i>Encadrante:</i>	Mme RAMDANI Nassima	<i>(M.C.B) C.U.B.B.A.</i>



Dédicace

*Je tiens à dédier ce travail à l'être qui m'est le plus cher sur cette terre, celle qui a tant donné pour ses enfants : ma **Mère**.*

A mon cher Père en témoignage et en gratitude de son dévouement, de son soutien permanent durant toutes mes années, son sacrifice illimité, son réconfort moral, lui qui a consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit, mes affectations sans limites.

A ma très chère Grand-Mère (Que dieu la garde), mes chers frères et sœurs, mes chers neveux et ma nièce, mes chers oncles et tantes, mes chers voisins, et à toute la famille, mon binôme Abouseyf et à toute sa famille.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance.

A tout les amis que j'ai eu la chance d'avoir.

A tous ceux que j'aime.

H. Yousouf



Dédicace

Je dédie ce modeste travaille à : Ma très chère mère qui pense à moi toujours dans ma présence et mon absence.

Mon très Cher père Qui ma donné force pour continuer mes études.

A mes chers frères et sœurs, mes chers neveux et ma nièce, mes chers oncles et tantes, mes chers voisins, et à toute la famille

A mon binôme Yousouf et à toute sa famille.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance.

A tout les amis que j'ai eu la chance d'avoir.

A tous ceux que j'aime.

B. Abouseyf

REMERCIEMENTS

Avant tout nous remercions le Dieu notre createur de nous avoir donner le courage et la patience pour terminer ce travail.

*On adresse nos profonds remerciements à notre Encadrante **Mme Nassima RAMDANI** ; maitre de conférences (B) au centre l'universitaire d'Ain Temouchent de son encadrement pour son aide et ses conseils durant tout au long de ce travail.*

*Nous tenons à adresser nos vifs remerciements à **Mr. Lahcene BELARBI** professeur au centre l'universitaire d'Ain Temouchent, pour avoir d'accepter de présider le jury.*

*J'adresse aussi mes sincères remerciements à **Mme Zahira KIBOU** maitre de conférences (A) au centre l'universitaire d'Ain Temouchent. et au **Mr. Ilyesse CHIKHI**, maitre de conférences (B) au centre l'universitaire d'Ain Temouchent, d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Comme nous tenons à remercier les chimistes de laboratoire en particulie : **Hamza** pourleurs applications et collaborations.*

*Nous remercions évidemment Mr le directeur de la cimenterie de Béni-Saf et le chef de département **Mr. Bouhdjer** de nous avoir acceptés dans le service (Laboratoire), ainsi que tous les opérateurs et ingénieurs travaillants dans L'usine.*

Enfin nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de prés ou de loins à la réalisation de ce travail dans les meilleurs conditions.

Abouseyf & Yousouf

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I: Étude Bibliographique

Partie A : Principaux Constituants De Ciment

1. Matières Premières et Ajout	3
1.1. Calcaires	3
1.2. Les Eléments Argileux Calcaire	3
1.3. Les Argiles	3
2. Matériaux De Correction	4
3. Matières Secondaires	5
a- Le gypse	5
b- Pouzzolane	6
4. Produit Semi-fini « Clinker »	7
4.1. Principaux Constituants du Clinker	8
Conclusion	10

Partie B: Chaine De Fabrication De Ciment

1. Processus de fabrication de ciment	11
1.1. Extraction	11
1.2. Concassage	11
1.3. Pré homogénéisation	12
1.4. Broyage du cru	13
1.5. Homogénéisation	14
1.6. Atelier de Cuisson	14
a- Préchauffeur	14
b- Four Rotatif	15
c- Refroidisseur	16
1.7. Stockage Du Clinker	17

1.8. Broyage Du Clinker	17
1.9. Stockage, Ensachage Et Expédition	18
Conclusion	19

Chapitre II: Étude Expérimentale

Introduction	20
1. Méthodes chimiques	20
1.1. Dosage pour la détermination des oxydes	20
1.1.1. Détermination de l'oxyde de calcium (CaO)	20
1.1.2. Détermination de l'oxyde de magnésium (MgO)	21
1.1.3. Détermination de l'oxyde de fer (Fe ₂ O ₃)	21
1.1.4. Détermination de l'alumine (Al ₂ O ₃)	22
1.2. Détermination de la silice (SiO ₂) « NA 233 »	22
1.3. Détermination de la chaux libre CaO _L	23
1.4. Détermination de la perte au feu (PAF) « NA 235 »	23
1.5. Détermination du pourcentage de SO ₃	23
1.6. Détermination de la teneur des alcalins (K ₂ O, Na ₂ O)	24
2. Méthodes physiques	26
2.1. Mesure de la surface spécifique par la méthode Blaine « NA 231 »	26
2.1.1. But	26
2.1.2. Principe	26
2.1.3. Appareillage	26
2.1.4. Mode opératoire	27
2.2. Mesure de la densité « NA 229 »	28
2.2.1. But	28
2.2.2. Mode opératoire	28
2.3. Détermination du pourcentage des refus « NA 229 »	28
2.3.1. But	28
2.3.2. Mode opératoire	28
2.4. La consistance normale	29

2.4.1. Définition	29
2.4.2. Pâte normale	30
2.4.3. Préparation de la pâte	30
2.4.4. Vérification de la consistance normale « NA 229 »	31
2.5. Essais de prise « NA 230 »	31
2.5.1. Définition	31
2.5.2. Principe de l'essai	31
2.5.3. Début de prise	31
2.5.4. Fin de prise	32
2.6. Prisomètre automatique multiple	32
2.7. Essai d'expansion « NA 232 »	33
2.7.1. Définition	33
2.7.2. Mode opératoire	34
2.8. Essais mécaniques (flexion-compression) « NA 234 »	34
2.8.1. Définition	34
2.8.2. Préparation de mortier normal	34

Chapitre III : Résultats Et Interprétations

1. Prélèvement des échantillons	36
2. Pesage et répartition des échantillons	36
3. Résultats d'analyses chimiques de clinker incuit introduit	36
4. Résultats d'analyses chimiques des différents échantillons préparés	37
5. Résultats d'analyses physico mécaniques des différents échantillons préparés	38
5.1. Surface spécifique Blaine SSB	38
5.2. Refus sur tamis de 45 et 90 μ	38
5.3. Densité apparente	38
5.4. Expansion à chaud (mm)	38
5.5. La consistance normale, temps de début de prise et de fin de prise	39
5.6. Résultats des résistances à la traction par flexion et à la compression	39
6. Graphes Et Interprétations	40

6.1. La chaux libre (CaO_L)	40
6.2. Oxyde de Magnésium (MgO)	40
6.3. Chlorure (Cl^-)	41
6.4. Trioxyde De Soufre (SO_3)	41
6.5. Surface spécifique Blaine SSB	42
6.6. Refus sur tamis de 45 et 90 μ	43
6.7. Densité apparente	43
6.8. Expansion à chaud (mm)	44
6.9. Temps de début de prise	45
6.10. Résistance à la compression 2 jours (MPa)	45
6.11. Résistance à la compression 28 jours (MPa)	46
Conclusion générale.....	47
Références bibliographiques	48

Le ciment est un liant hydraulique, c'est à dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium. [1]

Le ciment est l'élément actif du béton. Mélangé à l'eau, il constitue une pâte qui enrobe les granulats et joue le rôle de lubrifiant et de colle. [1]

Pendant la préhistoire et depuis l'antiquité, on utilisait de la terre argileuse comme liant pour maçonner les pierres. Lors de la construction des pyramides, les égyptiens utilisèrent un plâtre obtenu par cuisson d'un gypse. [2]

Plus tard, les Grecs et les Romains furent les premiers à utiliser de la chaux ; produit obtenu par la cuisson du calcaire, dans leur construction. Ils améliorèrent le liant en y ajoutant des pouzzolanes; particules très fines d'origine naturelle. Ils obtiennent ainsi le ciment romain. [3]

Ce liant fut utilisé sans grandes modifications jusqu'à 1756, date à laquelle l'anglais Smeaton, lors de la construction du phare d'Eddystone, mélangea des chaux hydrauliques et des pouzzolanes, il obtint ainsi le premier liant artificiel, avec lequel il prépara un mortier qu'il présenta comme étant ainsi dur que la pierre de Portland (région située à la presqu'île du Dorsetshire près de Weymouth).

En 1817, l'ingénieur français Louis Vicat, suivi au début des années 1820 par Treussart ainsi que par Pavin de Lafarge, mettent au point les formules des ciments actuels, préparés dans des fours verticaux.

Les premières cimenteries apparaissent vers 1850; c'est-à-dire que le ciment est un matériau relativement récent.

L'industrie des ciments est vite devenue une industrie de masse traitant des quantités énormes de matériaux de nos jours, la production mondiale dépasse largement le milliard de tonnes par année. [3]

L'Algérie qui a adopté pour une politique de construction et un programme de développement économique à besoin d'une consommation assez importante, vu les grands projets d'infrastructure à réaliser, ainsi la présence des différentes sociétés internationales

pour la réalisation des projets dans différents domaines (ponts, barrages, logements, stations d'épurations, des autoroutes).

Notre thème est basé sur ce domaine de l'industrie du ciment, c'est une étude d'optimisation du taux des incuits pour leur introduction dans le broyeur ciment, cette opération est très importante surtout avec les problèmes techniques rencontrés sur site tels que :

- L'augmentation de la teneur en chaux libre c'est à dire le facteur de saturation en chaux (LSF) est trop élevé qui provienne d'un dérèglement du processus de cuisson ou d'un manquement dans la préparation du cru.
- problèmes de stockage de clinker incuits.
- problèmes d'extraction du clinker dans les bulles.

Ce mémoire se compose de trois grands chapitres :

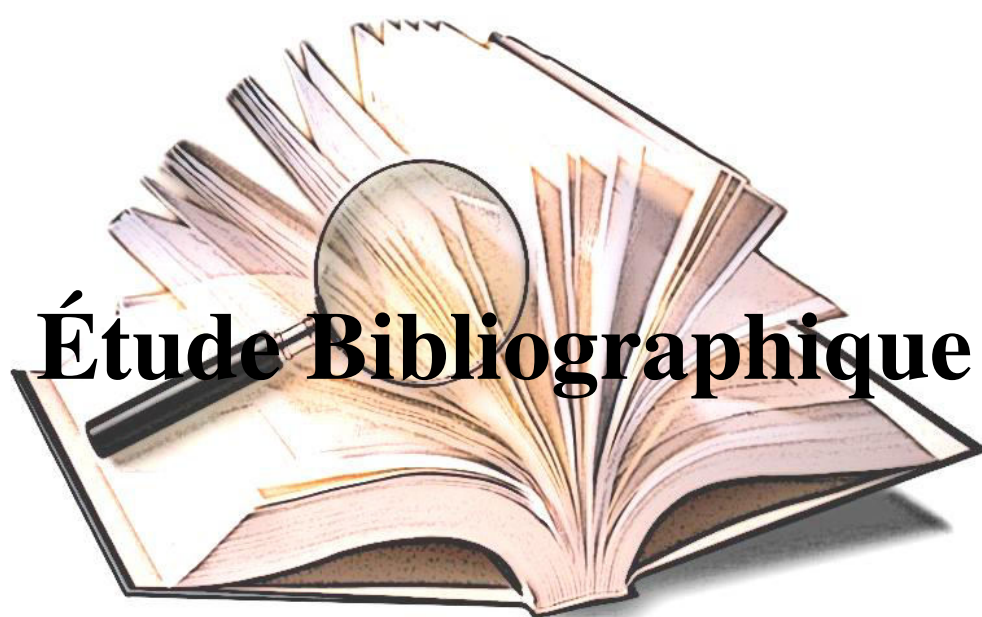
Le premier chapitre comporte deux parties correspond à une revue de la documentation, la première partie présente une revue de la littérature portant principalement sur les principaux constituants de ciment, la deuxième partie présente une revue de la littérature sur la chaîne de fabrication de ciment.

Le deuxième chapitre de ce mémoire est consacré à l'étude expérimentale, il présente les méthodes d'analyses chimiques et les essais physico-mécaniques utilisés.

Le troisième chapitre présente tous les résultats obtenus dans le cadre des différents essais réalisés et des interprétations de ces résultats obtenus, et finalement, un résumé des principales conclusions tirées de ce travail.

Chapitre

I



Étude Bibliographique

Partie

A



**Principaux
Constituants De Ciment**

A. Principaux constituants de ciment :

1. Matières Premières :

Les principaux constituants de ciment sont constitués d'un mélange naturel en proportion déterminé de calcaire (CaCO_3) et d'argile.

Parfois, on ajoute certaines matières de correction telles que, le minerai de fer, le sable, la bauxite pour modifier respectivement les teneurs en oxyde de fer, en silice et oxyde d'alumine.

Le cru est préparé à l'état sec pour entrer dans le four sous forme de poudre que les cimentiers appellent fréquemment FARINE.

1.1. Calcaires :

Le calcaire est essentiellement constitué de carbone de calcium qui existe à l'état pur sous de variétés cristallisées de calcite et d'aragonite. On classe les calcaires comme suit :

- ❖ **Calcaire Dur :** On attribue ce nom au calcaire contenant un minimum de 80% en CaCO_3 et maximum de MgCO_3 . Le calcaire dur, renferme de faible proportion d'impureté de quartz, d'oxyde de fer. Les calcaires durs sont imperméables à l'eau.
- ❖ **Calcaire Mou (Craie) :** La craie exploitée, par exemple, s'est formée il y a 80 millions d'années par l'accumulation de coquilles de plancton appelés coccolites.

Les précipitations de (CaCO_3) ont cimenté ces organismes entre eux avec un peu d'argile et de silice. Le calcaire mou contient un maximum de 90% en (CaCO_3). Il est une variété de calcaire friable, les impuretés sont en proportion secondaires. [4]

1.2. Les Éléments Argileux Calcaire :

Ils contiennent les éléments principaux nécessaires à la fabrication de ciment mais ils doivent être corrigés par des ajouts de calcaire pour être conformes aux normes.

1.3. Les Argiles :

Elles sont constituées surtout de minéraux très petits à structures en feuilles ceci explique leur tendance à absorber l'eau et leur plasticité. [5]

Il y a une nombreuse variété de minéraux aux formes très complexes les plus connues sont :

- La kaolinite.
- La bentonite

L'argile est une roche de couleur variable suivant les oxydes qu'elle contient.

Lorsqu'elle est humide, elle dégage l'odeur caractéristique de la terre mouillée, elle se disperse facilement dans l'eau à cause du gonflement de ses particules de liaisons entre elle, et à cause de sa plasticité. [5]

Les argiles sont des produits composés de roches siliceuses principalement de feldspaths qui sont des silicates doubles d'aluminium et d'un métal alcalin ou alcalino-terreux. [5]

2. Matériaux De Correction :

Malgré la grande diversité de matériaux siliceuse et calcaire, la cimenterie doit parfois introduire d'autre composant dans le mélange cru :

- Pour combler un déficit des matériaux en Al_2O_3 .
- Pour fabriquer un ciment de composition particulière tel que le ciment blanc ou à prise rapide, on a recours aux matériaux de correction.
- ❖ **Minerai de fer (Fe_2O_3)** : Les sources sont les résidus de grillage de pyrite pour la fabrication de l'acide sulfurique, les poussières récupérées des hauts fourneaux ou des convertisseurs en métallurgies. [4]
- ❖ **La bauxite** : Est une roche latéritique blanche, rouge ou grise, caractérisée par sa forte teneur en alumine Al_2O_3 et en oxydes de fer. Cette roche constitue le principal minerai permettant la production d'aluminium. Elle se forme par altération continentale en climat chaud et humide. De structure variée, elle contient dans des proportions variables des hydrates d'alumine, de la kaolinite, de la silice et des oxydes de fer qui lui confèrent souvent une coloration rouge [6].
- ❖ **Le calcaire Sableux** : les calcaires sableux sont d'origine détritique. Leur composition est fort variable en fonction des roches dont ils sont issus.ils contiennent beaucoup de silices.

Le sable n'est pas une matière première mais il est néanmoins utilisé dans certains cas où il est nécessaire d'ajouter la silice quand elle manque dans la composition chimique.

3. Matières Secondaires :

a. Le gypse : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



Figure I.A.1 : Grains de gypse

Principaux Caractéristique du Gypse :

- ❖ Formule chimique : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- ❖ Masse volumique : $2,32\text{g/cm}^3 \longrightarrow$ à 25°C
- ❖ La solubilité du gypse est de $2,1\text{g}/1000\text{g}$ d'eau (maximum) aux environs de 38°C , elle retombe à $1,69\text{g}$ à 100°C .
- ❖ Le gypse dans le ciment, permet l'ouvrabilité du mortier ou du béton, en retardant la prise.
- ❖ La déshydratation du gypse en fonction de la température dépend :
 - De la température,
 - De la pression de vapeur d'eau au contact de la matière,
 - De la finesse du gypse,
 - De la présence d'impuretés en faible proportion. [7,8]

La composition chimique de gypse après broyage est montrée dans le tableau I.1

Tableau I.A.1 : Composition chimique élémentaire de gypse de Béni-Saf.

Composant	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	K_2O	CaO	Fe_2O_3	PAF
%	0.00	0.4	1.19	5.37	38.50	0.11	32.08	0.66	18.20

b. Pouzzolane :

Le terme couvre une série de matières naturelles de produit naturels caractérisés par une forte teneur en silice (50%) et l'aptitude à fixer la chaux en présence de l'eau à la température ambiante, pour formes des silicates et aluminates de calcium hydratés.

En association avec un ciment portland (ciment dégagement beaucoup de chaux hydratée lors de processus d'hydratation) la pouzzolane agit en fixant progressivement cette chaux.

Ce faisant, elle accroît à long terme la résistance mécanique et améliore le comportement aux agents agressifs par la réduction de teneur en chaux libre.

En outre, la poudre très fine que constitue la pouzzolane, améliore l'imperméabilité en colmatant les capillaires. [9,10]

On distingue deux types de pouzzolane :

❖ **La pouzzolane naturelle :** La pouzzolane naturelle utilisée est d'origine volcanique essentiellement composée de silices, d'alumine et d'oxyde de fer et ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques. [11]



Figure I.A.2 : Grains de pouzzolane.

Tableau I.A.2 : Composition chimique élémentaire de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf.

Composant	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	PAF
%	4.90	1.98	16.20	38.60	5.08	1.34	9.82	11.05	2.6

❖ **Pouzzolane Artificielle :** C'est toute matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. [11]

4. Produit Semi-fini « Clinker » :

Le Clinker est un produit renfermant. En majeure partie des calciums obtenus par cuisson jusqu'à fusion partielle, (Clinkerisation) d'un mélange dosé et homogénéisé de matières constituées principalement de chaux (CaO), et de silice (SiO₂) en proportion moindre, d'alumine (Al₂O₃) et d'oxyde de fer (Fe₂O₃). Il présente des propriétés hydrauliques :

- La régularisation de la composition du Clinker est obtenue par le contrôle contenu des matières premières (calcaire, argile, bauxite, pyrite) dont on combine les proportions de matière à obtenir un mélange final composition convenable. [7]
- Les principaux constituants du Clinker portland se trouvent dans le tableau suivant :

Tableau I.A.3 : Composition minéralogique du clinker [7]

Formule complète	Formule abrégée	Appellation courante
3CaO.SiO ₂	C3S	Silicate tricalcique (Alite)
2CaO.SiO ₂	C2S	Silicate bicalcique (Bélite)
3CaO.AL ₂ O ₃	C3A	Aluminate tricalcique
4CaO.AL ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF	Alumino-ferrite-tetracalcique

Les proportions de ces quatre constituants sont déterminées à partir de la composition chimique de Clinker, aussi à partir de la vue microscopique au laboratoire. [7]

4.1. Principaux Constituants du Clinker :

a. Silicate tricalcique : Alite « C₃S » : 60 à 65%.

- Le « C₃S » se trouve en très grande proportion dans le « CPA ». C'est l'élément actif du ciment artificiel. Il confère au ciment les résistances initiales à 28 jours de durcissement. Au microscope, il apparaît dans le clinker sous forme de grains de mêmes dimensions, à couleur bien marquée. [12,13]

b. Silicate Bicalcique : Béélite « C₂S »

- Est responsable des résistances mécaniques à longue échéance.
- La Béélite dans les Clinkers, correspond en général à C₂S-β et plus rarement à C₂S-α et C₂S-α.
- Un refroidissement lent donne des produits de décomposition.
- Dans les Clinkers industriels et en raison de trempe qui se produit dans les refroidisseurs, la transformation de C₂S-β en C₂S-γ a très peu de chance d'avoir lieu. [12,13]

c. Aluminate tricalcique : Céélite : « C₃A » : 1 à 13% :

- Il confère au ciment une très bonne résistance initiale à 1 ou 2 jours de durcissement. Mais par la suite, il influe très peu sur cette dernière.
- Il est sensible aux eaux de mer à cause des sulfates qu'il contient. Il forme avec les sulfoaluminates de chaux, les sels de Candlot, souvent très expansifs. La réaction d'hydratation est fortement exothermique. [12,13]

d. C₄AF :

- C₄AF est une solution solide, dont les éléments extrêmes sont ses combinaisons C₂F et C₂A.
- Dans cette même série existe les solutions solides C₆AF₂, C₄AF et C₆A₂F.
- On peut considérer que dans la forme C₄AF, il y a eu remplacement des ions Fe³⁺ par des ions Al³⁺. [12,13]

e. Chaux Libre :

- chaux libre, présente dans les Clinkers jusqu'à 1.5%.
- Provient de l'excédent de CaO.
- La De gros cristaux de calcite (100 microns).

- Décomposition de l'alite au cours de refroidissement (si la taille de CaO est 1 à 5 μ). [12,13]

f. MgO > 5%, apparait le péri clase. [12,13]

Tableau I.A.4 : Composition chimique élémentaire de Clinker de Béni-Saf

Composant	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO _L	PAF
%	0.27	1.08	5.83	20.85	0.48	0.43	66.43	3.42	0.39	0.30

C₃S : 65%

C₂S : 10.80%

C₃A : 9.70%

C₄AF : 10.40%

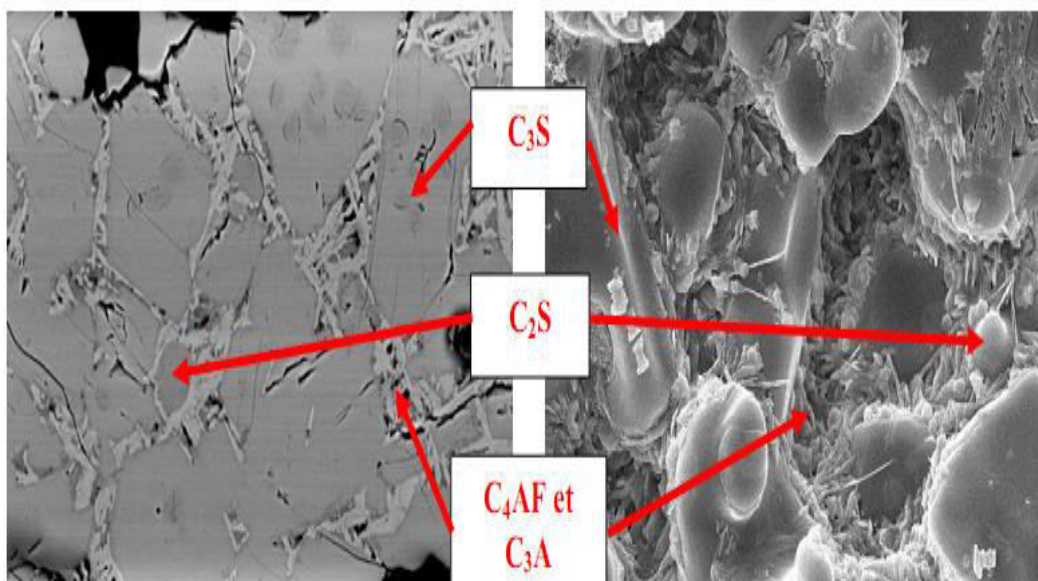


Figure I.A.3 : Image d'une section polie d'un clinker réalisée au Microscope Electronique à Balayage en électrons rétrodiffusés [14]

Conclusion :

La fabrication du ciment de bonne qualité qui est un ciment dans les normes algériennes dépend principalement de la production d'un clinker de bonne qualité qui présente un pourcentage de silicate tricalcique (C3S) élevé. Pour cela, il faut préparer un mélange en proportion déterminée de calcaire et d'argile et avec un pourcentage bien précis des quatre constituants de base (la chaux, la silice, l'alumine, et le fer) qui assurent la composition correcte et donc garantir la qualité du produit fini.

Partie

B



**Chaine De
Fabrication De Ciment**

B. Chaîne de fabrication de ciment :

1. Processus de fabrication de ciment :

Le cru est réalisé à partir d'un mélange calcaire – argile sous titré et corrigé par du calcaire et du fer. [15]

1.1. Extraction :

Les matières premières sont extraites généralement à ciel ouvert. L'extraction consiste à extraire des parois rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. La roche est acheminée par des dumpers d'une capacité de 35 à 45 tonnes vers un atelier de concassage.[15]



Figure I.B.1 : Carrière d'extraction d'argile et de calcaire [21]

1.2. Concassage:

Le calcaire et l'argile sont ramenés au concasseur par deux alimentateurs entraînés par des moteurs de vitesse variable. La possibilité de variation de vitesse des alimentateurs assure le contrôle :

- Du débit de concasseur.
- Des proportions de calcaire et l'argile qui peuvent être corrigées en fonction des valeurs mesurées à l'échantillonnage. L'opération du concassage du mélange se fait à l'aide d'un concasseur à battoire d'un débit nominal de 1200T/h d'un mélange cru égale 75% de calcaire et de 25% d'argile, ce concasseur est pour rôle de réduire le mélange à une granulométrie finale de 0 à 25 mm. [15]



Figure I.B.2 : Concassage des matières premières au niveau de la carrière [21]

1.3. Pré homogénéisation :

Le mélange, acheminé à l'usine par transporteur couvert, est stocké dans un hall de pré homogénéisation qui comporte deux tas (de 30000 à 35000 Tonne) l'un en constitution à l'aide d'un shaker et l'autre en reprise. Une correction est prévue au niveau du broyeur cru par ajout de fer et de calcaire. Ces ajouts sont stockés dans deux trémies. [15]

Une trémie de 90 t reçoit le mélange ; cette dernière est alimentée de façon Discontinue à partir du tas de pré homogénéisation par un pont grappeur dont le débit peut atteindre 450 t/h. [15]



Figure I.B.3 Hall de Pré Homogénéisation [21]

1.4. Broyage du cru :

Le broyage et le séchage du cru sont réalisés à un débit de 300 t/h dans un broyeur à boulet à sortie centrale de 5 m de diamètre et de 13,9 m de longueur, avec un compartiment de séchage et deux compartiments de broyage. [15]

L'entraînement est assuré par 2 moteurs de 1 650 KW.

La sélection granulométrique est réalisée au moyen d'un séparateur statique de 7,5 m et d'un séparateur dynamique de 7,2 m alimenté par deux élévateurs pouvant assurer chacun 60% du débit. Le séchage est assuré par les gaz de four à 320 – 330 °C en période normale pour une humidité de 5,5. [15,17]

La préparation du cru au cours de laquelle on réalise le mélange homogène du calcaire, d'argile de sable et de minerai de fer, peut être réalisée suivant quatre procédés différents : la voie sèche, semi - sèche, semi - humide et humide.

- **Dans La Voie Sèche :** les matières premières sont parfaitement séchées et homogénéiser lors de broyage afin d'obtenir la farine ou crue.
La farine peut être ensuite introduite directement dans le four ou passer dans une tour de préchauffage. [16]
- **Dans La Voie Semi-Sèche :** la farine mélangée à de l'eau forme des granulats qui sont introduits dans un préchauffeur à grilles situé en amont du four ou dans un four long équipé de croisillons. [16]
- **Dans La Voie Semi-Humide:** la pâte est d'abord débarrassée de son eau dans des filtres-presses. Le gâteau de filtre-presse est ensuite extrudé sous forme de granulats et introduit dans un préchauffeur à grilles ou directement dans un sécheur pour la fabrication du cru. [16]
- **Dans La Voie Humide :** les matières premières (dont la teneur en humidité est souvent élevée) sont broyées dans l'eau pour former une pâte pouvant être pompée. Elle est ensuite introduite directement dans le four où peut passer auparavant dans un sécheur. [16]



Figure I.B.4 : Broyeur Cru [21]

1.5. Homogénéisation :

La farine crue est homogénéisée en continu dans deux silos, à cône central de mélange, d'une capacité unitaire de 10 000 t.

Pour accroître l'efficacité de l'homogénéisation, les 2 silos sont alimentés et soutirés simultanément. [15,17]

1.6. Atelier de Cuisson :

a. Préchauffeur :

L'atelier comporte, en parallèle, deux préchauffeurs à 4 étages qui alimentent le four rotatif. Lors de cette étape, le mélange est introduit dans la partie supérieure de la tour de préchauffage/pré calcination, qui est l'antichambre du four. A l'intérieur de la tour, quatre cyclones, sorte d'entonnoirs empilés les uns dans les autres, reçoivent tour à tour le cru, qui, en tombant en cascade, rencontre les gaz échappés du four. Le cru encore une fois brassé, commence donc à chauffer progressivement au fur et à mesure qu'il s'approche du four, évitant ainsi le choc thermique du passage de 20°C à 1400°C quelques secondes, le cru entame une procédure de décarbonatation. Pour cela, on ajoute un foyer supplémentaire dans le cyclone le plus inférieur, qui maintient les gaz à une température plus élevée, entre 800°C et 1000°C. [17, 18,19]

Cette technique est appelée "pré calcination", car le matériau arrive à l'entrée du four avec une température proche de celle de cuisson.

Ces matériels de conception CLE, ont la caractéristique suivante :

- Par ligne de préchauffeur de haut en bas : [15]
 - ✓Cyclones dépoussiéreurs (KHD) Ø 3800 mm
 - ✓Cyclones 2, 3, 4 de Ø 6500 mm
 - ✓04 pyroclons



Figure I.B.5 : Préchauffeur [21]

b. Four Rotatif :

Il s'agit de la pièce maîtresse de la cimenterie. Le four constitué par une virole cylindrique de 90m de long et de 5.6m de diamètre protégé par de la brique réfractaire, incliné de trois pour cents par rapport à l'horizontale. La flamme, élément principal du four, est environ 2000°C, elle est issue de la combustion de gaz naturelle. [15, 17,19]

C'est dans le four que se produisent les transformations physiques et chimiques qui vont transformer le cru en clinker.

Dans l'ordre simplifiant à l'extrême, le cru est introduit dans le four, pour suite sa déshydratation, préalablement entamée dans la colonne de préchauffage, puis vers **1000-1200°C**, se produit la décarbonisation, c'est adire que le calcaire se transforme en chaux. Puis il ya une phase de Clinkerisation, au cours de la quelle les composants définitifs du ciment apparaissent. Sous l'effet de la chaleur, les constituants de l'argile, se combinent à la chaux provenant du calcaire. [18,19]



Figure I.B.6 Four rotatif [21]

c. Refroidisseur :

Un refroidisseur à grille traite le clinker sortant du four rotatif. Le refroidisseur a pour rôle d'abaisser la température du clinker tombant du four à une température d'environ 1200°C jusqu'à 80-100°C.

Il est équipé d'une batterie de ventilateurs fournissant l'air de refroidissement. [17, 18,19]



Figure I.B.7 Refroidisseur à grille [21]

1.7. Stockage Du Clinker :

La manutention du clinker est réalisée par des transporteurs métalliques vers les deux stocks polaires principaux de capacité unitaire de 30 000 t .Un troisième stock de 3 000 t est réservé pour les incuits. L'extraction de clinker est assurée par des extracteurs vibrants. [15]



Figure : I.B.8 Bulle de stockage du clinker [21]

1.8. Broyage Du Clinker :

Il est réalisé en continu dans des broyeurs alimentés à partir des stocks de clinker et des différents constituants et ajouts. [16,19]

Le broyage a pour objectif, d'une part de réduire les granulats de clinker en poudre, d'autre part, de procéder à l'ajout du gypse (dont le rôle est de réguler le phénomène de prise), ainsi qu'à celui des éventuels autres constituants (pouzzolane, calcaire sable) ce qui permet d'obtenir les différents types de ciments normalisés. [16,19]



Figure : I.B.9 Broyeur ciment [21]

1.9. 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. [15,19]

- Deux lignes pour le vrac camion d'une capacité unitaire de 250 à 300 t/h.
- Deux postes pour le vrac wagon d'une capacité unitaire de 300 t/h.
- Six ensacheuses rotatives à 08 becs d'une capacité unitaire de 2000 sacs/h.



Figure : I.B.10 Stockage Expédition [21]

Conclusion :

On rencontre quatre procédés de fabrication du cru : la voie humide, la voie semi-humide, la voie sèche et la voie semi-sèche qui dépendent essentiellement du matériau. Le principe de fabrication se résume à l'extraction de calcaire et d'argile à partir des carrières, puis ces matériaux sont concassés, optimisés à l'aide de trois paramètres permettant de fixer la composition du cru, homogénéisés, portés à hautes température (1450°C) dans un four rotatif. Le produit obtenu après refroidissement rapide est le clinker.

Pour obtenir un ciment aux propriétés hydrauliques actives, le clinker doit être à son tour broyé très finement et enfin, le ciment est stocké dans des silos pour expéditions.

Chapitre

II

Étude Expérimentale



Méthodes D'analyses :

Introduction :

Dans ce chapitre nous allons faire une représentation sur les différentes méthodes d'analyse sur le ciment.

1. Méthodes chimiques :

On distingue deux méthodes chimique : classique ou par fluorescence RX.

▪ Par voie chimique classique:

Les deux méthodes principalement utilisées pour la détermination d'analyses sont:

- L'attaque par fusion pour la matière première (argiles, calcaire, ajouts).
- L'attaque directe par l'acide perchlorique HClO_4 pour les cuits c'est à dire clinker et ciment.
- **L'attaque par acide** : L'attaque par acide est utilisée pour la matière cuite ; à savoir le clinker et le ciment dont le mode opératoire [20] est le suivant :
 - On pèse 2g de matière cuite et la faire introduire dans un Becher 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 Becher 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.

1.1. Dosage pour la détermination des oxydes :

1.1.1. Détermination de l'oxyde de calcium (CaO) :

- Prendre 50 ml de la solution filtrée dans un Becher, et on ajoute 40 ml de NaOH à 2N pour maintenir un pH entre 12 et 13. On verse ensuite 15 ml de tri-éthanol-amine pour masquer le Fe_2O_3 et Al_2O_3 . On ajoute une pincée de l'indicateur coloré ; la calcine qui donne une couleur verte.

- On titre avec E.D.T.A (éthylène diamine tétra acétique) jusqu'au la disparition complète de la couleur verte et l'apparition d'une couleur violette ; soit le volume $V_{\text{CaO}}(\text{ml})$ de l'E.D.T.A versé.

Le pourcentage du CaO est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{ CaO} = V_{\text{EDTA}_{\text{CaO}}} \times T_{\text{CaO}}$$

Tel que :

% CaO : Le pourcentage de la chaux.

T_{CaO} : Titre en CaO (son calcul est donné dans l'annexe 1).

$V_{\text{EDTA}_{\text{CaO}}}$: Le volume d'EDTA nécessaire pour doser le CaO.

1.1.2. Détermination de l'oxyde de magnésium (MgO) :

- On prend 50 ml de la même solution, on lui ajoute 20 ml de tri-éthanol-amine ($\text{C}_6\text{H}_{15}\text{O}_3\text{N}$) et quelques gouttes d'indicateur de MgO qui donne une couleur violette.
- Verser ensuite 10 ml de NH_4OH pour avoir un pH de 10 à 11 et titrer avec l'E.D.T.A ; soit V_{MgO} le volume d'E.D.T.A versé.

Le pourcentage d'oxyde de magnésium est déterminé selon la formule suivant :

$$\% \text{ MgO} = V_{\text{EDTA}_{\text{MgO}}} \times T_{\text{MgO}}$$

Tel que :

% MgO : Le pourcentage de l'oxyde de magnésium.

T_{MgO} : Titre en MgO (son calcul est donné dans l'annexe 1).

$V_{\text{EDTA}_{\text{MgO}}}$: Le volume d'EDTA nécessaire pour doser le MgO.

1.1.3. Détermination de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) :

- On prend 50 ml de la solution filtrée et on ajoute 3 gouttes de bromophénol. Ensuite, on verse du NH_4OH jusqu'à l'apparition d'une teinte bleue fugitive. Le dépassement de la teinte bleue provoque la précipitation de l'oxyde d'alumine Al_2O_3 .
- On ajoute 20 ml de l'acide chlorhydrique HCl à N/10 pour obtenir le pH de 1,5 ; pour que le Fe_2O_3 soit le seul à être complexé, on ajoute 15 ml de solution pH 1,5, ajouter 15 à 20 gouttes d'acide salicylique qui donne une coloration violette. Chauffer la solution jusqu'à 40-50 °C pour préciser le dosage de Fe_2O_3 .

- On titre avec E.D.T.A jusqu'à l'apparition de la couleur jaune ; soit $V_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ le volume d'E.D.T.A versé.

Le pourcentage de l'oxyde de fer est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = V_{\text{EDTA}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} \times T_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Tel que :

% Fe₂O₃ : Le pourcentage de l'oxyde de fer.

T_{Fe₂O₃} : Titre en Fe₂O₃ (son calcul est donné dans l'annexe 1).

V_{EDTA_{Fe₂O₃}} : Le volume d'EDTA nécessaire pour doser le Fe₂O₃.

1.1.4. Détermination de l'alumine (Al₂O₃) :

- On prend 50 ml de la solution ayant servie pour le dosage du fer, on ajoute l'acétate d'ammonium jusqu'au virage bleu à pH 3,6. Ensuite, on ajoute 5 ml d'acide acétique dont le pH se trouve fixé à 3,6.
- On ajoute 10 gouttes de complexonate de cuivre pour complexer l'alumine Al₂O₃, puis ajouter 10 gouttes de peroxyde azotique naphthol (PAN) qui donne la couleur rose violacée.
- Laisser sur le plaque chauffante jusqu'à l'ébullition pour accélérer la vitesse de complexation de l'alumine.
- On titre ensuite avec l'E.D.T.A jusqu'au virage jaune persistant, la couleur violette réapparaît tant qu'il reste de l'alumine non complexée.

Le pourcentage de l'alumine est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = V_{\text{EDTA}_{\text{Al}_2\text{O}_3}} \times T_{\text{Al}_2\text{O}_3}$$

Tel que :

% Al₂O₃ : Le pourcentage de l'alumine.

T_{Al₂O₃} : Titre en Fe₂O₃ (son calcul est donné dans l'annexe 1).

V_{EDTA_{Al₂O₃}} : Le volume d'EDTA nécessaire pour doser le Al₂O₃.

1.2. Détermination de la silice (SiO₂) « NA 233 » :

- On pèse un creuset en platine propre et sec (P₁). Ensuite, on met le papier filtre et son contenu dans le creuset et puis on laisse dans le four à température d'environ 1000 °C pendant 1 heure.

- Retirer le creuset et faire refroidir et on prend sa pesée (P_2).

Le pourcentage de la silice est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{SiO}_2 = (P_2 - P_1) \times 100 / P.E$$

P.E : poids d'échantillon.

1.3. Détermination de la chaux libre CaO_L :

- On pèse 1 g de matière (clinker ou ciment), puis mettre dans un erlen 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 filtré quelques gouttes de bleu de méthylène ; qui donne la couleur bleu 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 :

$$\% \text{CaO}_L = T \times V_{\text{CaO}_L}$$

T : titre de HCl

1.4. Détermination de la perte au feu (PAF) « NA 235 » :

- On prend une capsule en platine propre et sèche puis on met 2 g de matière cuite. On pèse l'ensemble ; soit P_1 .
- Ensuite, On met la capsule en platine dans un four à moufle pour la calcination à température de 1000 °C pendant 1 heure.
- On sortie la capsule en platine et on la pèse froide ; soit P_2 .

La P.A.F est déterminée selon la formule suivante :

$$\text{PAF} = (P_1 - P_2) \times 100/2$$

1.5. Détermination du pourcentage de SO_3 :

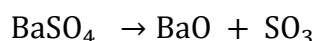
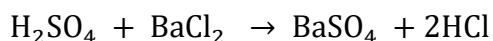
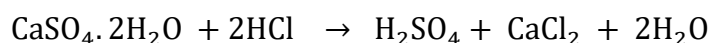
- On pèse 1 g de matière (clinker ou ciment). Ensuite, on ajoute 20 ml d'eau distillée et 15 ml de HCl N/2. On porte à l'ébullition. Puis, on filtre cette solution dans un Becher (filtre rapide).
- On ajoute 15 ml de BaCl_2 (100 g/l) ; pour former un précipité de SO_3 .
- Ensuite, on chauffe la solution et puis on la filtre (filtre lent). On pèse un creuset en platine propre et sec (P_1).

- Mettre le filtre et son contenu dans le creuset. Ensuite, on calcine au four à 1000 °C pendant 30 minutes puis retirer le creuset et laisser refroidir. On pèse (P_2).

Le pourcentage de SO_3 est donné par la formule suivante :

$$\% SO_3 = (P_2 - P_1) \times 34,3$$

Vérification de la formule :



$$233,23 \text{ g} \rightarrow 80 \text{ g}$$

$$P_x \rightarrow m_{SO_3}$$

$$m_{SO_3} = P_x \times 80 / 233,23$$

D'où : $\% SO_3 = m_{SO_3} / \text{masse d'échantillon}$; Tel que : la masse d'échantillon = 1 g

Alors : $\% SO_3 = 80 \times P_x / 233,23 = 34,3 \times (P_2 - P_1)$; Tel que : $P_x = P_2 - P_1$

1.6. Détermination de la teneur des alcalins (K_2O , Na_2O) :

- On utilise le photomètre à flamme. On l'étalonne avec d'eau distillée puis on prend un Becher propre qu'on remplit avec notre solution contenue dans la fiole jaugée de 500 ml. Lire la valeur affichée sur le photomètre.

Le pourcentage de K_2O est déterminé avec la formule suivante :

$$\% K_2O = \text{Valeur affichée} \times \text{Coefficient de } K_2O$$

Le pourcentage de Na_2O est déterminé avec la formule suivante :

$$\% Na_2O = \text{Valeur affichée} \times \text{Coefficient de } Na_2O$$

Coefficient de Na_2O Et K_2O

D'après la courbe d'étalonnage de photomètre à flamme, on détermine les coefficients suivant :

- Coefficient de $Na_2O = 0,01578012$.
- Coefficient de $K_2O = 0,00237896$.

➤ **Par fluorescence des RX :**

Pour faire les analyses avec les RX on utilise les pastilles.

▪ **Préparation des pastilles :**

Cette méthode ne consiste pas beaucoup de temps, puisque il suffit de broyé 10 g de l'échantillon a une granulométrie inférieur a 63 micron mètre on introduisant 1 g de sire (le fondant wax) et on le met dans une pastille, cette dernière subit une force de 150 K.N a l'aide d'une pastilleuse automatique. (Figure II.2)



Figure II.1: Pastilleuse.

En dernière étape on procède a l'analyse par fluorescence X en utilisant le programme correspond a l'échantillon a analysé soit la perle soit la pastille dans l'analyseur de fluorescence des rayons X (figure II.3).

Les résultats d'analyses des différents éléments sont exprimés en pourcentage.



Figure II.2 : Analyseur RX.

2. METHODES PHYSIQUES :

2.1. Mesure de la surface spécifique par la méthode Blaine « NA 231 » :

2.1.1. But :

Détermination de la finesse du ciment ou bien le degré de broyage.

2.1.2. Principe :

La finesse du ciment est mesurée en observant le temps mis par un volume fixé d'air pour traverser un lit de ciment compact à une porosité spécifique à 0,5.

2.1.3. Appareillage :



Figure II.3 : Le perméabilimètre de Blaine.

2.1.4. Mode opératoire :

- On place la grille au fond de la cellule et on applique sur cette grille au moyen d'une tige à face intérieure pleine un disque neuf de papier filtre. Puis, on verse le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir, en donnant quelques secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du liant.
- Ensuite placer sur celle-ci un autre disque neuf de papier filtre, et tasser 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 et on retire le piston lentement.
- Roder la cellule et placer sur son ajustage en appliquant un léger mouvement de rotation pour répartition de la vaseline, on veuille au cours de cette opération à ne pas altérer le tassement de la couche.
- Aspirer lentement au moyen de la poire l'air du tube jusqu'à ce que niveau lu liquide cinquième de seconde quand le niveau du liquide atteint le deuxième trait, et arrêter quand le niveau atteint le troisième trait.
- On vérifiant le niveau du liquide du manomètre qui doit effleurer au trait inférieur, on note le temps écoulait et la surface spécifique du Blain.

Selon la formule suivante :

$$S = K \times \sqrt{e} \times \sqrt{t}/\rho (1 - e)\sqrt{\mu}$$

Avec :

S : Surface spécifique (cm²/ g)

K : Constante de l'appareil

e : Porosité de la couche tassée (0,5)

ρ : Masse volumique des grains

μ : Viscosité de l'air à la température d'essai (en poises)

La masse à peser est déterminée en fonction du pourcentage de la pouzzolane ajouté

Tableau II.1: La masse de ciment en fonction du pourcentage de la pouzzolane.

% Pouzzolane	Masse de ciment
10 %	2,97 g
15 %	2,95 g
20 %	2,88 g

2.2. Mesure de la densité « NA 229 » :

2.2.1. But :

La détermination du poids réel du ciment rempli dans les sacs.

- Si la densité est supérieure à 1 ; donc le sac doit contenir plus que son poids réel de 50kg.
- Si la densité est inférieure à 1 ; donc le sac doit contenir moins de 50 kg.

2.2.2. Mode opératoire :

On prend le poids du pot métallique vide (P_1). Avec un entonnoir, on remplit le pot avec du ciment non tassé, et on pèse (P_2)

La densité est donnée par la formule suivante :

$$\text{Densité} = P_2 - P_1$$



Figure II.4: L'entonnoir.

2.3. Détermination du pourcentage des refus « NA 229 » :

2.3.1. But :

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

2.3.2. Mode opératoire :

On pèse 100 g de ciment. Ensuite, à l'aide d'un pinceau, on tamise sur un tamis de 90 μ . Les particules au dessus du tamis représentant le pourcentage du refus.



Figure II.5: les tamis de 90 μ et de 45 μ .

Au niveau de laboratoire de la cimenterie de Béni-Saf, on utilise l'appareil alpine qui nous donne le pourcentage de refus automatiquement.



Figure II.6: Appareil alpine.

2.4. La consistance normale :

2.4.1. Définition :

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 dite normale.

2.4.2. Pâte normale :

La pâte normale est une pâte de consistance normale ; c'est-à-dire telle qu'en opérant avec l'appareil de Vicat.



Figure II.7: L'appareil de Vicat.

La lecture donnant l'épaisseur de la pâte restant entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule quand celle-ci cesse de s'enfoncer sous son propre poids. Cette épaisseur doit être de $5 \text{ mm} \pm 1$.

2.4.3. Préparation de la pâte :

On pèse 500 g de ciment, on verse dans un récipient du malaxeur, puis on ajoute l'eau préalablement déterminée par des tâtonnements successifs de manière à réaliser la consistance normale.



Figure II.8: Le malaxeur.

2.4.4. Vérification de la consistance normale « NA 229 » :

L'appareil de Vicat, est un plateau nu ayant été muni d'une sonde de consistance. Placer immédiatement le moule rempli de la pâte dans l'axe de la sonde, laisser descendre cette dernière perpendiculairement à la surface de pâte et l'immobiliser à son contact, marquer un temps d'arrêt puis abandonner la sonde à elle-même sans vitesse initiale.

Procéder à la lecture d'épaisseur de la pâte, quand la sonde a cessé de descendre sous son propre poids.

Conserver l'éprouvette dans l'armoire humide pour la détermination des temps de prise du ciment.

2.5. Essais de prise « NA 230 » :

2.5.1. Définition :

L'essai de prise a pour but de déterminer le temps de prise, c'est-à-dire qui s'écoule entre l'instant où le liant a été mis en contact avec l'eau de gâchage et respectivement le début de prise et fin de prise.

2.5.2. Principe de l'essai :

On détermine le début de prise ou fin de prise à l'aide de l'aiguille de Vicat qui s'enfonce dans un moule tronconique rempli de pâte.

2.5.3. 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 prend plus jusqu'au fond c'est-à-dire s'arrête à une distance du fond du moule supérieure à $4 \text{ mm} \pm 1$.



Figure II.9 : L'aiguille de Vicat.

2.5.4. 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.

L'essai de prise est normalement effectué sur un mortier normale, il peut être effectué sur pâte normale, il est exécuté sur éprouvette conservée dans une armoire humide.

Cette méthode décrite précédemment n'est pas utilisée maintenant dans le laboratoire d'essais physiques de la cimenterie de Béni-Saf, car il dispose d'un nouvel équipement appelé prisomètre automatique multiple.

2.6. Prisomètre automatique multiple :

Le temps de prise d'un ciment ou d'un mortier est déterminé par l'observation de la pénétration d'une aiguille dans une pâte de consistance normalisée. Le prisomètre automatique CONTROLAB-PERIER permet d'effectuer cet essai de pénétration simultanément sur 6 moules gérés indépendamment les uns des autres. Durant l'essai, le prisomètre est piloté automatiquement par un micro ordinateur compatible fourni avec l'appareil.

Grace au logiciel installé sur cet ordinateur « application prisomètre », l'utilisateur peut rentrer les données de l'essai, lancer un essai de début et fin de prise, suivre son déroulement à l'écran sur une courbe.

Les résultats de pénétration (temps de début de prise, temps de fin de prise, courbe de la profondeur de pénétration en fonction du temps), sont automatiquement stockés dans un

fichier à chaque pénétration. Quand les pénétrations d'un poste sont terminées l'impression d'un rapport d'essai est proposée. On peut alors relancer un nouvel essai sur le poste libéré.



Figure II.10: Prisomètre automatique multipostes.

2.7. Essai d'expansion « NA 232 » :

2.7.1. Définition :

Le moule d'expansion est de la forme cylindrique de 30 mm de diamètre et 30 mm de hauteur, constitués par une feuille de laiton (épaisseur 0,5 mm), comportant deux aiguilles longues de 15 cm (aiguilles Lechâtelier) soudées de chaque côté de la fente.

La variation de l'écartement des ces aiguilles nous renseignera sur la valeur du gonflement.



Figure II.11: Aiguille Lechâtelier.

2.7.2. Mode opératoire :

- On met la pâte préparée sur une plaque de verre et on remplit le moule d'expansion, puis on couvre avec une deuxième plaque de verre.
- On conserve les aiguilles dans l'armoire humide pendant 24 heures.
- Ensuite, on enlève les aiguilles de l'armoire humide et on marque l'écartement entre les deux aiguilles, et les mettre dans un bain marie à température 100 °C pendant 3 heures.
- Ensuite, on mesure l'écart (pendant la confection du moule). La variation de l'écartement représente l'expansion à chaud.

2.8. Essais mécaniques (flexion-compression) « NA 234 » :

2.8.1. Définition :

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 de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion et la compression des liants hydrauliques.

2.8.2. Préparation de mortier normal :

- On pèse 450 g de ciment, on introduit dans le récipient du malaxeur, et on ajoute 225 ml d'eau et on verse 1350 g de sable normalisé dans le malaxeur et on met le malaxeur en marche.
- Ensuite, on verse le mélange dans le moule à l'aide d'une spatule et on met le moule dans l'appareille à choc ; pour entasser 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 2 jours, 7 jours et 28 jours et même de 56 jours et 100 jours dans notre étude.



Figure II.12: Chambre humide



Figure II.13: Malaxeur automatique.



Figure II.14: Appareil choc.



Figure II.15: Moule cubique et prismatique.

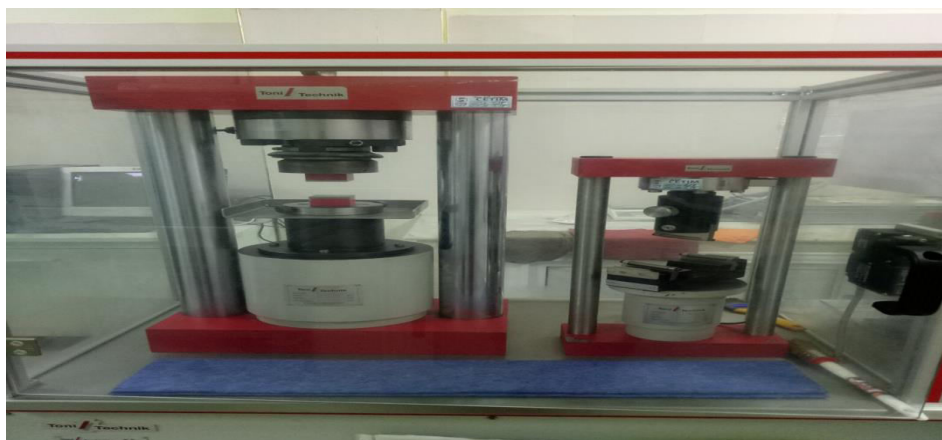
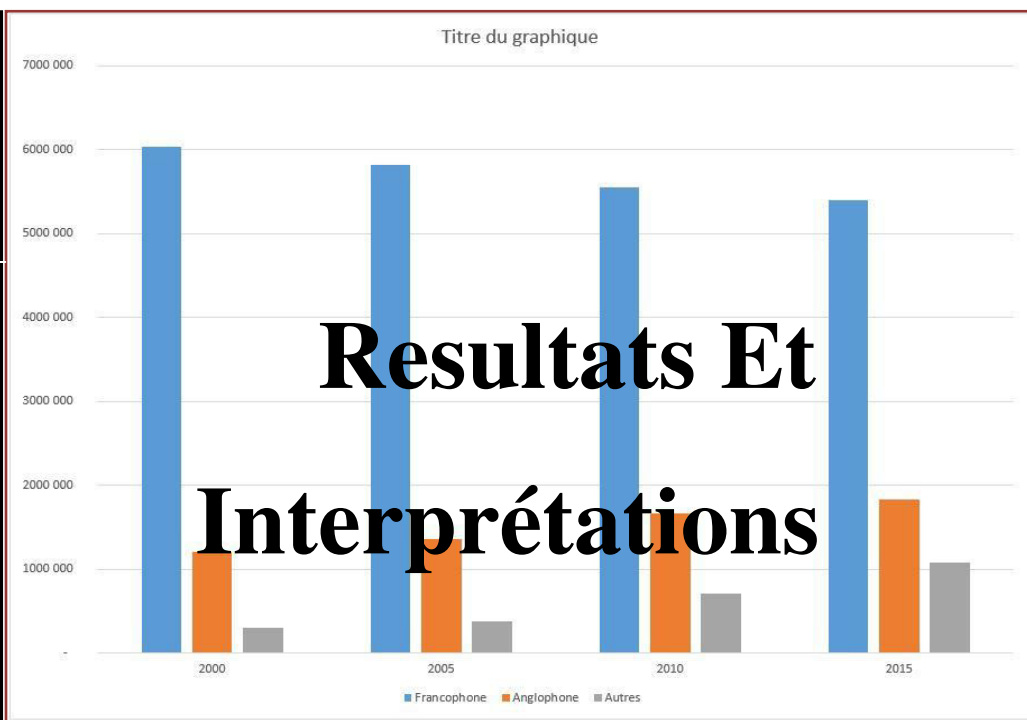


Figure II.16: Appareil de flexion et compression.

Chapitre

III



Resultats Et Interprétations

1. Prélèvement des échantillons :

Les échantillons sont prélevés dans le hall des ajouts pour la pouzzolane et le gypse, le clinker a été prélevé de la bull I clinker, et l'opération qui a pris du temps est celle du prélèvement de l'échantillon des incuits car notre but est d'utiliser un échantillon qui présente une teneur élevée en chaux libre. La quantité prélevée est de 05Kg pour chaque échantillon.

2. Pesage et répartition des échantillons :

On a préparé 02Kg pour chaque échantillon, on varie dans le pourcentage des incuits en débutant avec 10 % jusqu'à 35 %. Le nombre d'échantillons préparés est de 06, ainsi un échantillon de ciment produit dans la cimenterie "ciment 1".

L'opération de mélangeage des échantillons a été réalisée à l'aide d'un mélangeur au niveau de laboratoire physique.



Figure III.1 : Mélangeur

3. Résultats d'analyses chimiques de clinker incuit introduit :

Exemple de calcul :

$$\begin{array}{l}
 2000 \text{ g} \longrightarrow 100\% \\
 X \longrightarrow 10\% \\
 X=200 \text{ g}
 \end{array}$$

Donc, pour préparer 2 Kg de ciment à 10% de clinker incuit nous devons prélever 1800 g de ciment et mélanger avec 200 g de clinker incuit. Puis à l'aide d'un mélangeur, on mélange l'ensemble pendant 500 seconds pour avoir un échantillon représentatif.

Tableau III.1 : Composition chimique élémentaire de clinker incuit de Béni-Saf.

Composant	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO _L	PAF
%	0.35	1.43	5.80	21.44	0.58	0.48	63.37	3.41	5.5	2.36

C₃S : 27.40 %

C₂S : 40.80 %

C₃A : 09.60 %

C₄AF : 10.40 %

4. Résultats d'analyses chimiques des différents échantillons préparés :

Tableau III.2 : analyses chimiques des différents échantillons préparés.

échantillons composant	Ciment témoin	10% incuits	15% incuits	20% incuits	25% incuits	30% incuits	35% incuits
Na ₂ O	0.49	0.48	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46
MgO	1.10	1.07	1.07	1.06	1.04	1.06	1.04
Al ₂ O ₃	5.98	5.90	5.81	5.73	5.72	5.62	5.62
SiO ₂	25.40	25.36	24.82	24.56	24.21	24.15	24.05
SO ₃	2.01	1.85	1.79	1.75	1.71	1.65	1.53
K ₂ O	0.36	0.36	0.36	0.35	0.36	0.36	0.35
CaO	56.60	57.02	57.71	57.95	58.41	58.85	59.23
Fe ₂ O ₃	3.17	3.15	3.09	3.07	3.02	3.00	2.96
CaO _L	1.26	1.77	2.00	2.22	2.31	2.70	2.85
PAF	1.83	1.80	1.75	1.70	1.65	1.60	1.44
Cl ⁻	0.028	0.028	0.029	0.029	0.029	0.030	0.030

5. Résultats d'analyses physico mécaniques des différents échantillons préparés :

5-1. Surface spécifique Blaine SSB :

Le tableau suivant donne les surfaces spécifiques Blaine des différents échantillons.

Tableau III.3 : Surface spécifique Blaine des échantillons à différents pourcentage en incuits

Échantillons	Ciment témoin	10% incuits	15% incuits	20% incuits	25% incuits	30% incuits	35% incuits
SSB (cm ² /g)	3196	3401	3423	3357	3379	3357	3357

5-2. Refus sur tamis de 45 et 90 µ :

Les résultats sont rassemblés dans les tableaux ci-après :

Tableau III.4 : Refus des échantillons à différents pourcentage en incuits

Échantillons	Ciment témoin	10% incuits	15% incuits	20% incuits	25% incuits	30% incuits	35% incuits
Refus de 45µ (%)	13	15	16.10	16.50	17	18.08	19.2
Refus de 90µ (%)	1.4	2.90	4.00	4.60	5.04	5.8	6.88

5-3. Densité apparente :

Les résultats sont fournis par le tableau suivant :

Tableau III.5 : Densité apparente des échantillons à différents pourcentage en incuits

Échantillons	Ciment témoin	10% incuits	15% incuits	20% incuits	25% incuits	30% incuits	35% incuits
Densité (kg/cm ²)	0.991	0.931	0.938	0.968	0.935	0.976	1.005

5-4. Expansion à chaud (mm) :

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus.

Tableau III.6 : Expansion à chaud des échantillons à différents pourcentage en incuits

Échantillons	Ciment témoin	10% incuits	15% incuits	20% incuits	25% incuits	30% incuits	35% incuits
Expansion (mm)	00	00	01	02	05	20	33

5-5. La consistance normale, temps de début de prise et de fin de prise :

La consistance normale est la quantité d'eau nécessaire pour préparer une pâte pure.

Tableau III.7 : Résultats des essais sur la pâte pure des échantillons à différents pourcentage en incuits

Échantillons		Ciment témoin	10% incuits	15% incuits	20% incuits	25% incuits	30% incuits	35% incuits
Temps De Prise	Début	221	205	200	199	187	182	173
	Fin	270	268	262	260	257	247	236
E/C (%)		25.8	25.8	25.68	25.64	25.6	25.56	25.44
E		129	128.6	128.4	128.2	128	127.8	127.2
C		5	5	5	5	5	5	5

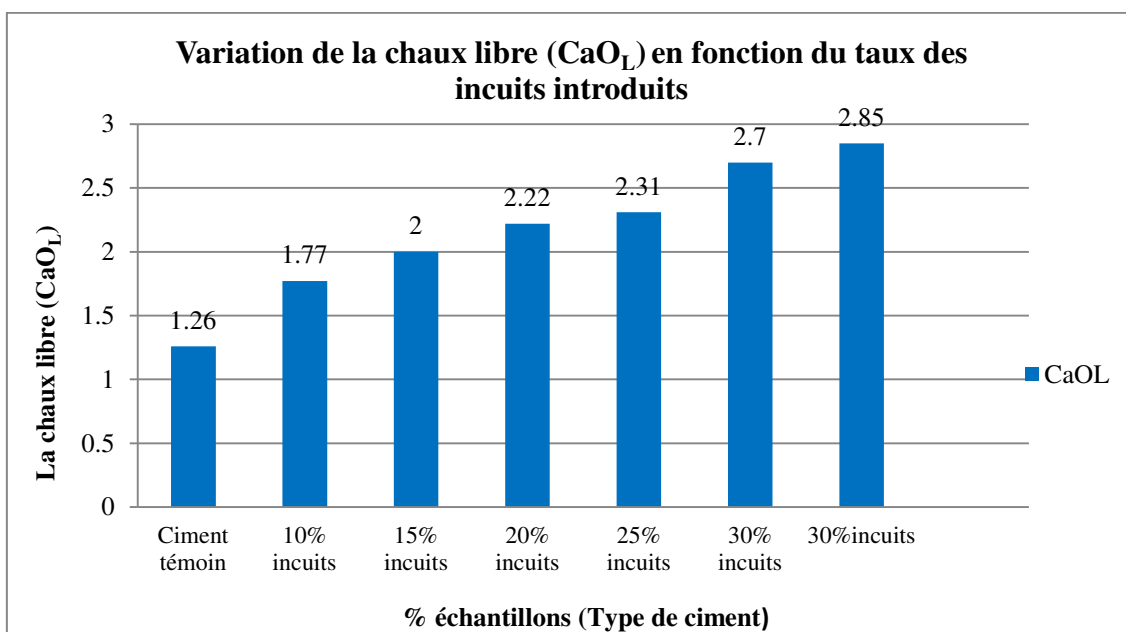
5-6. Résultats des résistances à la traction par flexion et à la compression :

Tableau III.8 : Résultats des résistances à la traction par flexion et à la compression

Échantillons	Résistance à la flexion (MPa)			Résistance à la compression (MPa)		
	2 jours	7 jours	28 jours	2 jours	7 jours	28 jours
Ciment témoin	4.31	5.87	7.27	19.18	34.50	47.70
10% incuits	3.57	5.68	7.23	17.05	33.25	47
15% incuits	3.47	5.50	7.20	14.77	31.30	46.55
20% incuits	3.27	5.37	7.03	14.10	29.45	44.80
25% incuits	3.26	5.32	6.68	13.68	28.80	44.60
30% incuits	2.94	5.07	6.56	12.95	28.45	44.30
35% incuits	2.77	4.72	6.50	12.06	27.10	42.6

6. Graphes Et Interprétations :

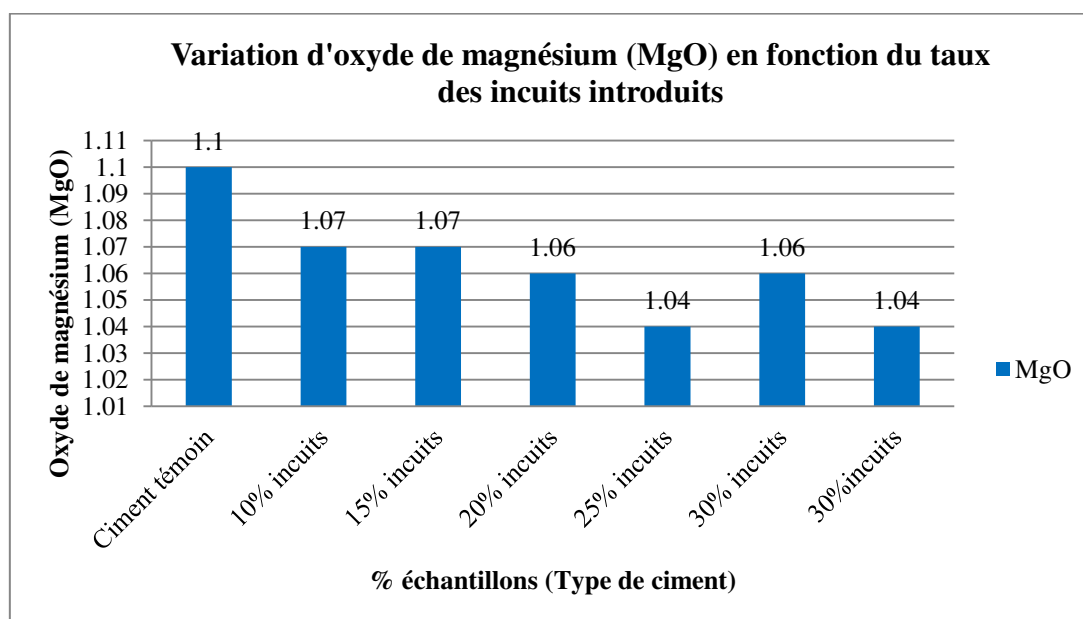
6.1. La chaux libre (CaO_L) :



Interprétation :

On remarque que le taux de la chaux libre (CaO_L) est en relation proportionnel avec le taux des incuits introduits au ciment, donc le taux de la chaux libre (CaO_L) dans le ciment augmente avec l'augmentation de taux des incuits, ou le taux de la chaux libre qui dépasse 2.31% déclenche directement l'expansion sur ciment.

6.2. Oxyde de Magnésium (MgO) :

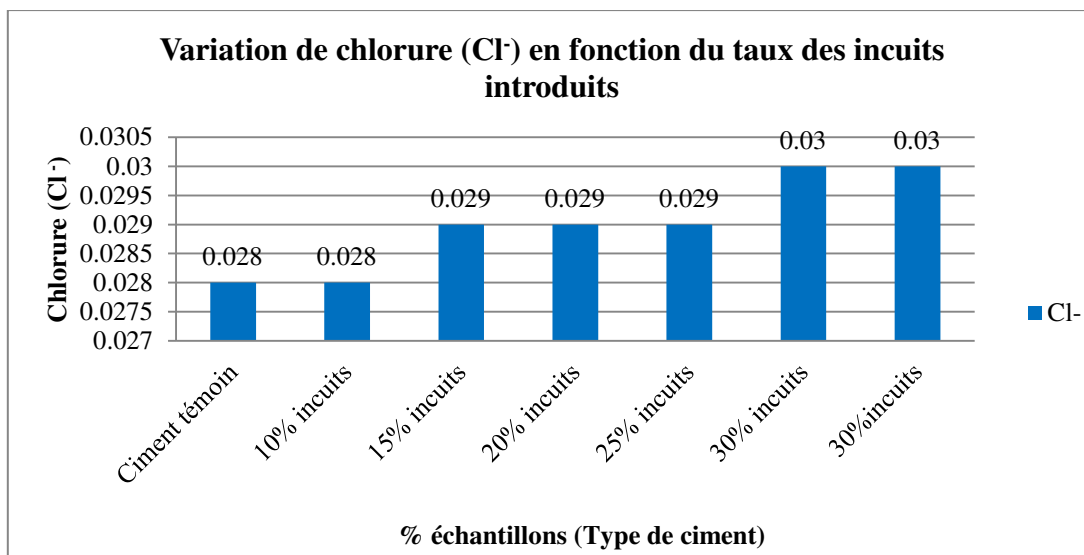


Interprétation :

On remarque que le pourcentage (%) d'oxyde de magnésium (MgO) dans les différents type de ciment est conforme à la norme quelque soit le taux des incuits introduit.

NA : Oxyde de magnésium (MgO) $\leq 5\%$

6.3. Chlorure (Cl) :

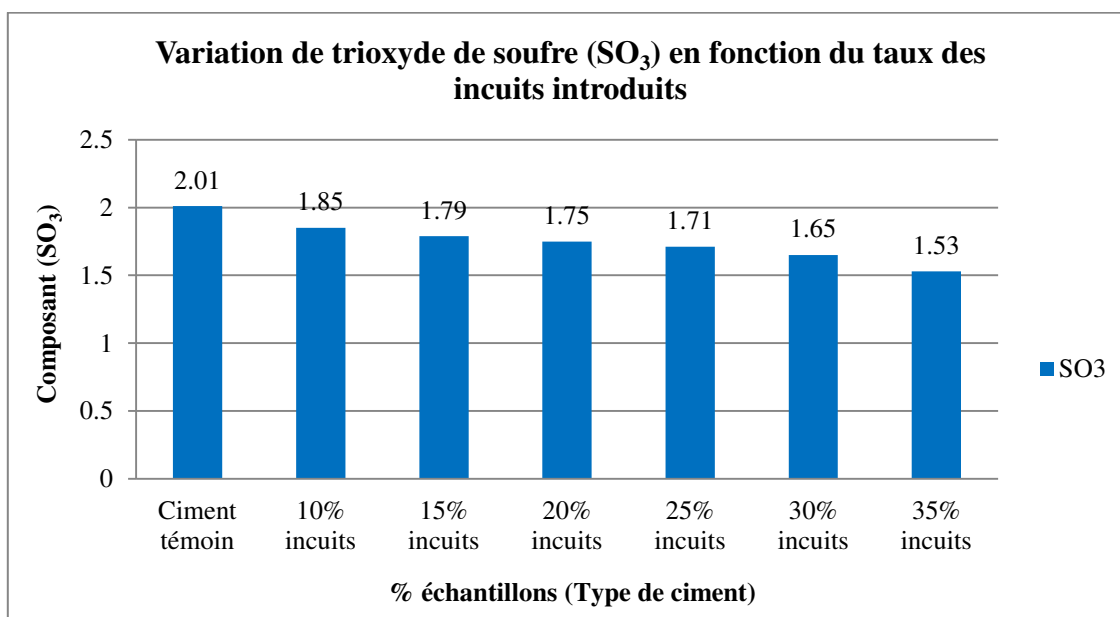


Interprétation :

On remarque que le pourcentage (%) de chlorure (Cl) dans les différents type de ciment est conforme à la norme quelque soit le taux des incuits introduit.

NA : Chlorure Cl $\leq 0.1\%$

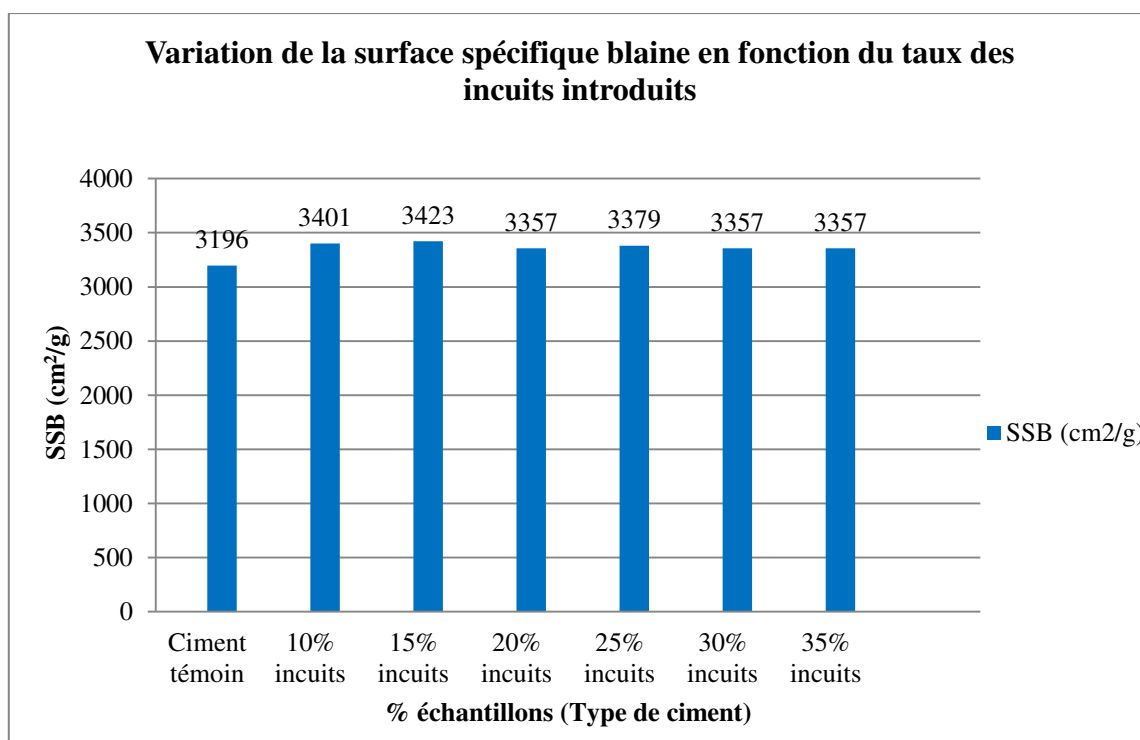
6-4. Trioxyde De Soufre (SO₃) :



Interprétation :

L'introduction du taux des incuits sur ciment est en relation inverse avec l'évolution des sulfates aux ciments où le taux des SO_3 diminue avec l'augmentation des incuits sur ciment, c'est-à-dire l'augmentation du taux des incuits sur ciment engendrera une diminution dans le taux de gypse et par conséquent la diminution du SO_3 sur ciment.

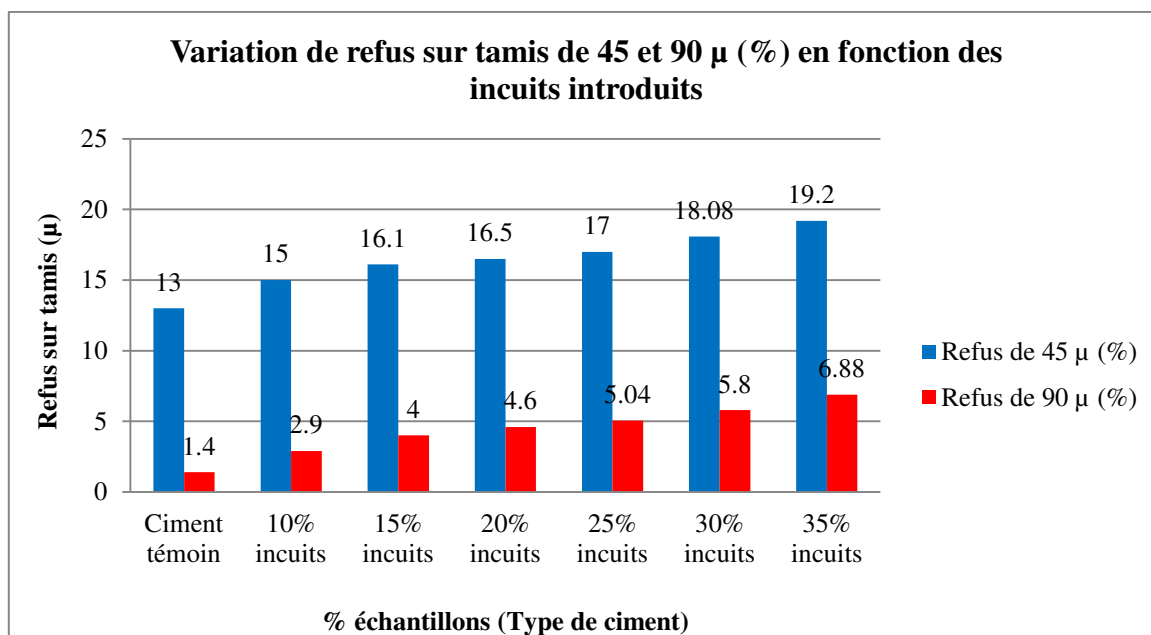
NA : $SO_3 \leq 3.5 \%$

6-5. Surface spécifique Blaine SSB :**Interprétation :**

La surface spécifique du Blaine SSB varie d'une façon aléatoire sur ciment, et ce paramètre est lié directement à la broyabilité, le rendement de séparation et à la charge circulante du Broyeur.

NA : $SSB \geq 2900 \text{ cm}^2/\text{g}$ pour le ciment CPA.

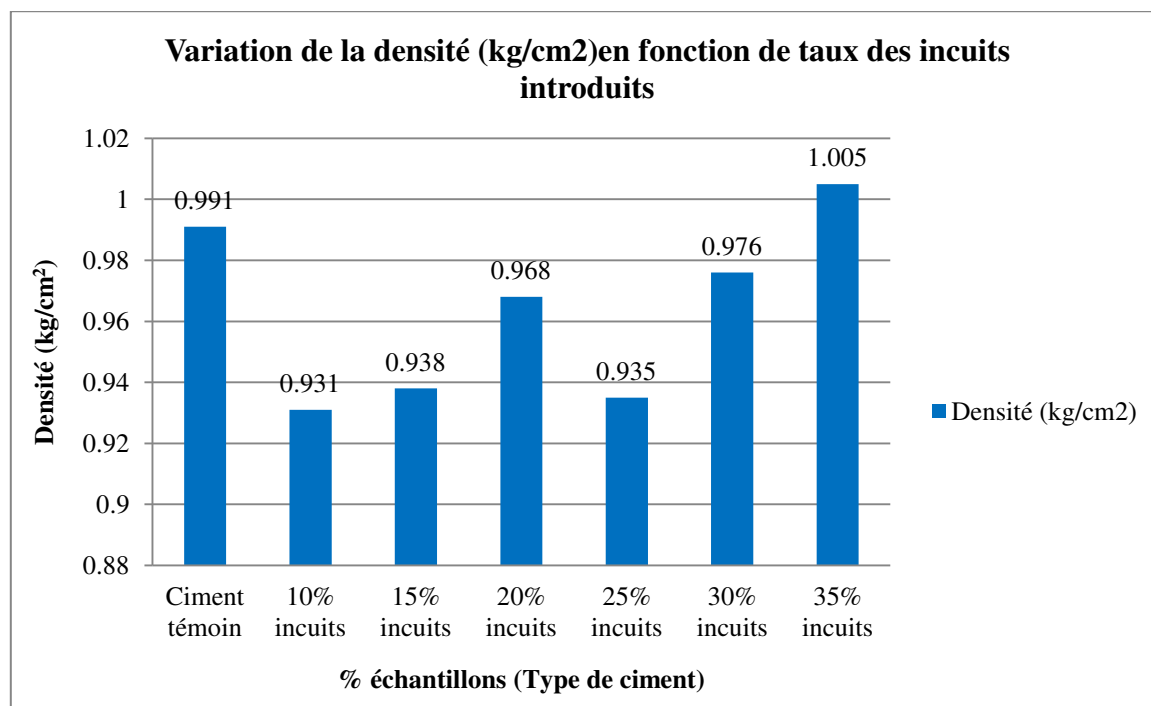
6-6. Refus sur tamis de 45 et 90 μ :



Interprétation :

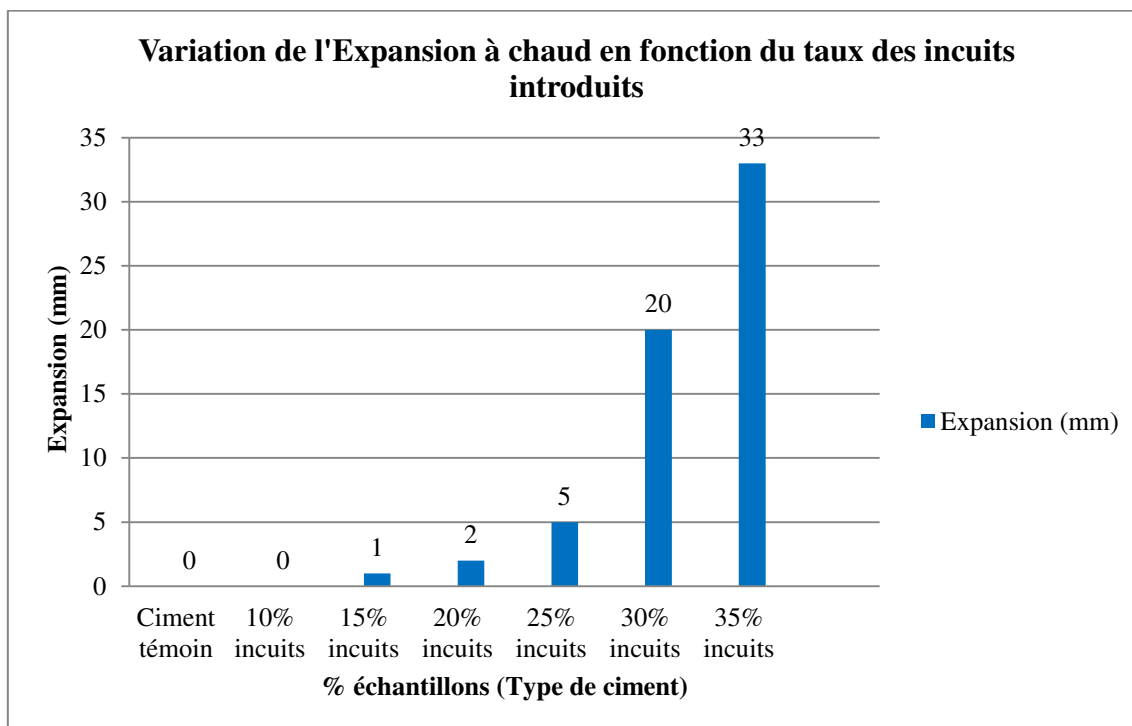
Les résultats d'analyses des refus sur des tamis de 45 et 90 μ sont en relation proportionnelle avec le taux des incuits introduits.

6-7. Densité apparente :



Interprétation :

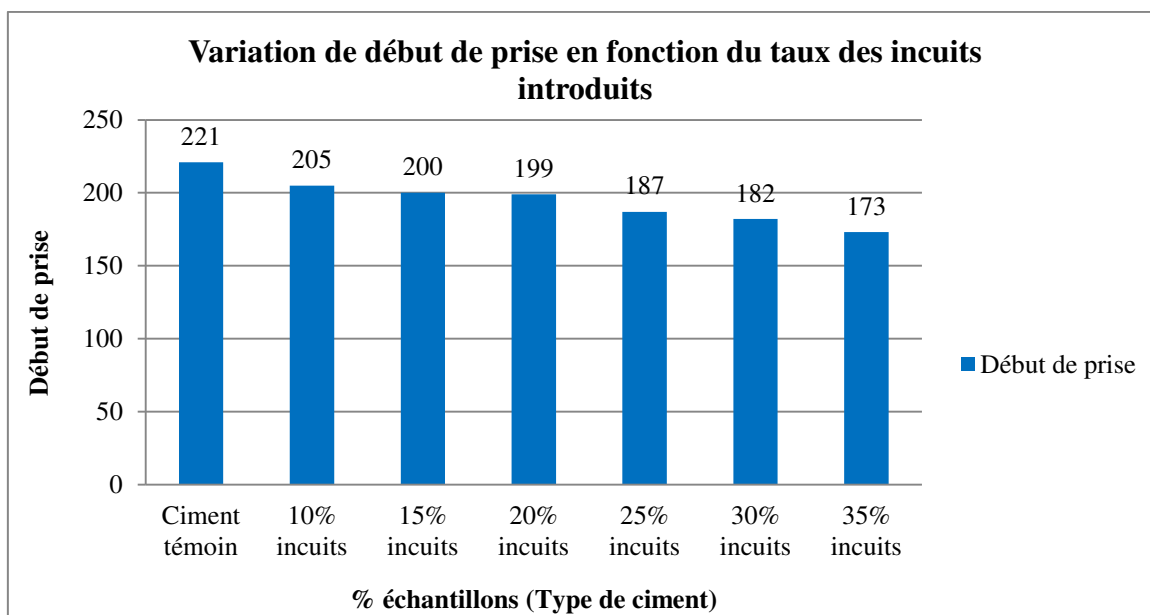
La densité apparente de ciment est un paramètre non-normalisé, mais nous donne une indication sur la masse volumique de ciment qui influe sur le poids de remplissage des sacs de ciment. L'évolution de la densité sur cette étude est aléatoire et dépend de la charge broyante du broyeur et la charge circulante.

6-8. Expansion à chaud (mm) :**Interprétation :**

On remarque que le ciment devient expansif à partir d'un taux des incuits de 30% donc on peut ajouter 25% des incuits maximum son avoir un ciment en forme.

NA : Expansion à chaud \leq 10 mm

6-9. Temps de début de prise :

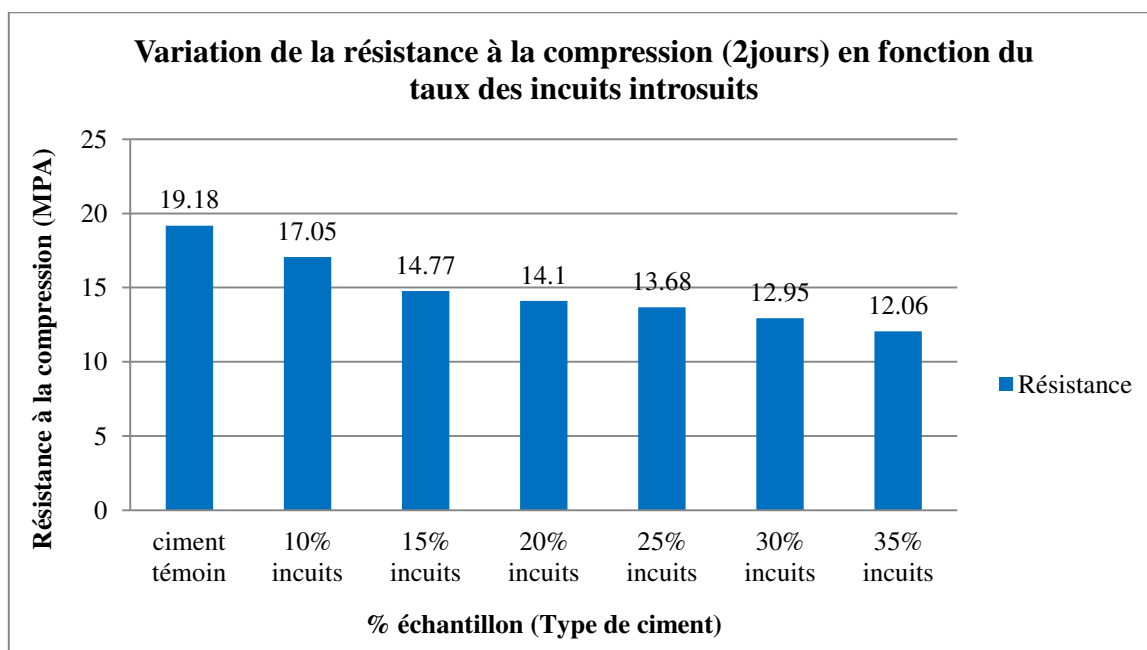


Interprétation :

On remarque que le début de prise est en relation inverse avec le taux des incuits introduits et cette évolution du paramètre de début de prise est trop logique avec l'évolution de SO₃.

NA : Début de prise ≥ 60min

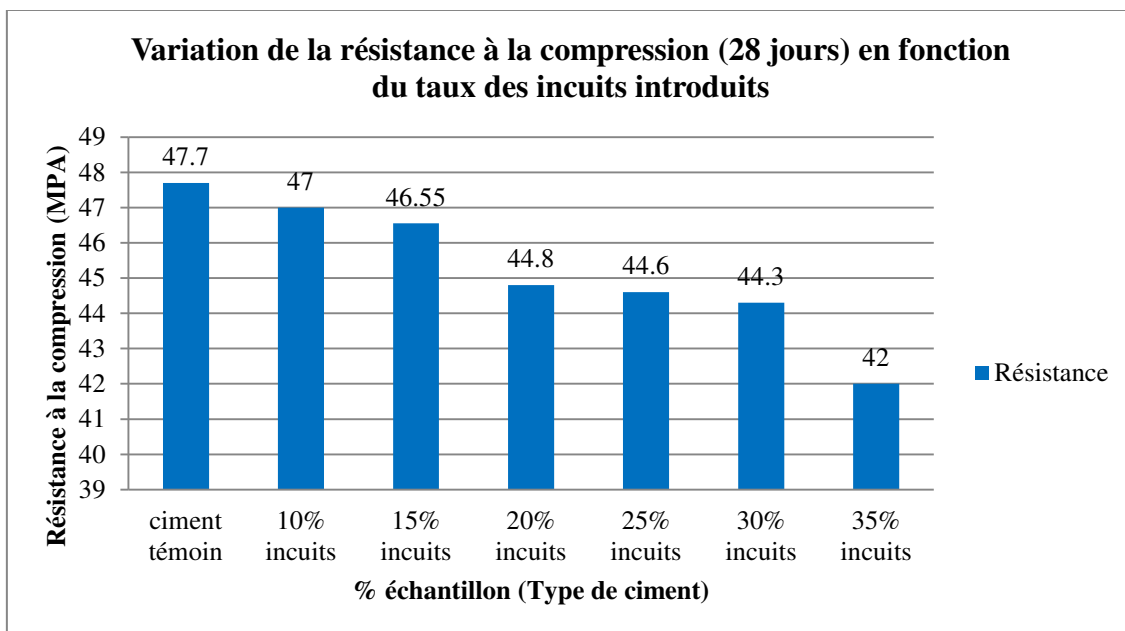
6.10. Résistance à la compression 2 jours (MPA):



Interprétation :

On remarque que les résistances à la compression R_{com} (2 jours) diminuent avec l'augmentation du taux des incuits, mais restent toujours dans les normes.

NA : Compression 2 jours (MPa) ≥ 10.0 %

6.11. Résistance à la compression 28 jours (MPa) :**Interprétation :**

On remarque que les résistances à la compression R_{com} (28 jours) diminuent avec l'augmentation du taux des incuits, mais restent toujours dans les normes.

NA : Compression 28 jours (MPa) ≥ 42.5 %

Conclusion générale :

L'étude que nous avons effectuée au niveau de la société de Béni Saf, nous a permis :

Dans un premier temps de démontrer que le taux des incuits introduits dans le ciment de 25% est le taux maximum pour avoir un ciment conforme à la norme algérienne NA version 2013 qui est (NAII /A-P42.5N). Le ciment devient non conforme dès qu'un seul paramètre normalisé devient au-dessus de la norme, tel que le cas de l'expansion à chaud qui a été de 20 mm pour l'échantillon de 30% des incuits.

Dans un deuxième temps, cette étude nous a permis de :

- Libérer des espaces pour le stockage des incuits
- Réintroduire toute matière sortante du four même la mauvaise qualité du clinker due aux différents problèmes liés au processus de fabrication ou à la qualité (incuits)
- Utiliser les incuits comme ajouts du ciment toute en respectant la qualité du ciment produit

Références Bibliographiques :

- [1] **Dreux G. , Fasta J.**, Nouveau guide du béton ». Paris, édition Eyrolles , 1995.
- [2] Le site web : www.perso.médiafiltre.com/web/master_gp/ciment.ntm. Consulté le (05/2018).
- [3] **Bleazard R. G.**, Reflections on the history of the chemistry of cement. Society of Chemical Industry (SCI) Lecture papers Series LPS, 104, pp 1-27, 2000.
- [4] **Mohammed Amine Benhadda**, La durabilité du mortier à base de ciment de Béni-Saf vis-à-vis de milieux basiques NaOH et NH₄OH. Diplôme d'ingénieur d'état en chimie industrielle, Génie des procédés, Université Abou-Bakr Belkaïd, p. 2-13, 2011/2012
- [5] **Claudine Noguera**, « Les argiles : des nanomatériaux modernes, au passé millénaire». CNRS-UPMC Institut des Nanosciences de Paris, France, MATÉRIAUX & TECHNIQUES, N° 2, P.98-101, 2010.
- [6] <http://www.neyrtec.com/pages/produit.php?id=7> , consulté le (05/2018).
- [7] **Taylor H.F.W.**, Cement Chemistry. 2nd ed., London, Thomas Telford, 1997
- [8] **VERNET C.**, Introduction à la physico-chimie du ciment Portland. Technodes, Centre de Recherche Industrielle et Technique, France,1992.
- [09] **HYVERT N.**, Application de l'approche probabiliste à la durabilité des produits préfabriqués en béton. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier- Toulouse III. 2009
- [10] **Mouli M., Khelafi H.**, Performance characteristics of light weight aggregate concrete containing natural pozzolan. Building and Environment ; 43(1) :31-6, 2008
- [11] **Jacques Frachebourg** « Contribution à l'étude de quelques pouzzolanes naturelles et artificielles en vue de la fabrication des ciments de pouzzolanes », Ingénieur chimiste diplôme EPUL, Ecole polytechnique, Université de Lausanne, STMAURICE, P.8-10, 6 octobre 1965.
- [12] **BOGUE R. H.**, La chimie du ciment portland. Paris : Editions Eyrolles,1952.
- [13] **BENGUEDOUAR Afeff** , « Synthèse et caractérisation de silicates de calcium hydrates (C.S.H) hybrides », Mémoire Magister en chimie, Université de YAOUNDE I ,2013.

- [14] **Guerandel C., Moudilou E., Tusseau-Nenez S. and De Noirfontaine M. N.,** Modélisation Thermodynamique du diagramme de phases du système CaO-SiO₂-Al₂O₃. Rapport de fin d'étude ESIREM/CTG-Italcementi Group, 2006.
- [15] Manuel de conduite cimenterie de Beni Saf (Creusot-Loire entreprise 1978)
- [16] **Dreux G., Festa J.,** Nouveau guide du béton et de ses constituants. 8e éd., Eyrolles, 1998.
- [17] **Bounabe Ayache B.,** Automatisation du stackeur et le moteur four. Rapport de stage à ERCE et SCHB, Université de Paul Cézanne Aix Marseille 3.
- [18] **Elodie Romilliat,** Étude des modes d'action d'agents de mouture sur le broyage du clinker. Génie de procédés, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Université Jean Monnet de Saint-Etienne. N° d'ordre : 396 GP, France, 20 janvier 2006.
- [19] **ANNABA Khadija,** Impact du chlore sur le processus de la cuisson, Master Sciences et Techniques GMP, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques- Fès, 2016.
- [20] Norme Algérienne NA 442 – Méthodes chimique. SCIBS Beni Saf, version 2013.
- [21] SCIBS Société des Ciments de Beni- Saf, 2018. <https://scibs.dz/>. <https://scibs.dz>

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Notation	Signification
CPA-CEMI	Dénomination normalisée d'un ciment portland sans ajout
CPJ-CEM II	Dénomination normalisé d'un ciment portland avec ajout.
C3S	Silicate tricalcique ou Alite.
C2S	Silicate bicalcique ou Bélite.
C3A	Aluminate tricalcique ou Céélite.
C4AF	Aluminoferrique tétra calcique.
H	H ₂ O.
C	CaO.
S	SiO ₂ .
CaO _L	La chaux libre.
PAF	Perte au feu.
PZ	pouzzolane naturelle
SSB	Surface spécifique Blaine.
E/C	Le rapport (eau/ ciment).
NA	Normes algériennes.

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Chapitre I : Étude Bibliographique	
Figure I.A.1 : Grains de gypse	5
Figure I.A.2 : Grains de pouzzolane	6
Figure I.A.3 : Image d'une section polie d'un clinker réalisée au Microscope Electronique à Balayage en électrons rétrodiffusés	9
Figure I.B.1 : Carrière d'extraction d'argile et de calcaire	11
Figure I.B.2 : Concassage des matières premières au niveau de la carrière	12
Figure I.B.3 : Hall de Pré Homogénéisation	12
Figure I.B.4 : Broyeur Cru	14
Figure I.B.5 : Préchauffeur	15
Figure I.B.6 : Four rotatif	16
Figure I.B.7 : Refroidisseur à grille	17
Figure I.B.8 : Bulle de stockage du clinker	17
Figure I.B.9 : Broyeur ciment	18
Figure I.B.10 : Stockage Expédition	19
Chapitre II : Étude Expérimentale	
Figure II.1 : Pastilleuse	25
Figure II.2 : Analyseur RX	26
Figure II.3 : Le perméabilimètre de Blaine	26
Figure II.4 : L'entonnoir	28
Figure II.5 : Les tamis de 90 μ et de 45 μ	29
Figure II.6 : Appareil alpine	29
Figure II.7 : L'appareil de Vicat	30

Figure II.8 : Le malaxeur	30
Figure II.9 : L'aiguille de Vicat	32
Figure II.10 : Prismètre automatique multipostes	33
Figure II.11 : Aiguille de châtelier	33
Figure II.12 : Chambre humide	35
Figure II.13 : Malaxeur automatique	35
Figure II.14 : Appareil choc	35
Figure II.15 : Moule cubique et prismatique	35
Figure II.16 : Appareil de flexion et compression	35
Chapitre III: Résultats Et Interprétations	
Figure III.1 : Mélangeur	36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau I.A.1 : Composition chimique élémentaire de gypse de Béni-Saf	5
Tableau I.A.2 : Composition chimique élémentaire de la pouzzolane naturelle de Béni-Saf	7
Tableau I.A.3 : Composition minéralogique du clinker	7
Tableau I.A.4 : Composition chimique élémentaire de Clinker de Béni-Saf	9
Tableau II.1 : La masse de ciment en fonction du pourcentage de la pouzzolane	27
Tableau III.1 : Composition chimique élémentaire de clinker incuit de Béni Saf	37
Tableau III.2 : analyses chimiques des différents échantillons préparés	37
Tableau III.3 : Surface spécifique Blaine des échantillons à différents pourcentage en incuits	38
Tableau III.4 : Refus des échantillons à différents pourcentage en incuits	38
Tableau III.5 : Densité apparente des échantillons à différents pourcentage en incuits	38
Tableau III.6 : Expansion à chaud des échantillons à différents pourcentage en incuits	38
Tableau III.7 : Résultats des essais sur la pâte pure des échantillons à différents pourcentage en incuits	39
Tableau III.8 : Résultats des résistances à la traction par flexion et à la compression	39

التلخيص

الجزء الأساسي من عملية إنتاج الأسمنت هو إنتاج الكلنكر ، الذي يتم الحصول عليه عن طريق الحرق في الافران ، في ظل ظروف مناسبة ودرجة الحرارة معينة ، وهو مزيج من الطين والحجر الجيري المكسور بعناية. في بعض الأحيان لا يحترق الكلنكر بعد أن يمرر في الفرن. تقوم الشركة في هذه الحالة برمي الكلنكر غير المحترق بكميات معتبرة وهذا يشكل مشكل للشركة.

ومن المعروف أيضا أن المكون الأساسي للأسمنت يظل الكلنكر ونوعيته تحدد بشكل كبير موعية الأسمنت بأكمله. تتعلق دراستنا بإضافة الكلنكر غير المحترق مع النسب المئوية التالية (0% ، 10% ، 15% ، 20% ، 25% ، 30% و 35%) ، مقدمة كإضافة في الاسمنت مع احترام جودة الأسمنت المنتج ، وفقا لمعيار الجزائري NA 442.

الكلمات المفتاحية: الاسمنت ، الكلنكر ، الجبس ، البوزولانا ، معيار NA 442.

Abstract

The essential part of the cement production process is the production of clinker, which is obtained by Burning, under conditions of suitable duration and temperature, a mixture of clay and carefully weighed and crushed limestone. Sometimes the clinker is unfired after it leaves the oven. The company proceeds in this case to the rejection of the unfired clinker and this is a important quantities.

It is also known that the main component of cement remains clinker and its quality closely depends on that of the entire cement. Our study concerns the optimization of the rate of unfired clinker with the following percentages (0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% and 35%), introduced as an addition in the cement while respecting the quality of the cement product, a cement in accordance with the Algerian standard NA 442.

Key words: Cement, clinker, gypsum, pozzolana, NA 442 standard, unfired.

Résumé

La partie essentielle du processus de fabrication du ciment est la production du clinker qui s'obtient par cuisson, dans des conditions de durée et de température convenables, d'un mélange d'argile et de calcaire soigneusement dosé et broyé. Il arrive parfois que le clinker soit incuit après sa sortie du four. La société procède dans ce cas au rejet des incuits et ceci constitue une partie significative.

On sait aussi que le principale constituant du ciment reste le clinker et de sa qualité dépend étroitement celle du ciment en entier. Notre étude concerne l'optimisation du taux des incuits avec les pourcentages suivants (0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% et 35%), introduits comme ajout dans le ciment tout en respectant la qualité du ciment produit, un ciment conforme à la norme algérienne NA 442.

Mots clés : Ciment, clinker, gypse, pouzzolane, norme NA 442, incuits.