

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Abou Bekr Belkaid
Tlemcen, Algérie



جامعة أبي بكر بلقايد

تلمسان الجزائر

Faculté des Sciences Département de Chimie

Laboratoire de Recherche Spectrochimie et Pharmacologie Structurale

MEMOIRE DU MASTER ACADEMIQUE EN CHIMIE

Option : Chimie Physique et Analytique

Sujet : Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la Pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Candidate : MEZERAÏ NAÏMA

Date : 12/09/2013

Membres de Jury :

Présidente: NAGADI Latifa Professeur Université Tlemcen

Examineur: DAHMANI Bénamar Professeur Université Tlemcen

Examineur: MEDJAHED Kouider Professeur Université Tlemcen

Encadreur: BELHACHEMI Boucif Maître de Conférences Université Tlemcen

Invité: CHIKH Miloud Chef service

Laboratoire Cimenterie Béni-Saf

Année Universitaire 2012/2013

REMERCIEMENTS

- ✚ Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mr **BELHACHEMI Boucif** Maître de conférences classe A au Département de Chimie Faculté des Sciences de l'Université Aboubekr Belkaïd Tlemcen pour avoir accepté la charge de m'encadrer.
- ✚ Je le remercie vivement pour l'aide scientifique précieuse et tous les conseils qu'il a pu me fournir pendant la durée de ce mémoire. Son enthousiasme, son dynamisme, sa générosité et sa grande patience m'ont chaque fois permis de rebondir dans les moments difficiles.
- ✚ J'adresse mes vifs remerciements à Mlle **NAGADI Latifa** Professeur au Département de Chimie Faculté des Sciences de l'Université Aboubekr Belkaïd Tlemcen pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider ce jury.
- ✚ Je suis très honorée que Mr **DAHMANI Bénamar** Professeur au Département de Chimie Faculté des Sciences de l'Université Aboubekr Belkaïd Tlemcen et Directeur du laboratoire de Recherche Spectrochimie et Pharmacologie Structurale pour avoir accepté d'examiner ce travail.
- ✚ Mes remerciements s'adressent également à Mr **MEDJAHED Kouider** Professeur au Département de Chimie Faculté des Sciences de l'Université Aboubekr Belkaïd Tlemcen pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'examiner ce travail
- ✚ J'aimerais témoigner ma profonde reconnaissance à Mr **DAHMANE Otmane** Responsable Département Contrôle et Qualité de la cimenterie de Béni-Saf et Mr **CHIKH Miloud** Chef de service du Laboratoire de la cimenterie de Béni-Saf pour m'avoir initié aux techniques d'analyse et expliquer patiemment toutes les notions qui s'y rapportent.
- ✚ Je remercie également l'ensemble du personnel du laboratoire de la cimenterie de Béni-Saf.
- ✚ Je voudrais aussi remercier vivement les **personnes exerçant à l'Algérienne Des Eaux zone d'Oran Unité d'Ain Témouchent Chaabat Leham** et à l'Algérienne **Des Eaux zone d'Oran Unité Tlemcen**.
- ✚ Je remercie également les **personnes de la station de dessalement de l'eau mer Honaine Tafout**.

Dédicaces

- ☀ Avec l'aide de Dieu, nous avons pu réaliser ce modeste travail que je dédie :
- ☀ A mes chers parents sur qui j'ai pu compter et me ressourcer d'affection et de bénédiction durant toute ma vie ;
- ☀ A toutes les personnes qui me sont chères ;
- ☀ A mes chères sœurs et ami(e)s qui m'ont beaucoup soutenu et encouragé.
- ☀ A tous qui m'ont aidé et m'ont aimé.

MEZERAI Naima

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Liste des notations

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 : H₂O.

C : CaO.

S : SiO₂.

V : Cendre volante siliceuse.

W : Cendre volante calcique.

PZ : Pouzzolane naturelle.

D : les fumées de Silice.

T : les schistes calcinés.

L : Les calcaires à 0,50% en masse de carbone organique.

LL : Les calcaires à 0.20% en masse de carbone organique.

F : Les fillers.

SSB : Surface spécifique Blaine.

PF : Perte au feu.

RI : résidus insolubles.

T : Température.

NA : Normes algériennes.

NF : Normes françaises.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

TH : Dureté total.

EDX : Spectromètre à dispersion d'énergie des rayons X.

MEB : Microscope électronique à balayage.

NTU : Unité de Turbidité Néphalométrique (UTN) en anglais Nephelometry Turbidity Unit.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Figures

Figure 1.1 : La fabrication de ciment : les étapes principales du processus par voies sèche.

Figure 1.2 : Gisement calcaire.

Figure 1.3 : Gisement argile.

Figure 1.4 : Transport par dumpers.

Figure 1.5 : Transport par tapis.

Figure 1.6 : Hall de préhomogénéisation.

Figure 1.7 : Broyeur.

Figure 1.8 : Silos d'homogénéisation.

Figure 1.9 : Préchauffeur.

Figure 1.10 : Four rotatif.

Figure 1.11 : Le refroidisseur.

Figure 1.12 : Le clinker.

Figure 1.13 : Broyeur cuit.

Figure 1.14 : Silos de stockage de ciment.

Figure 2.1 : Le bain de sable.

Figure 2.2 : Le perméabilimètre de Blaine.

Figure 2.3 : L'appareil Alpine.

Figure 2.4 : Appareil de Vicat.

Figure 2.5 : Prisomètre multiposte.

Figure 2.6 : Fonctionnement de prisomètre multiposte.

Figure 2.7 : Préparation et conservation de l'aiguille de Le Chatelier.

Figure 2.8 : Bain marie.

Figure 2.9 : Malaxeur automatique.

Figure 2.10 : L'appareil à choc.

Figure 2.11 : Chambre humide.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Figure 2.12 : Appareil de compression.

Figure 2.13 : Appareil de flexion.

Figure 3.1 : La pouzzolane de Béni-Saf.

Figure 4.1 : Courbe granumolétrique du sable.

Figure 4.2 : Résistance à la flexion,

Figure 4.3 : Résistance à la compression.

Figure A.2 : Vue microscopique de l'eau de mer.

Figure A. 3.1 : La pouzzolane.

Figure A.3.2 : Le gypse.

Figure A.3.3 : Mortier à 0% en PZ.

Figure A.3.4 : Mortier de 5% en PZ.

Figure A.3.5 : Mortier à 10 % en PZ.

Figure A.3.6 : Mortier à 15% en PZ.

Figure A.3.7 : Mortier à 20% en PZ.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Tableaux

Tableau 1.1 : Composition de cru pour la fabrication du clinker.

Tableau 1.2 : Les phases du clinker.

Tableau 1.3 : Composition chimique du laitier granulé.

Tableau 1.4 : Composition chimique des cendres d'houille.

Tableau 1.5 : Analyse chimique des pouzzolanes noires et rouges.

Tableau 1.6 : Composition chimique moyenne en %.

Tableau 1.7 : Différents types de ciments.

Tableau 3.1 : Analyse chimique de la pouzzolane (ajout).

Tableau 3.2 : Résultats d'analyse granulométrique du sable.

Tableau 3.3 : Analyse ampérométrique de l'eau de mer de Béni-Saf.

Tableau 3.4 : Analyse volumétrique.

Tableau 3.5 : Analyse spectroscopique.

Tableau 3.6 : Analyse chimique des échantillons (ciments) à différents pourcentages en pouzzolane.

Tableau 3.7 : Surface Spécifique Blaine des cinq échantillons.

Tableau 3.8 : Refus des échantillons.

Tableau 3.9 : Densité apparente des cinq échantillons (Kg/m^3).

Tableau 3.10 : Expansion à chaud (mm).

Tableau 3.11 : Résultats des essais sur la pâte pure.

Tableau 3.12 : Résistance à la traction par flexion en MPa.

Tableau 3.13 Résistance à la compression en MPa.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

RESUME

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Résumé

Le ciment est un matériau de base pour la construction, majoritairement utilisé dans le monde. Sa fabrication exige une grande rigueur dans le processus de production et doit satisfaire à des normes nationales et internationales strictes. Plusieurs études se sont intéressées à évaluer la production du ciment en qualité et en quantité ; comme celle qui traite l'addition de la pouzzolane en vue d'augmenter la durabilité des mortiers.

Les pouzzolanes sont des roches volcaniques naturelles disponibles dans la région de Bénisaf. Leur disponibilité nous a incité à entreprendre cette étude afin de répondre au souci de valoriser les ressources abondantes et économiques. Nous avons trouvé que le pourcentage d'ajout pouzzolane atteignant même 20% donne encore des résistances de 45,16 MPa à 28 jours qui sont bien supérieures à celle fixées par la norme.

Cette opération permet, d'une part, d'augmenter la production du ciment et, d'autre part, d'élaborer des mortiers et bétons durables et résistants en milieu agressif qu'est ici l'eau de mer.

L'expérimentation a porté sur le mortier témoin sans ajout (0 % de pouzzolane) et sur quatre (04) autres mortiers avec différents pourcentages en pouzzolane 5, 10, 15 et 20 %. Les résistances à la traction par flexion et à la compression à 28, 56, 92 et 170 jours ont confirmé le rôle bénéfique de la pouzzolane relatif à la durabilité des mortiers en milieu agressif.

Mots Clés : Clinker, gypse, pouzzolane, ciment CPJ-CEM II A, mortier, milieu agressif, eau de mer, environnement, Résistances, compression, flexion, durabilité.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

INTRODUCTION

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Introduction

L'industrie cimentière occupe une place prépondérante dans les économies de toutes les nations. Sa production est un indicateur économique lié d'une part au nombre d'habitants mais également au potentiel de croissance de chaque pays sur une période donnée [1]. L'évolution de sa production dans le monde progresse chaque année ; celle-ci a atteint 2,77 milliard de tonnes en 2007 et dans les 30 années à venir la consommation de ciment de certains pays en voie de développement devrait doubler [2].

En Algérie, la production de ciment est une industrie de base. L'état a consenti de très importants investissements pour le développement de la filière. Cependant, en raison de la forte demande accentuée par le programme de la relance économique (autoroutes, un million de logements, autres équipements publics), l'offre reste insuffisante, et pour remédier à cela les autorités ont décidé d'investir pour augmenter la capacité de production qui était de 11,6 millions de tonnes pour la porter à 17,6 millions de tonnes en 2012 [3]. Pour ce faire, les pouzzolanes sont utilisées comme ajouts et le ciment produit doit répondre à des normes strictes [4].

Les pouzzolanes sont des matériaux possédant des propriétés de réagir à température ordinaire avec la chaux hydratée pour former des composés à caractère hydraulique. Elles sont constituées principalement par de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer [5]. Par ailleurs, plusieurs chercheurs s'intéressent à l'étude de la participation des pouzzolanes à des résistances du béton [6].

Le but de notre étude est de déterminer le pourcentage de pouzzolane dans un mortier ayant des résistances satisfaisant aux normes et résistant au milieu agressif (eau de mer).

Pour ce faire, nous avons effectué les essais suivants :

1. Des analyses physico-chimiques des divers échantillons selon la norme NA 442.
2. Des observations visuelles et au microscope électronique à balayage (MEB).
3. Des résistances à la traction par flexion et à la compression à 2, 7, 28, 56, 92 et 170 jours sur les mortiers à 0, 5, 10, 15 et 20 % de pouzzolane.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LA FABRICATION DE CIMENT

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

1- Historique et origine de ciment

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 [7].

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 [8].

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 [8].

2- Le ciment

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 durcit progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux notamment des silicates et d'aluminates de calcium. La proportion de chaux et de silice réactive devant être au moins de 50% de la masse de ciment.

Les ciments courants ont pour produit essentiel; le clinker associé à d'autres constituants. Ces constituants modifient les propriétés du ciment grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques. Dans la mesure où ils sont des sous-produits d'autres industries, ils contribuent à amoindrir le prix revient [9].

2.1- Constituants de base

La composition de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec de la silice (SiO₂), de l'alumine (Al₂O₃), et de l'oxyde de fer (Fe₂O₃). La chaux nécessaire est apportée par des roches

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

calcaires. L'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaires, d'argiles ou marnes et contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes [10].

2.1.1- Le clinker (K)

Le clinker commun à tous les ciments courants, est un mélange de 80% de calcaire (calcaire, craie) et de 20% d'argile (silice – alumine – oxyde de fer) cuit puis broyé avec un retardateur de prise (gypse) pour obtenir du ciment portland .

La matière première est extraite de la carrière puis broyée avec éventuellement d'autres additifs dans les proportions désirées pour obtenir le cru. Cette chaîne de fabrication sera développée par la suite. Le tableau 1.1 suivant donne une composition du cru.

Tableau1.1 : Composition du cru pour la fabrication du clinker [11].

Composé	Proportion massique		
	mini	idéale	maxi
CaO	60%	65%	69%
SiO ₂	18%	21%	24%
Al ₂ O ₃	4%	6%	8%
Fe ₂ O ₃	1%	3%	8%
MgO	0%	2%	5%
alcalis	0%	1%	2%
SO ₃	0%	1%	3%

Le clinker est composé de quatre phases cristallines principales figurant dans le tableau 1.2 ci-après :

Tableau 1.2 : Les phases du clinker.

Désignation	Notation chimique	Notation cimentière	En général
Silicate tricalcique ou Alite	3CaO, SiO ₂	C ₃ S	45-----65%
Silicate bicalcique ou Bélite	2CaO, SiO ₂	C ₂ S	10-----30%
Aluminate tricalcique ou Célite	3CaO, Al ₂ O ₃	C ₃ A	5-----15%
Aluminoferrique tétra calcique	4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	5-----12%

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

-C₃S ou l'alite: silicate tricalcique de composition chimique 3CaO,SiO₂ qui donne de la résistance mécanique au jeune âge. L'Alite constitue entre 60% et 50% du clinker. L'hydratation du silicate tricalcique est une réaction exothermique conduisant à la formation de silicate de calcium hydraté et d'hydroxyde de calcium. Elle se résume par la réaction suivante:



Avec H: H₂O

L'Alite est le principale composé du clinker et les hydrates formés lors de sa réaction avec l'eau de gâchage sont à la fois impliqués dans la résistance à court et moyen termes du matériau.

-C₂S ou la Bélite: silicate bicalcique de composition chimique 2CaO,SiO₂ qui permet au matériau d'atteindre des résistances mécaniques plus importantes à moyen et long termes. La Bélite constitue entre 5% et 20% du clinker. L'hydratation du silicate bicalcique est également une réaction exothermique qui conduit à la formation de silicate de calcium hydraté et d'hydroxyde de calcium. Elle se résume par la réaction suivante:



La formation des hydrates est beaucoup plus lente que celle issue de la réaction de l'alite avec l'eau de gâchage. Ces hydrates permettent d'assurer la résistance à long terme.

-C₃A ou la Célite: aluminate tricalcique de composition chimique 3CaO,Al₂O₃ qui participe principalement au phénomène de prise mais qui ne présente que de faibles résistances mécaniques. La Célite constitue entre 4% et 12% du clinker. Le processus d'hydratation de l'aluminate tricalcique se déroule en deux temps. Tout d'abord, en présence de sulfate, l'hydratation de C₃A engendre la formation d'ettringite représenté par la réaction ci-après:



Ensuite, quand la teneur en sulfate diminue, l'ettringite réagit avec le reste de Célite pour former du monosulfo-aluminate hydraté selon:



De part sa forte réactivité avec l'eau de gâchage, la Célite a un rôle majeur dans la rhéologie de la pâte et la résistance à court terme du matériau.

-C₄AF : aluminoferrique tétracalcique de composition chimique 4CaO,Al₂O₃,Fe₂O₃. Le C₄AF constitue entre 1% et 5% du clinker. Le C₄AF a pour rôle de réduire la température de formation du clinker. Il dégage peu de chaleur et participe peu au développement de la résistance mécanique [11].

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

2.2- Constituants secondaires ou ajouts

2.2.1- Laitier granulé de hauts Fournaux

Le laitier est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidie par aspersion d'eau. C'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50% et entre 12 et 30% d'alumine ainsi que de la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités. Tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

Le laitier retient moins bien l'eau de gâchage que le ciment portland et craint donc d'avantage la dessiccation. Par contre, il résiste mieux à l'action destructrice des sulfates, à la dissolution de la chaux par les eaux pures ainsi que par celles contenant du gaz carbonique. Le tableau 1.3 donne la composition d'un laitier.

Tableau 1.3 : Composition chimique du laitier granulé [8]

Eléments	Pourcentage (%)
CaO	40- 50
SiO ₂	26- 32
Al ₂ O ₃	12- 20
MgO	2- 6

2.2.2- Cendres volantes (V et W)

Les cendres volantes sont des produits pulvérulents de grande finesse, proviennent du dépeussierage des gaz des chaudières des centrales thermiques et peuvent être :

- Siliceuses (V) : présentent des propriétés pouzzolaniques c'est-à-dire qu'elles sont capables de fixer la chaux à température ambiante et faisant prise et durcissent par hydratation.
- Calciques (W) : outre leurs propriétés pouzzolaniques, peuvent présenter des propriétés hydrauliques.

Les cendres volantes siliceuses (V) sont constituées de silice réactive, entre 40 et 55%, proportion qui ne doit jamais être inférieure à 25%, et d'alumine entre 20 et 30% environ. La proportion de chaux réactive devant être inférieure à 5%.

Les cendres calciques (W), moins souvent utilisées, doivent contenir, quant à elle, une proportion de chaux réactive supérieure à 5% [8].

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

Tableau 1.4 : Composition chimique moyenne des cendres de houille [8]

Elément	Pourcentage
SiO ₂	50
Al ₂ O ₃	30
Fe ₂ O ₃	8
CaO	2
Na ₂ O+ K ₂ O	5

2.2.3- Pouzzolanes naturelles (Z)

Elles peuvent être d'origine volcanique (cendres et volcans), animale ou végétale. Certains matériaux comme l'argile, les schistes peuvent, après chauffage, broyage, développer des propriétés analogues. La composition chimique moyenne des pouzzolanes est donnée dans le tableau suivant [8] :

Tableau 1.5: Analyse chimique des pouzzolanes noires et rouges [12]

Composants	Pouzzolanes noires (%)	Pouzzolanes rouges (%)
SiO ₂	46,64	45,10
Al ₂ O ₃	22,18	17,80
Fe ₂ O ₃	12,97	17,90
CaO	8,84	9,80
MgO	5,24	6,20
K ₂ O +Na ₂ O	0,80	0,90
Perte au Feu	0,17	2,05

2.2.4- Les fumées de Silice (D)

Les fumées de silice sont formées de particules sphériques très fines ayant une très haute teneur en silice amorphe. La composition chimique moyenne de la fumée de silice figure dans le tableau 1.6 suivant :

Tableau 1.6 : Composition chimique moyenne (%) [13]

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O
0,20	0,25	2,40	1,00

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

2.2.5- Les schistes calcinés (T)

Ils sont produits dans un four à 800° C ; ils contiennent des phases de clinker, des petites quantités de chaux libres (CaO) et des sulfates de calcium, ainsi que des oxydes en quantités plus importants.

Ils possèdent de fortes propriétés hydrauliques et pouzzolaniques.

Les schistes calcinés ; finement broyés, doivent avoir une résistance à la compression d'au moins 25 Mpa à 28 jours. Leur expansion doit être inférieure à 10 mm en utilisant un mélange de 30% en masse de schistes calcinés broyés de 70% en masse de ciment de référence [8].

2.2.6- Les calcaires (L et LL)

Les calcaires sont obtenus par broyage de roches naturelles contenant au moins 75% de carbonates de calcium. Lorsque les calcaires sont utilisés en tant que constituant du ciment, ils doivent également avoir des teneurs normalisées :

- En carbone organique (LL : inférieur à 0,20% en masse ; L : inférieur à 0,50%)
- En argile (inférieur à 1,20g /100g de calcaire). [11]

2.2.7- Les fillers (F) :

Les fillers (F), sont des matières minérales naturelles ou artificielles, qui améliorent les propriétés physiques des ciments (ouvrabilité ou pouvoir de rétention d'eau). Ils sont inertes ou présentent des propriétés faiblement hydrauliques ou pouzzolaniques [8].

Exemple : les fines calcaires et de dolomite [14].

2.3- Les additifs

Les additifs sont ajoutés pour améliorer la fabrication ou les propriétés du ciment, tels que, par exemple, des agents de mouture. La quantité totale de tels additifs ne devrait pas dépasser 1 % en masse du ciment. Dans le cas contraire, la quantité doit être mentionnée sur les emballages et/ou les bons de livraison. Ces additifs ne doivent pas favoriser la corrosion des armatures ou influencer défavorablement les propriétés du ciment ou du mortier et du béton fabriqués avec ce ciment [15].

3- Procédé de fabrication de ciment :

La fabrication du ciment comporte tout d'abord une extraction du calcaire et de l'argile dans des grandes carrières, bien équipées mécaniquement. Des problèmes délicats sont parfois posés des carrières peu homogènes dans les cimenteries modernes, ils sont résolus par la pré-

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

homogénéisation Cette opération s'effectue dans de vastes hangars où le cru est rationnellement analysé et mélangé.

Ce dernier est ensuite broyé très finement, les réactions chimiques qui ne pouvant avoir lieu que pour les grains de quelques micromètres de grosseur [16].

Il existe quatre types de processus différents, la voie humide, le voie sèche, et deux processus intermédiaires appelés voie semi-humide et voie semi-sèche, et il y a des phases communes à tous ces processus [2]. Nous allons par la suite décrire la voie sèche car c'est la voie la plus utilisée et la plus économique.

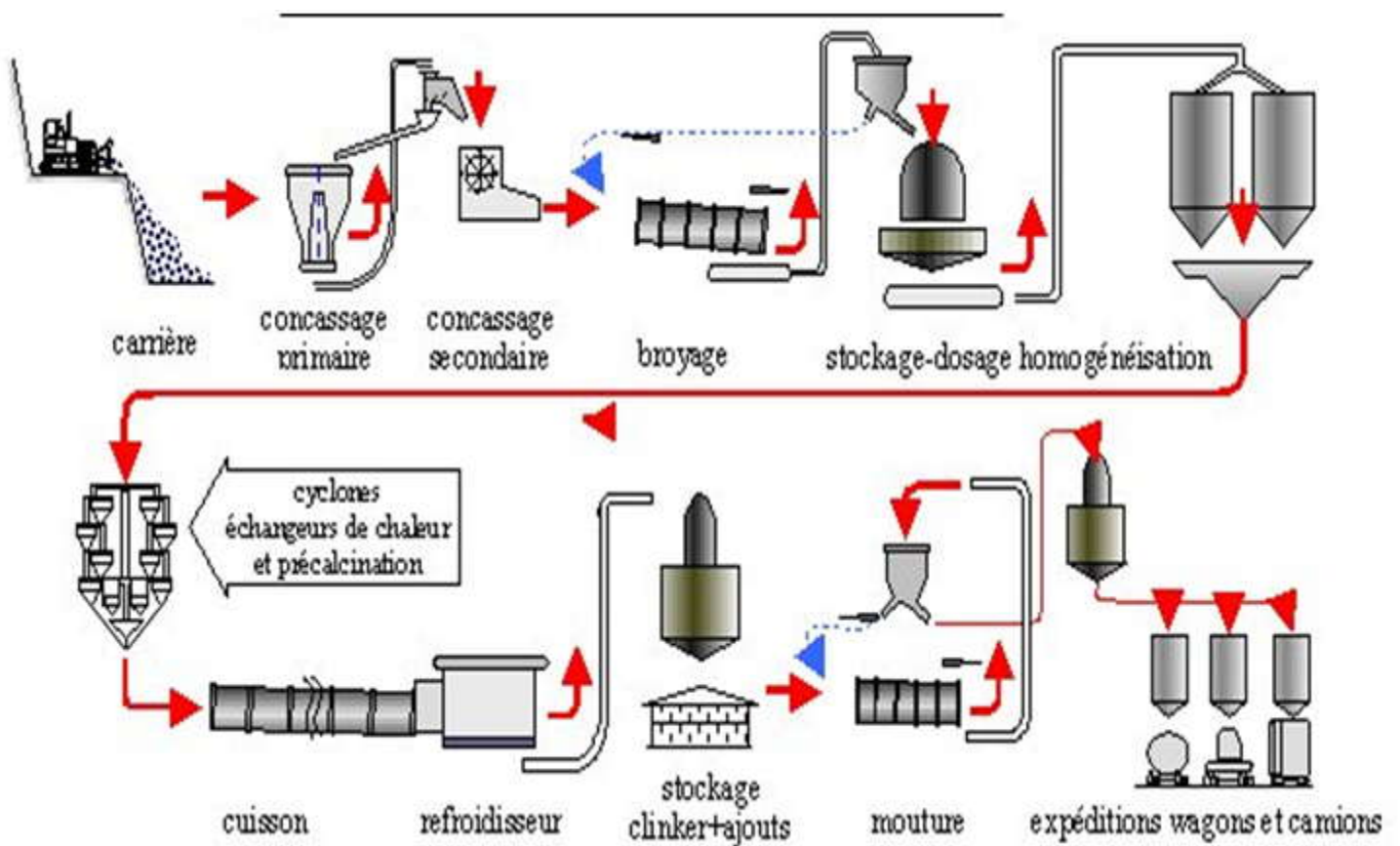


Figure 1.1 : La fabrication du ciment –les étapes principales du processus par voie sèche [17]

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

3.1- Extraction et préparation des matières premières:

Le calcaire et l'argile de marne sont extraits par manutention mécanique une fois la roche abattue à l'explosif ou par ripage au niveau de deux carrières [18].

Les blocs obtenus sont transportés vers l'atelier de concassage et réduits dans des éléments d'une dimension maximale de 25 mm. Ces concasseurs sont situés parfois sur les lieux même de l'extraction.



Figure 1.2 : Gisement calcaire [19]

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT



Figure 1.3 : Gisement argile [20]

La matière concassée est ensuite acheminée vers la cimenterie pour entamer la succession de phases qui la transforment en ciment. Ce transport se fait de diverses manières selon l'éloignement de la cimenterie [21].

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT



Figure 1.4: Transport par dumpers [22]



Figure 1.5: Transport par tapis [23]

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

Arrivée à l'usine, la matière concassée est stockée dans des hangars de préhomogénéisation [19].



Figures 1.6 : Hall de pré-homogénéisation [23]

La matière préhomogénéisée corrigée avec différents ajouts (calcaire pur, fer, bauxite) est broyée dans un broyeur pour l'obtention d'une poudre fine, appelée cru ou farine, prête à la cuisson. Stockée dans des silos d'homogénéisation.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

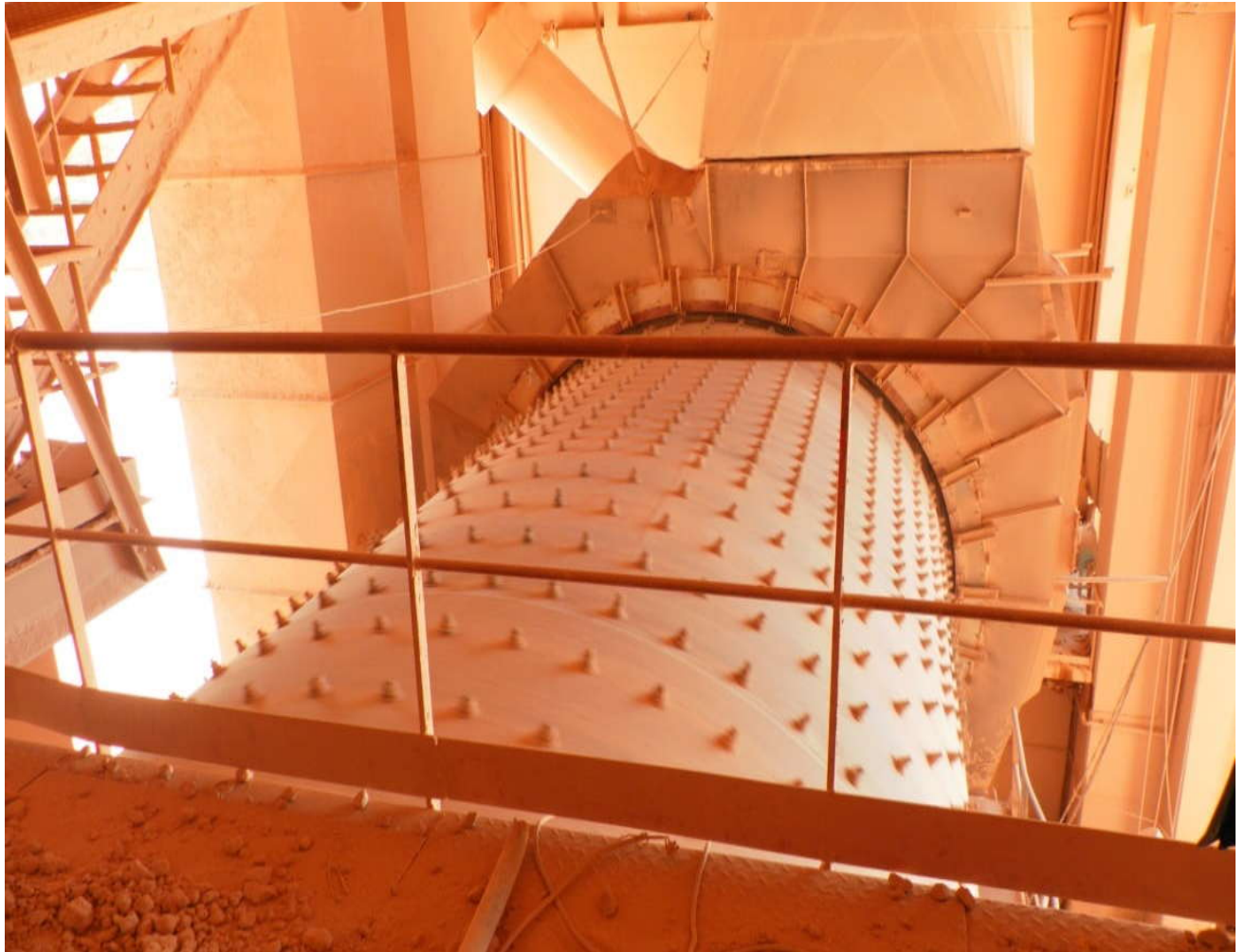


Figure 1.7 : Broyeur [23]

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT



Figure 1.8 : Silos d'homogéisation [23]

3.2- La cuisson :

La farine avant d'atteindre le four, passe dans une tour appelée préchauffeur. Tout au long de son parcours jusqu'au four, la farine passe des cyclones obligeant la matière à circuler dans le sens opposé aux gaz chauds issus du four permettant une bonne homogénéisation des constituants et surtout une décarbonatation.

Les différentes phases de la cuisson sont les suivants :

- 1- Fabrication de l'eau à $t = 100^{\circ}\text{C}$
- 2- D'épart de l'eau combinée des argiles à $t = 450^{\circ}\text{C}$
- 3- Dissociation de CaCO_3 (décarbonatation complète) à pression atmosphérique à $t = 894^{\circ}\text{C}$ selon : $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

- 4- Combinaison de la chaux obtenue (CaO) avec les éléments argileux qui se sont dissociés (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) $t = 1450^\circ \text{C}$ (clinkérisation) pour obtenir le clinker.



Figure 1.9 : Préchauffeur [23]

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT



Figure 1.10 : Four rotatif [23]

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

3.3- Stockage du clinker

A la sortie du four, le clinker subit un refroidissement brutal appelé « trempe » dans un refroidisseur.



Figure 1.11 : Le refroidisseur [23]

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT



Figure 1.12 : Le clinker [24].

Le clinker (granules 0-----25 mm) à sa sortie du four et du refroidisseur est stocké pour être repris pour la fabrication du ciment.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

3.4- broyage ciment

Le clinker additionné de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) comme retardateur de prise avec une proportion ne dépasse pas 5% et éventuellement de produit secondaires (pouzzolane, calcaire...) sont broyés dans des broyeurs ciment pour obtenir le produit fini qui est le ciment.



Figure 1.13 : Broyeur cuit [23]

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

3.5-Stockage ciment

Le ciment fabriqué est ensuite stocké dans des silos et prêt à être vendu soit par sacs ou en vrac.



Figure 14 : Silos de stockage de ciment [23]

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA FABRICATION DU CIMENT

4- Différent types de ciments :

Le Tableau 1.7 suivant donne les types des différents ciments avec leurs compositions correspondantes :

Les lettres A, B et C suivent le type pour préciser la composition.

Type / sans ou avec lettre	Composition
CEM I ou CPA-CEM I	Clinker : 95 à 100 % Gypse : 0 à 5 % Ajouts : sans
CEM II /A ou CPJ-CEM II /A	Clinker : 80 à 94 % Gypse : 0 à 5 % Ajouts : 6 à 20 % de soit laitier, pouzzolane, cendres, calcaire schiste ou maxi 10 % fumées de silice.
CEM II /B ou CPJ-CEM II /B	Clinker : 65 à 79 % Gypse : 0 à 5 % Ajouts : 21 à 35 % de soit laitier, pouzzolane, cendres, calcaire schiste ou maxi 10% fumées de silice.
CEM III /A ou CHF-CEM III /A	Clinker : 35 à 64 % Gypse : 0 à 5 % Ajouts : 36 à 65 % de laitier de Haut Fourneau
CEM III /B ou CHF-CEM III /B	Clinker : 20 à 34 % Gypse : 0 à 5 % Ajouts : 66 à 80 % de laitier de Haut Fourneau
CEM III /C ou CLK-CEM III /C	Clinker : 5 à 19 % Gypse : 0 à 5 % Ajouts : 81 à 95 % de laitier de Haut Fourneau
CEM IV /A ou CPZ-CEM IV /A	Clinker : 65 à 90 % Gypse : 0 à 5 % Ajouts : 10 à 35 % de soit de pouzzolane, cendres siliceuses ou maxi 10 % de fumées de silice.
CEM IV /B ou CPZ-CEM IV /B	Clinker : 45 à 64 % Gypse : 0 à 5 % Ajouts : 36 à 55 % de soit de pouzzolane, cendres siliceuses ou maxi 10 % de fumées de silice.
CEM V /A ou CLC-CEM V /A	Clinker : 40 à 64 % Gypse : 0 à 5 % Ajouts : 18 à 30 % de soit de pouzzolane, cendres siliceuses
CEM V /B ou CLC-CEM V /B	Clinker : 20 à 39 % Gypse : 0 à 5 % Ajouts : 31 à 50 % de soit de pouzzolane, cendres Siliceuses.

CHAPITRE II
CONTROLE DE QUALITE

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

A tous les stades de la fabrication, de la carrière à l'expédition des échantillons sont prélevés et analysés, une surveillance de la production garantit une qualité élevée constante.

Les méthodes de contrôle des ciments sont décrites dans les normes Algériennes et normes équivalentes NBN EN 196. Le traitement statistique des résultats de prélèvement à l'expédition doit répondre aux exigences de la norme NBN EN 197-1 [24].

II-1 Les analyses chimiques classiques : « NA 442 » [25]

Selon l'état d'échantillon à analyser, il existe deux méthodes d'analyses :

II-1-1 Attaque par fusion alcaline « NA 442 ».

- Peser 1g de la matière que l'on met dans un creuset en platine.
- Mettre une mesure d'hydrogène carbonate de sodium, puis mélanger.
- Couvrir avec une deuxième mesure d'hydrogène carbonate de sodium.
- Couvrir le creuset avec un couvercle en platine.
- 20 mn au four à 1000°C.
- Préparer un bécher de 600 ml et 20 ml d' HCl pur.
- Laisser le creuset se refroidir un peu (on peut le refroidir avec l'eau distillée), puis introduire dans le bécher.
- Attaquer avec 20 ml d'HCl + de l'eau distillée.
- Une fois la matière enlevée du creuset, le faire sortir et le rincer.
- Mettre le bécher sur une plaque chauffante jusqu'à évaporation.
- Ajouter 10 ml de HCl et 15 ml H₂O distillée, laisser s'évaporer à sec
- Préparer une fiole de 500 ml
- Filtrer, laver plusieurs fois le filtre.
- Compléter la fiole jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée pour le dosage de CaO, MgO, Fe₂O₃ et Al₂O₃, qu'ils seront détaillés dans le cas de l'attaque perchlorique.
- Recueillir le filtre pour avoir la SiO₂ [26].

II-1-2 Attaque par acide perchlorique : « NA 442 »

Cette méthode d'analyse est utilisable que pour le produit fini (cuit), ainsi que nous avons fait.

Mode opératoire :

La méthode consiste à peser 2g de matière cuite et la faire introduire dans un bécher sec de 500 ml. Ajouter ensuite quelques gouttes d'eau distillée et 10 d'acide perchlorique. Avec une baguette remuer jusqu'à ce que le produit soit bien solubilisé dans l'acide. Mettre l'ensemble sur un bain de sable.

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE



Figure 2.1: Le bain de sable [23].

➤ **Séchage :**

Le bécher est mis sur un bain de jusqu'à séchage complet de la solution (plus de fumés blanches qui se dégagent).

➤ **Dissolution par l'acide chlorhydrique :**

Après le séchage complet le chimiste ajoute environ 150 ml d'eau distillée et 10 ml d'acide chlorhydrique pur dans le bécher et le met sur une plaque chauffante.

➤ **Filtration :**

La solution chaude est filtrée dans une fiole de 500 ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée.

➤ **Recueillir le filtre :**

Pour avoir la silice.

II.1.2.1 Dosage pour la détermination des oxydes : « NA 442 »

Le dosage des oxydes se fait par la méthode complexométrique en utilisant l'E.D.T.A comme complexant.

a) Détermination de l'oxyde de calcium (CaO):

Prendre 50 ml de la solution filtré dans la fiole, puis, on ajuste à 200 ml avec l'eau distillée. On ajoute 40 ml de NaOH à 2N pour maintenir un pH entre 12 et 13. Verser ensuite 15 ml de triéthanolamine pour masquer le Fe_2O_3 et Al_2O_3 puis ajouter une pincée de calcéine comme

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

indicateur coloré qui donne une couleur verte. Titrer avec E.D.T.A jusqu'au virage (V ml). Le pourcentage du CaO est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{CaO} = V \text{ (ml) E.D.T.A versé} \times \text{coefficient de CaO}$$

b) Détermination de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) :

On prend toujours 50 ml de la solution et on ajoute 3 gouttes de Bromophénol. Ensuite, on verse du NH_4OH jusqu'à apparition d'une teinte bleu fugitive (le dépassement de la teinte bleu provoque la précipitation de Al_2O_3). On ajoute 20 ml d' HCl à N/10 pour obtenir 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 ensuite de 40 à 50°C pour préciser le dosage de Fe_2O_3 . On titre avec l'E.D.T.A jusqu'à décoloration de la teinte violette. Le % d'oxyde de fer est déterminé selon la formule suivante:

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = V \text{ (ml) E.D.T.A} \times \text{Coefficient de Fe}_2\text{O}_3$$

c) Détermination de l'oxyde d'alumine (Al_2O_3) :

Prendre les 50 ml de la solution ayant servi pour le dosage du fer et lui ajouter de l'acétate d'ammonium jusqu'au virage bleu à pH 3.6. Puis ajouter ensuite 5 ml d'acide acétique dont le pH se trouve fixé à 3.6. Pour complexer l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), on ajoute 10 gouttes de complexonate de cuivre. Ajouter ensuite 10 gouttes de peroxyde azotique naphthol (PAN) qui donne la couleur rose violacée. Porter à ébullition pour accélérer la vitesse de complexation de l'alumine. Titrer 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 (%) de l'alumine est déterminé selon la formule suivante:

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = V \text{ (ml) E.D.T.A} \times \text{coefficient de Al}_2\text{O}_3$$

d) Détermination de l'oxyde de magnésium (MgO):

On prend 50 ml de la même solution et on lui ajoute 20 ml de triéthanolamine et quelques gouttes d'indicateur 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. Le (%) d'oxyde de magnésium est déterminé selon la formule suivante:

$$\% \text{MgO} = (V_{\text{MgO}} - V_{\text{CaO}}) \times \text{coefficient MgO}$$

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

2. Détermination de la chaux libre CaO_L:

Le chimiste pèse 1g de matière (ciment), la met ensuite dans un erlen propre et bien séché. Ajoute ensuite 25 ml d'alcool absolu et 25 ml de glycérine et verse quelques gouttes de phénolphaléine. Mettre l'erlen sur une plaque chauffante jusqu'à apparition d'une coloration violette. Ensuite, il titre avec l'acétate d'ammonium et répète l'opération jusqu'à décoloration complète de la solution. Le (%) de la chaux libre est déterminé selon la formule suivante:

$$\text{(\% CaO}_L\text{)} = T \times V$$

T : titre d'acétate d'ammonium.

V : volume d'acétate d'ammonium versé.

3. Détermination de la perte au feu:

On pèse 2g de matière sèche dans un creuset en platine propre et sec; soit P1 sa masse . Puis l'introduire dans un four à moufle pour la calcination à température d'environ 1000°C pendant une heure. Puis le retirer et laisser refroidir et le peser ; soit P2.

Elle est déterminée selon la formule suivante:

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

4. Détermination de la silice (SiO₂):

On recueille le filtre précédent et on procède de la même façon décrite pour la détermination de la perte au feu. Le (%) de la silice est déterminé selon la formule suivante :

$$\text{(\% SiO}_2\text{)} = (P1 - P2) \times 100$$

P1: poids vide du creuset

P2 : poids du creuset + matière.

5. Détermination du pourcentage de SO₃ :

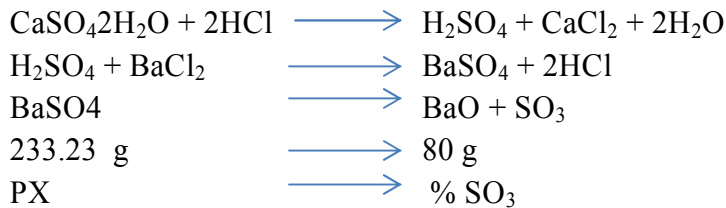
- Peser 1g de ciment
- Ajouter 20 ml d'eau distillée et 15 ml d'HCl N/2.
- Porter à ébullition.
- Filtrer la solution dans un bécher (filtre rapide)
- Ajouter 15 ml de BaCl₂ (100 g/l)
- Chauffer et filtrer (filtre lent)

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

- Peser un creuset P1
- Mettre le filtre et son contenu dans le creuset, ensuite calciner au four à 1000°C pendant 20 min, retirer le creuset, laisser refroidir puis peser P2. la formule est la suivante :

$$\text{(\% SO}_3\text{)} = (\text{P2} - \text{P1}) \times 34.3$$

Vérification de la formule:



$$\text{\% SO}_3 = \text{PX} \times 80 / 233.23 = (\text{P1} - \text{P2}) \times 80 \times 100 / 233.23 = (\text{P2} - \text{P1}) \times 34.3$$

6. Détermination des résidus insolubles :

- Peser 1 g de ciment.
- Ajouter 20 ml d'eau distillée et 15 ml de HCl N/2.
- Porter à l'ébullition.
- Filtrer la solution dans un bécher (filtre rapide)
- On met le papier filtre avec son contenu dans un bécher, on ajoute ensuite 100 ml d'eau distillée + 5g de bicarbonate de sodium.
- Chauffer jusqu'à l'ébullition
- Déchirer le papier filtre avec une spatule.
- Faire une 2^{ème} filtration (filtre moyen), rincer ensuite avec 25 ml d'acide HCl et 25 ml d'eau distillée.
- Peser un creuset P1.
- Mettre le papier filtre déchiré et son contenu dans le creuset, ensuite calciner au four à 1000°C pendant 30 min, retirer le creuset, laisser refroidir puis peser P2.

$$\text{(\%)} \text{ résidus insolubles} = (\text{P2} - \text{P1})$$

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

II .2. Les analyses physico-mécaniques :

II.2.1 Mesure de la densité du ciment : « NA229 » [25]

On mesure la densité du ciment pour déterminer le poids du ciment rempli dans les sacs.

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

Mode opératoire :

- Prendre le poids du pot métallique vide soit P1
- Avec un densimètre, remplir le pot avec du ciment non tassé. Ensuite peser P2

La densité est donc :

$$\frac{P2 - P1}{V}$$

II.2.2 mesure de la surface spécifique Blaine

C'est la surface occupée par un gramme de ciment, elle permet la détermination de la finesse du ciment ou bien le degré de broyage.

Principe:

La finesse du ciment est mesurée en observant le temps mis un volume fixé d'air pour traverser un lit de ciment compact à une porosité spécifique à 0.5

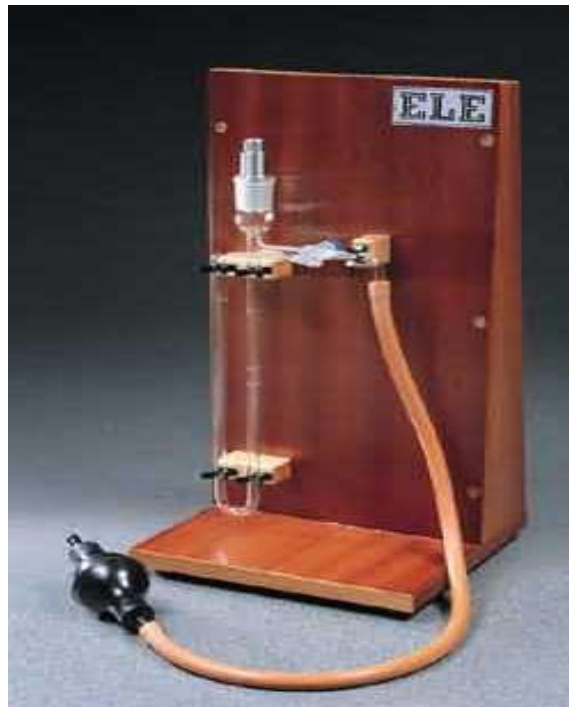


Figure : 2.2 Le perméabilimètre de Blaine.

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

Mode opératoire:

Placer la grille au fond de la cellule, appliquer sur cette grille au moyen d'une tige à face intérieure pleine un disque neuf de papier filtre. Verser le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir. Donner quelques légères secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du liant, puis placer sur celle-ci un autre disque neuf de papier filtre. 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. Retirer le piston lentement. Vérifier le niveau du liquide du manomètre qui doit affleurer au trait inférieur. Enduire de vaseline la partie.

Roder la cellule et la placer sur son ajustage en lui imprimant un léger mouvement de rotation pour répartir la vaseline. Veuillez 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 le niveau du liquide atteigne le trait supérieur. Fermer le robinet, mettre en marche un chronomètre sensible (cinquième de seconde) quand le niveau du liquide atteint le deuxième trait. On l'arrête quand le niveau atteint le troisième trait. Noter le temps écoulé. La surface spécifique de Blaine est calculée selon la formule suivante:

$$S = K \cdot e \cdot (-) \cdot (1 - e)$$

Avec: S: Surface spécifique (cm²/g)

K: constante de l'appareil

e : porosité de la couche tassée (0.5)

: Masse volumique des grains

: Viscosité de l'air à la température d'essai (en poise).

N.B : dans notre cas:

$$S = 393.36 X \text{ ————}$$

Remarque:

La masse à peser du ciment est déterminée en fonction du pourcentage de la pouzzolane ajoutée. A titre d'exemple: (% PZ = 10% \longrightarrow M = 1,97g).

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

II.2.3 Détermination du refus : « NA 229 » [25]

But:

Elle a pour but la détermination de pourcentage des refus du ciment après broyage.

Les refus sont déterminés pour contrôler l'état de fonctionnement du broyeur et le degré de broyage.

Mode opératoire:

L'appareil Alpine donne automatiquement le pourcentage des refus.



Figure 2.3 : L'appareil Alpine [23]

II.2.4 : La consistance normalisée : [25]

La consistance normalisée caractérise la propriété rhéologique des pâtes. Elle est déterminée par la méthode décrite par la norme NFP.15.402 et consiste en la détermination de la quantité d'eau qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte de ciment normale

CHAPITRE II

CONTROLE DE QUALITE

II.2.4-1 Pâte normale [25] :

La pâte normale est une pâte de consistance normalisée ; c'est-à-dire telle qu'en opérant avec 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 foncer sous son propre poids. En général, l'épaisseur d'une pâte normale est de (6 ± 1) mm, si ce n'est pas le cas il convient de refaire l'essai avec une valeur différente du ciment pesée pour faire la pâte, jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.

II.2.4-2 Vérification de la consistance normale : « NA 229 » [25]

L'appareil de Vicat, est un plateau nu, ayant été muni d'une sonde de consistance.

Après l'enlèvement de l'excès de la pâte par un mouvement de va et vient grâce à une truelle, placer immédiatement le moule remplie de la pâte dans l'axe de la sonde, laisser descendre cette dernière perpendiculairement à la surface de la pâte. Quand la sonde à cesser de descendre sous son propre poids, prendre la mesure de l'épaisseur. Placer l'éprouvette dans l'armoire humide en vue de déterminer les prises de ciment.



Figure 2.4 : Appareil de Vicat [23]

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

II.2.5 Essai de prise : « NA 230 » [25]

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 de prise et fin de prise.

Principe de l'essai :

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

Dans le laboratoire d'essais physiques de la cimenterie de Béni Saf, il dispose d'un équipement appelé « Prisomètre automatique multiposte.



Figure 2.5 : Prisomètre multiposte [23]

Principe de fonctionnement :

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 indépendamment les uns des autres. Durant l'essai, le prisomètre est piloté automatiquement par un micro-ordinateur PC compatible fourni avec l'appareil.

Grace au logiciel installé sur cet ordinateur « application prisomètre », l'opérateur peut rentrer les données, lancer un essai de début de prise ou de fin de prise et suivre son déroulement

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

à l'écran sur une courbe. Les résultats de pénétration (temps de début de prise, temps de fin de prise, courbe de profondeur de pénétration en fonction du temps) sont automatiquement enregistrés dans un fichier à chaque pénétration (le fichier pourra être consulté ultérieurement).

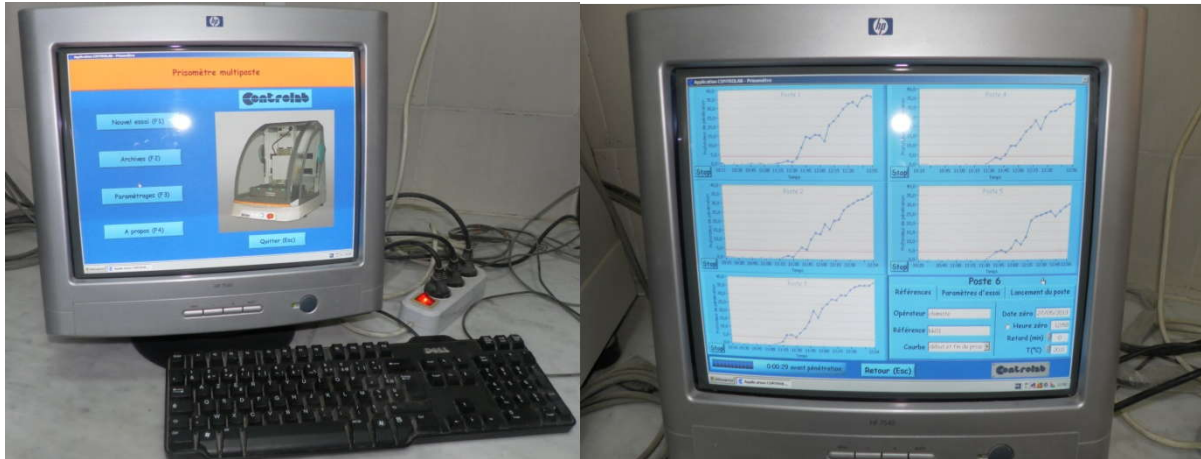


Figure 2.6 : Fonctionnement de Prisomètre multiple [23]

II.2.6 Essai d'expansion : « NA232 » [25]

Elle comporte deux essais effectués sur des éprouvettes de pâte pure, cylindriques de 30 mm de diamètre et 30 mm de hauteur, conservées dans leurs moules constitués par une feuille de laiton (épaisseur 0,5 mm).

Ces moules fondus selon une génératrice, comportant deux aiguilles longues de 15 cm (Aiguille Le Chatelier) soudées chaque côté de la fente.

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

L'essai de déformation à chaud décèle la présence de chaux vive (CaO_L) libre surcuit et de magnésie expansive (MgO).

Mode opératoire :

Remplir le moule d'expansion par la pâte préparée, le mettre ensuite sur une plaque de verre et arraser la surface à l'aide d'une truelle. Couvrir avec une plaque de métal. Marquer l'écartement entre les deux aiguilles. Conserver les aiguilles dans l'armoire humide pendant une journée.

Après 24 heures de séjour des aiguilles dans l'armoire humide on les fait sortir et mettre dans un bain marie à 100°C de température pendant 3 heures. On mesure après cette durée l'écart initial (pendant la confection du moule) qui représente l'expansion à chaud.

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE



Figure 2.7 : Préparation et conservation d'aiguille de Le Chatelier [23]



Figure 2.8 : Bain marie [23]

II.2.7 Essai mécaniques (flexion – compression) : « NA 234 » [25]

Ils ont pour but de mesurer les résistances aux différentes contraintes au bout d'un certain temps.

Les essais de flexion et de compression permettent la détermination de la contrainte de rupture à la traction par flexion et compression des mortiers.

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

Préparation du mortier normal :

Dans le malaxeur automatique on verse dans le récipient, 450 g de ciment, on lui ajoute 225 ml d'eau et le verse le sable normalisé dans l'entonnoir (spécifique pour mettre le sable).

Le malaxeur étant en position de fonctionnement.

Ensuite, le mélange obtenu est versé dans le moule à l'aide d'une spatule, et peut être bien tassé après un doublet de choc en utilisant l'appareil à choc.

Le mortier obtenu est mit dans la chambre humide à température d'environ 21°C et 90% d'humidité. Après 24 heures, on fait le démoulage et on conserve les éprouvettes dans des récipients remplis d'eau de mer en vue de faire la casse aux âges définis (2, 7, 28, 56, 92 et 170 jours) pour notre étude.

NB : Dans notre travail, on a utilisé un malaxeur automatique disponible dans le laboratoire des essais physiques de la cimenterie de Beni saf.



Figure 2.9 : Malaxeur automatique [23]

II.2.8 Confection de l'éprouvette : [25]

Le mortier obtenu est introduit dans un moule métallique prismatique de dimension normalisée (4x4x16) cm³. On le fixe sur la table à choc où il peut être bien tassé (pour éliminer les bulles d'air à l'intérieur du mortier). Après un doublet de 60 coups, on racle bien la surface du moule pour éviter le débordement du mortier sur le moule et pour avoir une bonne homogénéité des éprouvettes. Ensuite, on le met dans une chambre humide à 20°C.

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE

Après 24 heures, on fait le démoulage et on conserve les éprouvettes dans des récipients remplis d'eau de mer (dans notre cas, on utilise l'eau de mer comme milieu agressif) pendant 2, 7, 28, 56, 92 et 170 jours pour ensuite déterminer les résistances à la flexion et la compression à différents âges.



Figure 2.10 : L'appareil à choc [23]



Figure 2.11 : Chambre humide [23]

CHAPITRE II CONTROLE DE QUALITE



Figure 2.12 : Appareil de compression [23]



Figure 2.13 : Appareil de flexion [23]

CHAPITRE III
PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE III

PARTIE EXPERIMENTALE

III.1 Préparation des échantillons de ciment

On prépare notre échantillons à partir d'un seul type de ciment sans ajouts noté CEM I ou CPA-CEM I obtenu de la cimenterie de Béni-Saf, de composition : Clinker 95 à 100%, Gypse : 0 à 5% et ajouts : 0%, qui est utilisé comme un échantillon témoin. Puis selon un calcul bien déterminé, on arrive à préparer les ciments de différents pourcentages (5, 10, 15 et 20%) en pouzzolane utilisée comme ajout.

Pour chaque échantillon, on a préparé 3 Kg de ciment.

Exemple de calcul :

3000 g \longrightarrow 100 %

X \longrightarrow 20 % PZ

$$(20 \times 3000) / 100 = 600\text{g}$$

Donc, pour préparer 3 Kg de ciment à 20% de pouzzolane nous devons prélever 2400 g de CPA et mélanger avec 600 g de pouzzolane. Puis à l'aide d'un malaxeur, on mélange l'ensemble pendant 1 heure pour avoir un échantillon représentatif.

Même procédure est appliquée pour les autres échantillons.

III.1.1 Analyse chimique de la pouzzolane

La pouzzolane qu'on a utilisée comme ajout avec notre ciment, est une roche volcanique active disponible dans la région de Beni Saf.



Figure 3.1 La pouzzolane de Beni Saf[18]

CHAPITRE III

PARTIE EXPERIMENTALE

Mode opératoire :

Nous avons pris une quantité de la pouzzolane montrée sur la **figure 3.1** ci-dessus. A l'aide d'une plaque chauffante, on l'a bien séchée puis broyée dans un grand moulin. Ensuite, nous avons passé la poudre obtenue dans un tamis de 90 μm (pour éviter toute impureté ou particule de grand diamètre). Les analyses chimiques sont réalisées dans le laboratoire de la cimenterie de Beni Saf en utilisant la méthode d'attaque par fusion alcaline « NA442 » et les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant.

Tableau 3.1 : Analyse chimique de la pouzzolane en %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	PF
44.34	17.17	9.42	9.95	3.79	0.82	4.91	0.70	6.04

III.2 Préparation du mortier

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques de ciment et notamment la résistance à la compression. Ce mortier est réalisé conformément à la norme EN 196-1. C'est le mélange d'éléments secs (1350 g de sable normalisé et 450 g de ciment) avec un rapport E/C = 0,5.

N.B : L'eau de gâchage est une eau potable de robinet de la région de Béni-Saf.

III.2.2 analyse granulométrique du sable normalisé

Le sable qu'on a utilisé est normalisé CEN EN 196-1. Il est commercialisé en sachet de polyéthylène contenant chacun 1350 \pm 5 g[22].

L'analyse granulométrique a été effectuée au niveau du Laboratoire de Matériaux de Construction de la Faculté de Technologie « Abou Bekr Belkaïdde Tlemcen »

Mode opératoire :

Dans ce laboratoire, l'échantillon est 1350 g de sable normalisé de la cimenterie de Béni-Saf, qui était utilisé pour la préparation de nos mortiers suit la procédure de tamisage par voie sèche avec différents diamètres de tamis.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

CHAPITRE III

PARTIE EXPERIMENTALE

Tableau 3.2 : Résultats d'analyse granulométrique du sable utilisé

Ouverture des Tamis (mm)	Masse des refus mi (g)	Masse des refus cumulés Mc (g)	Pourcentage des refus cumulés Pr= (Mc/m)*100	Pourcentage des Tamis cumulé Pt= 100- Pr
6,3	0	0	0	100
5	0	0	0	100
4	0	0	0	100
3,15	0	0	0	100
2,5	0	0	0	100
2	0,4	0,4	0,02	99,87
1,6	69,2	69,6	5,15	94,85
1,25	208,2	277,8	20,57	79,43
1	174,4	452,2	33,49	66,51
0,8	111,2	563,4	41,73	58,27
0,63	179,6	743	55,03	44,97
0,5	163,0	906	67,1	32,9
0,315	105,0	1011	74,88	25,12
0,250	40,6	1051,6	77,89	22,11
0,2	93,2	1144,8	84,8	15,2
0,16	31	1175,8	87,09	12,91
0,125	141,6	1371,4	97,58	2,42
0,1	21	1338,4	99,14	0,86
0,080	8,8	1347,2	99,79	0,21
0,063	0,6	1347,8	99,83	0,17
Fond	0,6	1348,4	99,88	0,12

III.3 Analyse du milieu agressif

Dans notre étude, nous avons choisi l'eau de mer comme milieu agressif, prélevée de la plage de Béni-Saf (le : 10 mars 2013 à 19 :00h).

N, B

Les analyses de cette eau ont été effectuées au niveau des laboratoires :

- L'ADE d'Ain Témouchent (ChaabatElhem).
- La station de dessalement de l'eau de mer GEIDA de Honaine.
- L'ADE de Tlemcen.

CHAPITRE III

PARTIE EXPERIMENTALE

Les tableaux ci-après donnent une description physico-chimique bien détaillée.

Tableau 3.3 : Analyse ampérométrique

Paramètres ampérométriques	Température	pH	Conductivité	Taux de Salinité TDS	Turbidité
Résultats	17,3°C	6,24	56,7 ms/cm	31.75 g/l	0,322 NTU

Tableau 3.4 :Analyse volumétrique

Paramètres volumétriques	TA	TAC	TH	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ³⁻
Résultats	0	2750 mg/l en CaCO ₃	11999 mg/l en CaCO ₃	22971.6 mg/l en CaCO ₃	5520 mg/l en CaCO ₃	103.716 mg/l en CaCO ₃	3355 Mg/l en CaCO ₃

Tableau 3.5 : Analyse spectroscopique

Paramètres spectroscopiques	Fe ²⁺	Sulfate	Phosphate PO ₄ ³⁻	Nitrate NO ²⁻	Ammonium
Résultats	2 mg/l	6300 mg/l	6 mg/l	9 mg/l	0 mg/l

III.4 Analyse chimique des échantillons

Ces analyses sont réalisées au laboratoire d'essais chimiques de Béni-Saf et sous la surveillance des employés de la cimenterie.

Les résultats obtenus qui correspondent à chaque échantillon sont affichés dans le tableau ci-après :

CHAPITRE III

PARTIE EXPERIMENTALE

Tableau 3.6 : Analyse chimique des échantillons à différents pourcentage en pouzzolane (PZ)

Paramètres	CPA 0 %	5%	10%	15%	20%
SiO ₂	20,68	23,31	25,77	27,73	31,61
Al ₂ O ₃	5,24	5,33	5,50	5,65	5,78
Fe ₂ O ₃	2,83	2,97	2,99	3,12	3,26
CaO	62,38	60,69	57,51	55,12	50,64
MgO	0,71	0,92	0,95	1,00	1,1
K ₂ O	0,25	0,25	0,36	0,43	0,47
Na ₂ O	0,32	0,42	0,44	0,55	0,63
SO ₃	2,43	2,36	2,25	2,16	1,89
PF	2,82	2,86	2,90	3,17	3,36
CaO _L	0,98	0,98	1,10	1,01	0,99
R I	0,92	6,83	7,97	8,05	14,79

III.5 Caractéristiques physiques des ciments préparés

Les analyses ont été effectuées dans le laboratoire des essais physiques de la cimenterie de Béni-Saf, par les opérateurs de laboratoires.

III.5.1 Surface spécifique Blaine SSB

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

Tableau 3.7 : Surface spécifique Blaine des cinq (05) échantillons

Ciment	CPA 0 %	5%	10%	15%	20%
SSB (cm ² /g)	3140	3195	3333	3451	3772

III.5.2 Refus sur tamis de 90 μ

Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-après :

Tableau 3.8 : Refus des cinq (05) ciments

Ciment	CPA 0 %	5%	10%	15%	20%
Refus (%)	2.012	2,106	2,124	2,301	2,401

CHAPITRE III

PARTIE EXPERIMENTALE

III.5.3 Densité apparente

Les résultats sont fournis par le tableau suivant :

Tableau 3.9 : Densité apparente des cinq (05) ciments

Ciment	CPA 0 %	5%	10%	15%	20%
Densité (kg/m ³)	0,983	0,968	0,956	0,948	0,927

III.5.4 Expansion à chaud (mm)

Le tableau ci-après résume les résultats obtenus.

Tableau 3.10 : Expansion à chaud (mm)

Ciment	CPA 0 %	5%	10%	15%	20%
Expansion (mm)	0,5	0	0,5	0	1

III.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 3.11 : Résultats des essais sur la pâte pure

Echantillons	CPA 0 %	5%	10%	15%	20%
Consistance normale (ml)	132	131	130	130	136
Epaisseur (mm)	6	5	5	5	5
Temps de début de prise (min)	56	105	117	139	141
Temps de fin de prise (min)	122	190	179	201	227

III.6 Résultats des résistances à la traction par flexion et à la compression

Les éprouvettes sont d'abord destinées à l'essai de traction par flexion puis à la compression. Les résultats des résistances à la traction par flexion et à la compression simple à 2, 7, 28, 56, 92 et 170 jours sont donnés par les deux tableaux suivants.

CHAPITRE III PARTIE EXPERIMENTALE

Tableau 3.12 Résistance à la flexion en MPa

	CPA 0 %	5%	10%	15%	20%
2 Jours	4,71	4,28	4,18	4,11	3,98
7 Jours	6,95	6,56	6,50	6,42	5,99
28 Jours	8,24	7,95	7,47	7,30	7,04
56 Jours	9,00	8,13	7,91	7,79	7,64
92 Jours	9,80	9,31	8,41	8,18	7,67
170 Jours	10,6	9,88	9,31	9,30	9,19

Tableau 3.13 Résistance à la compression en MPa

	CPA 0 %	5%	10%	15%	20%
2 Jours	24,37	21,87	19,37	16,87	16,25
7 Jours	40,62	40,0	34,37	33,95	30,0
28 Jours	52,86	50,61	46,61	46,71	45,16
56 Jours	56,87	56,25	52,5	48,43	47,05
92 Jours	97,5	92,5	85	82,5	78,7
170 Jours	115	104,5	97,5	95	92,5

III.7 Analyse par microscope électronique à Balayage équipé d'un détecteur EDX

L'analyse est effectuée dans le laboratoire de microscopie au niveau de la Faculté des Sciences Abou BakrBelkaïdde Tlemcen, où il y a un microscope électronique à balayage (MEB) équipé d'un spectromètre à dispersion d'énergie des rayons X (EDX).

Les images obtenues lors de l'analyse de gypse, la pouzzolane et les cinq échantillons seront présentés dans l'ANNEXE III.

CHAPITRE IV
INTERPRETATION DES RESULTATS

CHAPITRE IV
INTERPRETATION DES RESULTATS

Chapitre IV INTERPRETATION DES RESULTATS

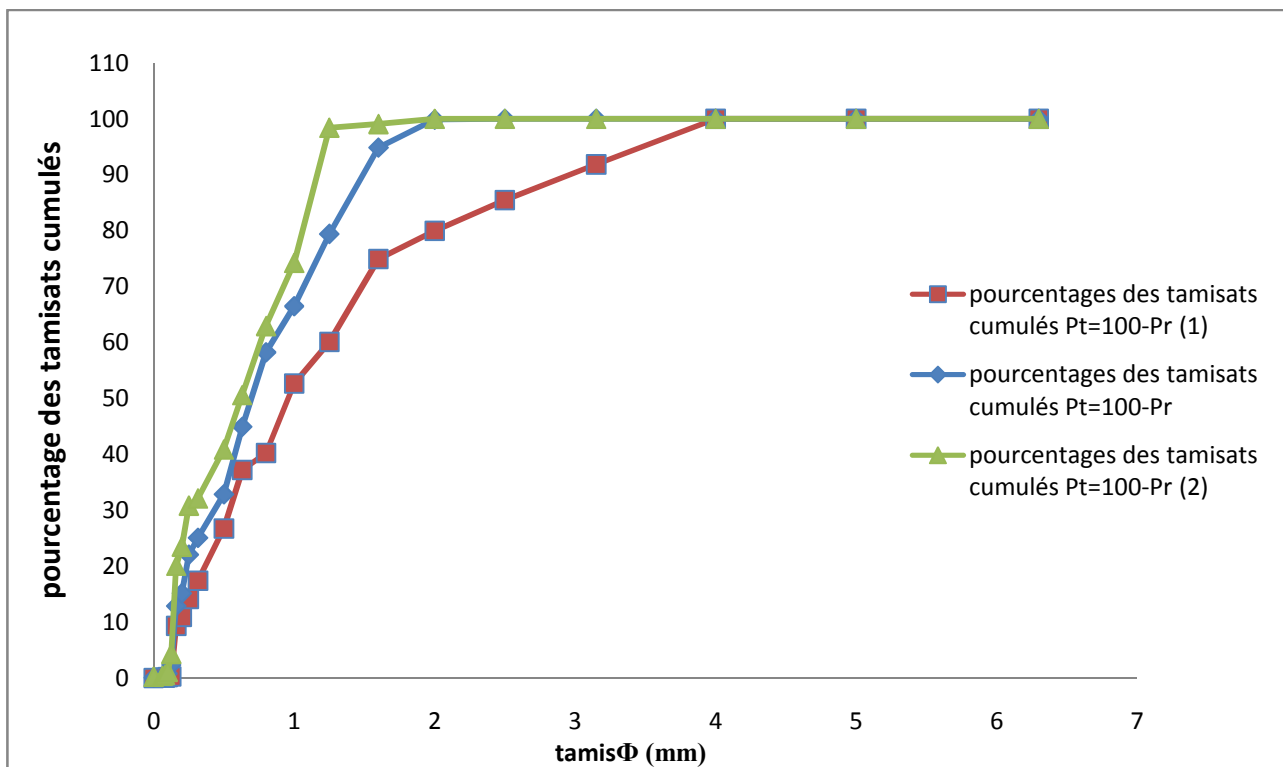
VI.1 Interprétation de l'analyse chimique des échantillons à différents pourcentages en pouzzolane (PZ)

L'incorporation des additions pouzzolane augmente le pourcentage des oxydes (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O), et diminue le taux de SO_3 . On voit que le pourcentage en teneur d'anhydride sulfurique (SO_3) est inférieur à 4% ; ceci est conforme à la norme NF EN 197-1 [27].

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

IV. 2 Courbe granulométrique du sable normalisé

Figure 4.1 : Courbe granulométrique du sable



La courbe granulométrique montre que le sable utilisé se trouve dans le fuseau et donc la composition granulométrique déterminée par tamisage est conforme aux exigences de la norme NF EN 196-1 ISO : 2009 [28].

IV.3 Interprétation de l'expansion à chaud

Cet essai de déformation à chaud indique la présence de chaux et de magnésium non combinée (libre) [29]. Ce qui n'est pas trouvé dans nos ciments composés à la pouzzolane.

Chapitre IV INTERPRETATION DES RESULTATS

IV.4 Interprétation de la consistance normale et le temps de début et fin de prise

Les résultats expérimentaux obtenus (**Tableau 3.11**) présentent l'effet de la teneur en pouzzolane sur la pâte de ciment.

La demande en eau des pâtes de ciments préparées avec les différents pourcentages de pouzzolane (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) est mesurée en utilisant l'aiguille de Vicat et le moule de Vicat. Nous avons réussi à prendre le temps de début de prise et le temps de fin de prise.

On note que l'augmentation de pourcentage de l'ajout de pouzzolane incorporé dans le ciment augmente les temps de début et fin de prise ; ce qui est au contraire avec les résultats obtenus par l'auteur **BOUALLA Nabila et al [28]**.

IV.5 Résistances en fonction du pourcentage de pouzzolane (PZ)

Les résultats sont représentés sur les figures suivantes :

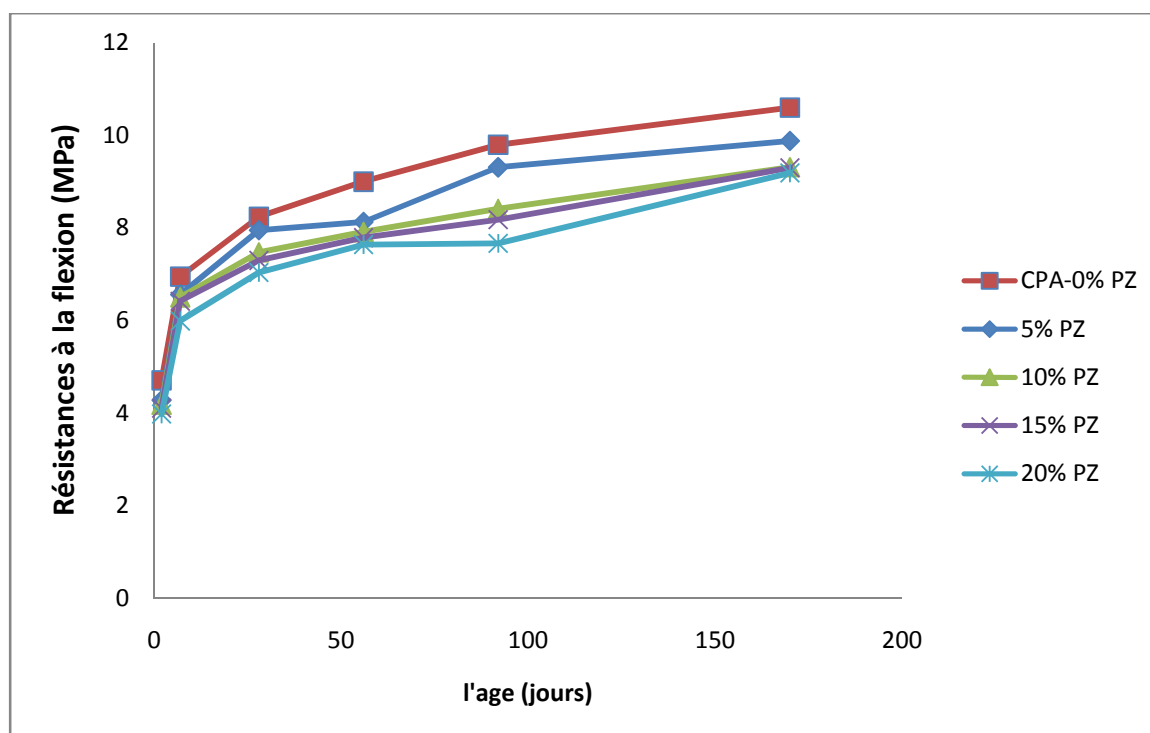


Figure 4.2 Résistances à la flexion

Chapitre IV INTERPRETATION DES RESULTATS

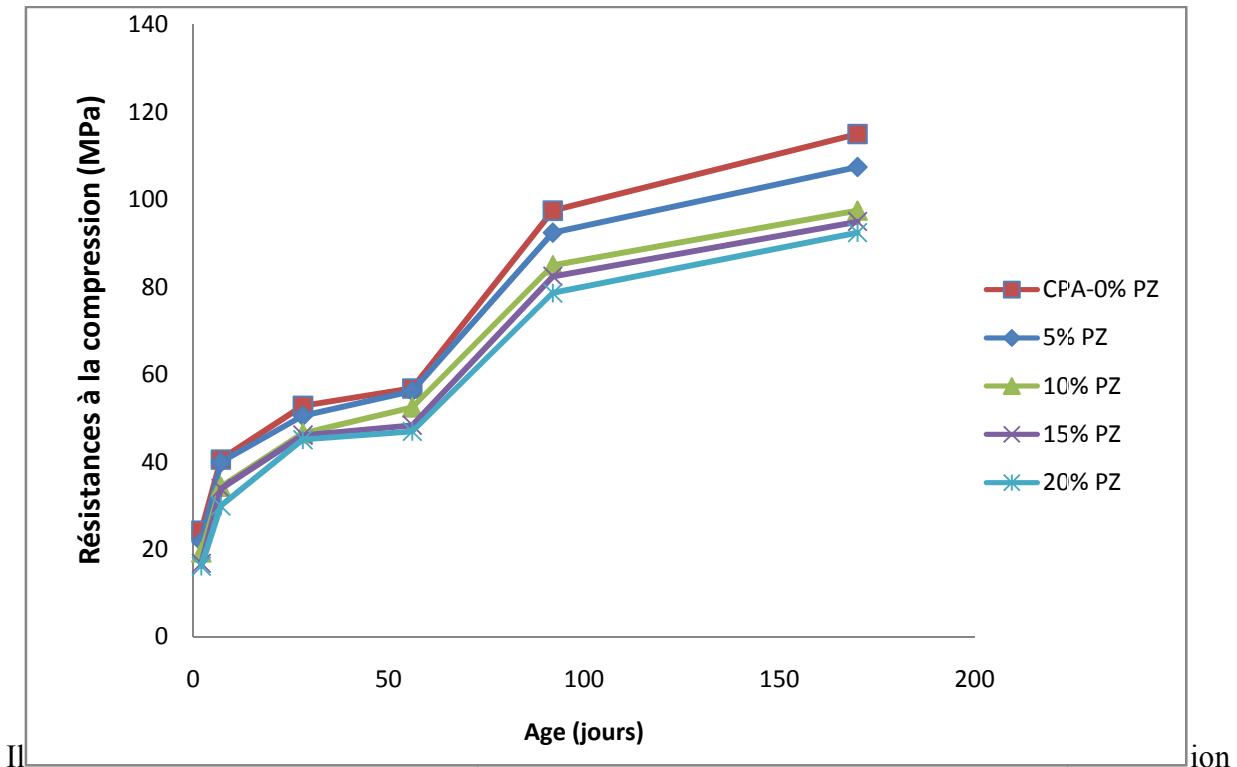


Figure 4.3 Résistances à la compression

On remarque aussi que les résistances mécaniques augmentent avec l'âge ; ce qui est confirmé par l'étude de **BOUALLA Nabila et alen** 2012 (l'influence de l'ajout pouzzolanique sur les caractéristiques physico-chimique des ciments au jeune âge). Les résistances mécaniques (compression et flexion) augmentent en fonction de l'âge de durcissement. Cela peut être dû à la variation de la cinétique d'hydratation du minérale C_3S (silicate tricalcique) et C_2S (silicate bicalcique) car ces derniers sont les deux principaux minéraux qui assurent le développement des résistances mécaniques à court et moyen terme.

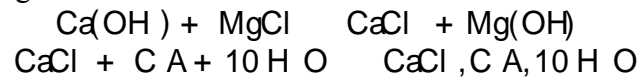
La réaction d'hydratation du ciment devient rapide et complète (formation du $Ca(OH)_2$ libérée pendant l'hydratation du ciment) car la réaction pouzzolanique participe à la formation d'un deuxième C-S-H supplémentaire suivant la réaction:



Chapitre IV INTERPRETATION DES RESULTATS

Le milieu agressif qu'on a choisi qui l'eau de mer est un milieu à haute teneur en sulfate et en chlorure. Ces éléments ont un impact direct sur le mortier ce qui confirme l'apparition de la couche blanche ; dépôt de sels selon les réactions et figure suivantes :

- ✓ Les chlorures réagissent comme suit :



, , : Est sel de Friedel, expansif.

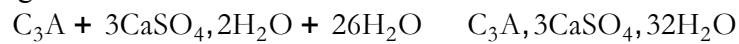
- ✓ Les étapes des ions sulfates sont :

Formation du gypse secondaire :

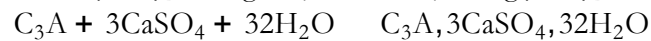
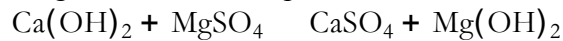


, : Est le gypse secondaire expansif.

Formation d'Ettringite secondaire :



, , : Ettringite secondaire expansive.



, , : Ettringite secondaire expansive.



Figure 4.4 Une éprouvette après 170 jours dans l'eau de mer [23]

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

CONCLUSION

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Conclusion

Il en ressort de cette étude que les ajouts cimentaires tels que pouzzolane font actuellement partie des développements les plus récents dans la production du ciment car leur utilisation apporte une amélioration aux propriétés mécaniques et chimiques des mortiers et bétons, d'une part, et, d'autre part, elle réduit la consommation du clinker en contribuant de manière simple et économique à la réduction de la consommation énergétique d'où un bas prix de revient de la tonne de ciment.

Sur le plan écologique et environnemental, leur utilisation a aussi des bénéfices se traduisant par la diminution des émissions des gaz à effet de serre tel que le gaz carbonique CO₂ et la valorisation des ressources naturelles.

En plus de ce qui a été signalé précédemment, nous avons constaté que :

- Un mortier confectionné à partir d'un ciment composé de 20 % en pouzzolane peut atteindre des résistances à la compression satisfaisant les normes ; on a trouvé une résistance de 45,16 MPa qui est bien supérieure à celle (42,5 MPa) de la norme.
- L'activité pouzzolanique (en présence d'eau, à température ambiante, la pouzzolane se comporte comme un liant hydraulique) et l'augmentation de la surface spécifique blaine sont les facteurs principaux de la durabilité des mortiers et bétons.

Ce travail m'a permis de côtoyer le monde du travail en effectuant des stages portant sur l'analyse des eaux, d'une part, et, d'autre part, d'acquérir une initiation à la recherche par la présentation d'une communication (ANNEXE V).

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Références bibliographiques

- [1] : A, C, C : Atelier de Changement Climatique « Les enjeux du développement durable au sein de l'industrie du ciment: Réduction des émissions de CO₂ » Rapport final Octobre 2005 ; Février 2006- page 32.
- [2] : **Jacques Vecoven; Holcim; CNRS ;** Centre national de la recherche scientifique ; L'industrie du ciment données générales ; ATIH (Association techniques de l'industrie des liants hydrauliques ; Ecole thématique « matériaux cimentaire » du 25 au 30 septembre 2005.
- [3] : **A. C. D. E ;** Production et perspective, Rapport de gestion, Exercice 2009, Mai 2010, 112 p.
- [4] : Application types « Fabrication de ciment » une qualité optimale de la production et la conformité aux normes avec COOX : COllaborationOperation et eXecution d'ORDINAL Software.
- [5] : **Jacques Frachbourg** « Contribution à l'étude de quelques pouzzolanes naturelles et artificielles en vue de la fabrication des ciments de pouzzolanes » ; Thèse de doctorat en science et techniques, Université de Lausanne, 6 octobre 1965.
- [6] : **Waller Vincent, De LarrardFrancois,** Ecole nationale des pants et chaussées ; Paris, France (Université de soutenance) ; 1999.
- [7] : Le site web : www.perso.médiafiltre.com/web/master_gp/ciment.ntm.
- [8] : **Y. Chérait, Z. Nafa,**« Elément de matériaux de construction et essai », Direction de la publication universitaire de GUELMA ; 2007.
- [9] : **Dreux G et FastaJ,** « nouveau guide du béton » ; Paris édition Eyrollèse ; 1995.
- [10] : Cours en ligne : www.la.refer.org/matériaux/chapitre deux.
- [11] : **Rous.S**« évaluation des risques de biodégradation des bétons en contact avec une eau douce naturelle »; Doctorat en science et technologie industrielles, UNIVERSITE LOUIS PASTEUR- STRASBOURG I ; mai 2008, 222 pages.
- [12] : **M. Arnould, M.Virlogeux,** « Granulats et bétons légers »; Paris, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées; 1986.
- [13] : **A.Mellak**« Caractérisation rhéologiques des coulis de ciment spécifiques aux formations salifères » Lebanese Science Journal, Vol N=°2, 2007, p.115-125.
- [14] : **A.ElHilali, E.Ghorbel, P. Gonnon,**«Influence des fillers sur l'ouvrabilité des bétons autoplaçants » L2MGC- Université de Cergy-pontoise, Abdellah.ElHilali@iupgc.u-cergy.fr; ehlemghorbel@cergy.fr; Pascal.Gonnon@amya.com.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

- [15] : Commission permanente de la normalisation des matériaux de construction; Clauses techniques ; CEMENTS C.T 2/1994;Composition et spécification (Adaptation au contexte normatif luxembourgeois de la prénorme européenne ENV 197-1).
- [16]:Lafarge Amérique du Nord, 2013,Ciment Fabrication du ciment.
- [17] : Cours en ligne : Matériaux de construction Chapitre 2 « les ciments » ; L'AUF : Agence Universitaire de la Francophonie.
- [18] : Société de Ciment de Ain El Kbiria ; dirgem@scack.dz; web : www.erce-dz.com; 2008.
- [14] :Pierre naturelles ; Carrière de Luget ; Carrière de Limcyrat ; 2013.
- [19]:Site web: SOS-planete.
- [20]:www.amidesneuneus.free.fr.
- [21]: **Christophe Charon Holcim** ; L'industrie du ciment, Données générales ; Ecole Thématique « Matériaux cimentaire » du 21au 26 septembre 2008 ; ATIH : Association technique de l'industrie des liants hydraulique ; France.
- [22] : Photos de la cimenterie de Beni Saf SCIBS ; Mars 2013.
- [23] :**Holcim**, Guide pratique ; « Concevoir et mettre en œuvre des bétons durables »;Une publication de **Holcim** Belgique, S.A.
- [24] :Mode opératoire MOP/MAPO Beni Saf ; Version A SCIBS BP 22 Beni Saf 2013.
- [25] :**B.Kedir**« recueil de la cimenterie de Beni Saf » ;13-03-2003 ; Cimenterie de Beni Saf.
- [26] :**R.Dupain, R.Lanchon, J.C.Saint. Arroman**, « Granulats, Sols, Ciment et Bétons », Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire, édition Paris Casteilla, 2000.
- [27] : **NF EN 197-1** « La normalisation française des ciments » 2001.
- [28] : **BOUALLA Nabila, KERROUZI Ismail, et SOUFARI Abdel Wahed** ; « Influence de l'ajout pouzzolanique sur les caractéristiques physico- chimiques des ciments au jeune âge », Science Lib Edition Mersenne : Volume 4 N° 121003. ISSN 2111-4706 ; 18-10-2012.
- [29] : **BELHACHMI, B**; « Influence de la surface spécifique Blaine sur les résistances d'un ciment pouzzolanique », Département de chimie, faculté des sciences Tlemcen, 07-12-2005.
- [30] : Construction, Formation béton « La durabilité » Chapitre 9 ; page 20; Sika France : Building trust.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

ANNEXES

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

ANNEXE I :

Complexométrie: Détermination du titre de chaque oxyde.

L'iongramme de la solution EDTA (Acide Éthylène Diamine tétraacétique ou sel disodique $C_{10}H_{10}N_2Na_2O_8, 2H_2O$) réagit dans tous les cas, avec ion-gramme du métal sans tenir compte de la valence.

Par exemple:

Une solution EDTA à $0.1M = 0.1 \frac{g}{l} = \frac{g}{l}$

Donc une solution EDTA 0.1 M correspond à une solution contenant 37.224 g/l ; ce qui signifie que :

1 ml de cette solution contient $37.224 * 10^{-3}$ g d'EDTA.

Comme : 372.24 g réagit avec 40g de Ca.

$37.224 * 10^{-3}$ g réagit avec X g de Ca.

Donc: $X = (37.224 * 10^{-3} * 40) / 372.24$

$X = 40 * 10^{-4}$ g de Ca.

Et 56g de CaO réagit avec: 40g de Ca.

$40 * 10^{-4}$ g de Ca réagit avec Y g de CaO

Donc : $Y = (56 * 40 * 10^{-4}) / 40$

$Y = 56 * 10^{-4}$ g de CaO.

Ainsi : on a montré par les calculs que 1 ml de solution EDTA 0.1M réagit avec 0.0056g de CaO.

Dans les analyses de ciment, on a utilisé une solution de EDTA plus faible, de façon que :

1 ml de solution EDTA réagit avec 0.002g de CaO.

On essaye de refaire le calcul pour remonter à la concentration de ladite solution d'EDTA.

La concentration de cette solution sera donc :

0.0056 g de CaO contient 0.0040 g de Ca

0.002 g de Ca contient Z

$Z = (0.002 * 0.004) / 0.0056 = 0.1428 * 10^{-2}$ g de Ca.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Comme :

$3772.24 \cdot 10^{-4}$ g EDTA réagit avec $40 \cdot 10^{-4}$ g de Ca.

V réagit avec $14.28 \cdot 10^{-4}$ de Ca

$$V = (372.24 \cdot 10^{-4} \cdot 14.28 \cdot 10^{-4}) / 40 \cdot 10^{-4} = 132.89 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

Donc : 1 ml de cette solution contient $132.89 \cdot 10^{-4}$ g = 13.289 mg.

Calculons les quantités des différents oxydes qui correspondent à 1 ml de cette solution d'EDTA :

Pour CaO :

1 ml de cette solution correspond à 0.002 g de CaO.

Pour Al₂O₃: ($M_{Al} = 27$; $M_O = 16$; $M_{Al_2O_3} = 102$ g/mol).

372.24 g d'EDTA \longrightarrow 27 g de Al

$$132.98 \cdot 10^{-4} \longrightarrow X = (132.89 \cdot 10^{-4} \cdot 27) / 372.24$$

$$X = 9.64 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

$$X = 0.00096 \text{ g de Al.}$$

Comme : 102 g de Al₂O₃ \longrightarrow 54 g de Al.

$$X_{Al_2O_3} \longrightarrow 0.00096.$$

$$X_{Al_2O_3} = (102 \cdot 0.00096) / 54 = 0.00181 \text{ g de Al}_2\text{O}_3.$$

Pour Fe₂O₃: ($M_{Fe} = 55.85$; $M_{Fe_2O_3} = 159.7$ g/mol).

372.24g d'EDTA \longrightarrow 55.85 de Fe.

$$132.89 \cdot 10^{-4} \longrightarrow X_{Fe} = (132.89 \cdot 10^{-4} \cdot 55.85) / 372.24$$

$$= 0.00199 \text{ de Fe.}$$

Comme : 159.7 g de Fe₂O₃ \longrightarrow 111.7 g de Fe.

$$X_{Fe_2O_3} \longrightarrow 0.00199$$

$$X_{Fe_2O_3} = (0.00199 \cdot 159.7) / 111.7$$

$$X_{Fe_2O_3} = 0.00285 \text{ g de Fe}_2\text{O}_3.$$

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Pour MgO: ($M_{Mg} = 24.31 \text{ g}$; $M_{MgO} = 40.31 \text{ g/mol}$)

372.24 d'EDTA \longrightarrow 24.31 de Mg

$$132.89 \cdot 10^{-4} \longrightarrow X_{Mg} = (132.89 \cdot 10^{-4} \cdot 24.31) / 372.24$$

$$= 8.86 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

$$= 0.00087 \text{ g de Mg.}$$

Comme : 40.31 g de MgO \longrightarrow 24.31 g de Mg

$X_{MgO} \longrightarrow 0.00087 \text{ g.}$

$$X_{MgO} = (40.31 \cdot 0.00087) / 24.31$$

$$= 0.00144 \text{ g de MgO.}$$

En Résumé :

1 ml de cette solution EDTA (13.289g/l) correspond à :

- 0.002 g = 2.00 mg de CaO.
- 0.00144 g = 1.44 mg de MgO.
- 0.00285 g = 2.85 mg de Fe_2O_3 .
- 0.00181 g = 1.81 mg de Al_2O_3 .

Calculs des titres de chaque oxyde :

Si : $T_{CaO} = \text{Titre} = 1 \longrightarrow$ Le volume de la solution EDTA est 60 ml nécessaire du dosage.

Si: $T_{CaO} \neq 1 \longrightarrow$ Le volume de la solution EDTA est V ml pour le dosage de CaO

On a: $1 \cdot 60 = T_{CaO} \cdot V \text{ ml} \longrightarrow T_{CaO} = 60 / V \text{ ml.}$

Ainsi:

- T_{CaO} (titre en CaO) = $60 / V \text{ ml.}$
- T_{MgO} (titre en MgO) = $(1.44 \cdot T_{CaO}) / 2 = 0.72 \cdot T_{CaO}$.
- $T_{Fe_2O_3}$ (titre en Fe_2O_3) = $(2.85 \cdot T_{CaO}) / 2 = 1.425 \cdot T_{CaO}$.
- $T_{Al_2O_3}$ (titre en Al_2O_3) = $(1.81 \cdot T_{CaO}) / 2 = 0.905 \cdot T_{CaO}$.

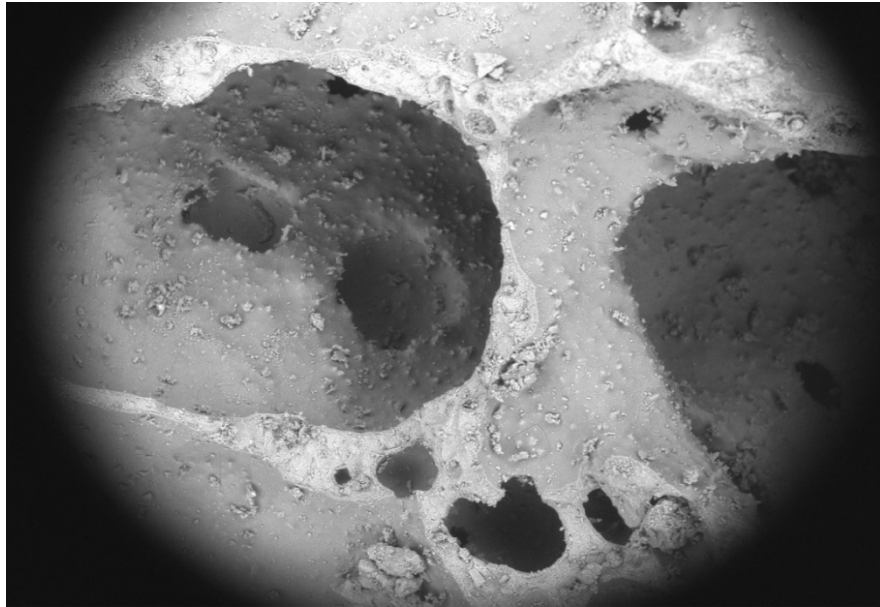
Donc le pourcentage des différents oxydes sont :

- ✓ % CaO = $T_{CaO} \cdot V_1$: Volume EDTA pour doser CaO.
- ✓ % MgO = $T_{MgO} \cdot (V_2 - V_1)$ avec V_2 : Volume EDTA pour doser MgO.
- ✓ % Fe_2O_3 = $T_{Fe_2O_3} \cdot V_3$ avec V_3 : Volume EDTA pour doser Fe_2O_3 .
- ✓ % Al_2O_3 = $T_{Al_2O_3} \cdot V_4$ avec V_4 : Volume EDTA pour doser Al_2O_3 .

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

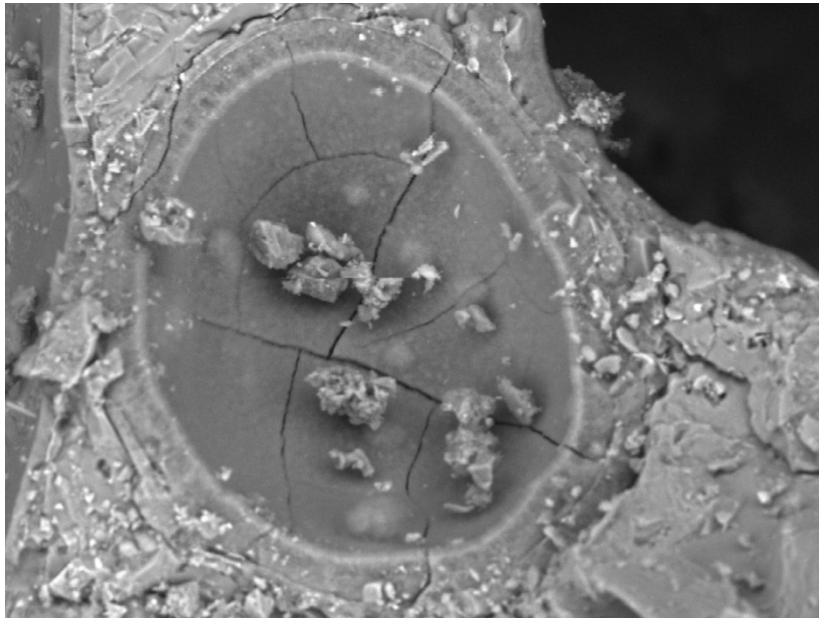
ANNEXE : III

Analyse par microscope électronique à balayage équipé d'un spectromètre à dispersion d'énergie des rayons X (EDX).



2013/04/25 11:48 L D4.7 x120 500 um

TM1000-0064-04-13

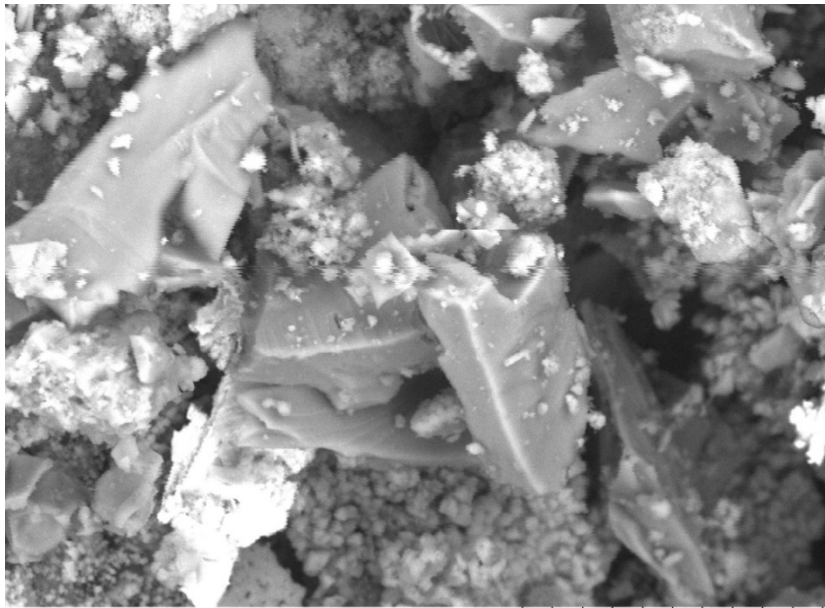


2013/04/25 11:38 L D4.5 x1.2k 50 um

TM1000-0060-04-13

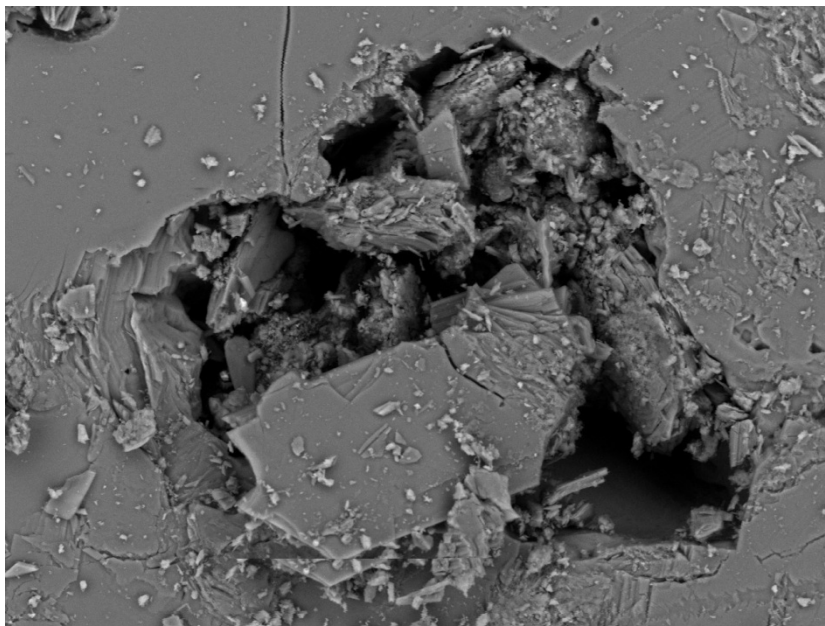
Figure A. 3.1 : La pouzzolane

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif



2013/06/12 10:09 L D5.8 x2.5k 30 um

TM1000-0047-06-13



2013/04/25 11:14 L D4.1 x1.0k 100 um

TM1000-0052-04-13

Figure A.3.2 : Le gypse

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Pouzzolane :

Détails de spectre

Projet Nouveau projet

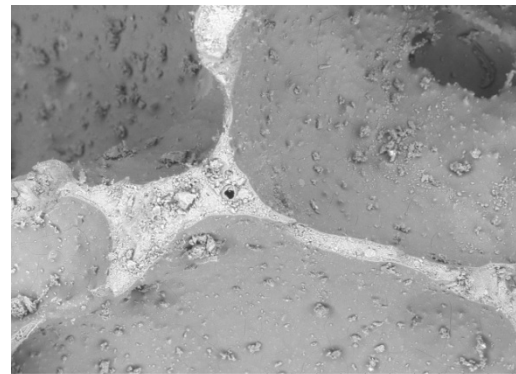
Nom du spectre Spectre 0063

Conditions d'acquisition

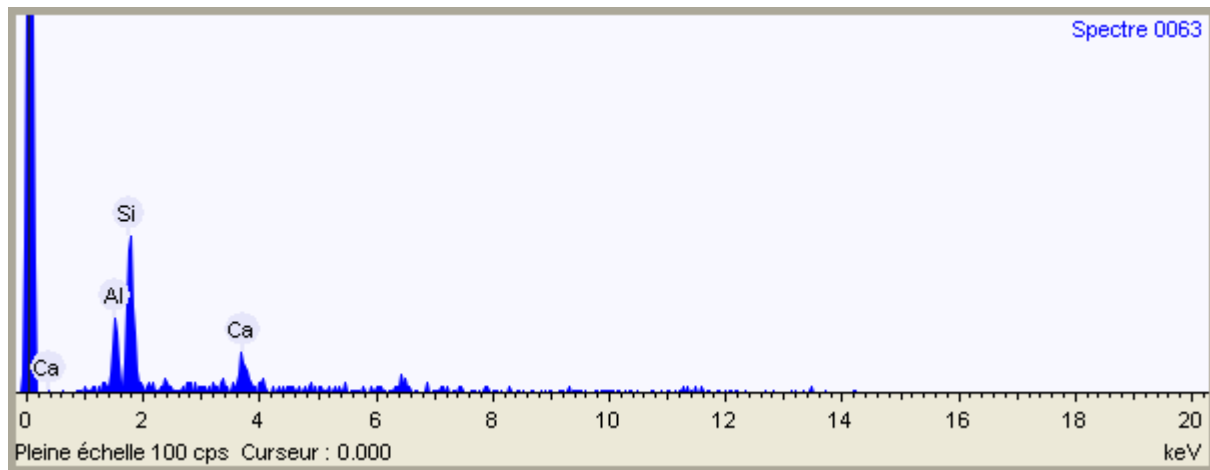
Temps d'acquisition 10.0

Temps de mise en forme 4

Tension d'accélération (kV) 15.0



2013/04/25 11:45 L D4.7 x200 500 um
TM1000-0063-04-13



Réglages de quantification

Méthode de quantification Tous les éléments (normalisés)

Résumé des résultats

Élément	% massique
Aluminium	23.2
Silicium	57.0
Calcium	19.8

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Gypse :

Détails de spectre

Projet Nouveau projet

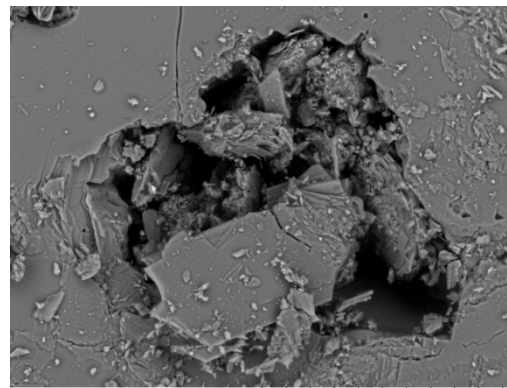
Nom du spectre Spectre 0057

Conditions d'acquisition

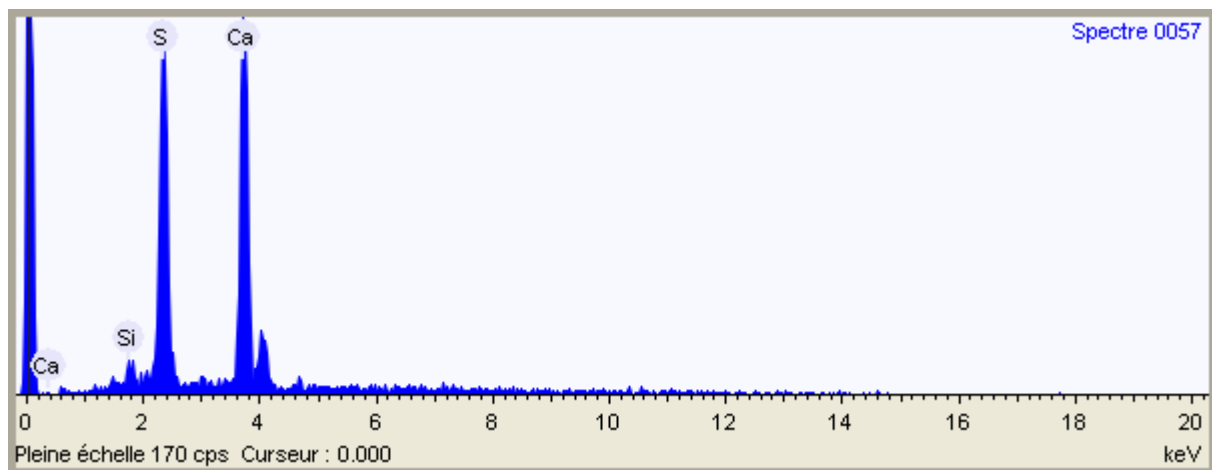
Temps d'acquisition 10.0

Temps de mise en forme 4

Tension d'accélération (kV) 15.0



2013/04/25 11:14 L D4.1 x1.0k 100 um
TM1000-0052-04-13



Réglages de quantification

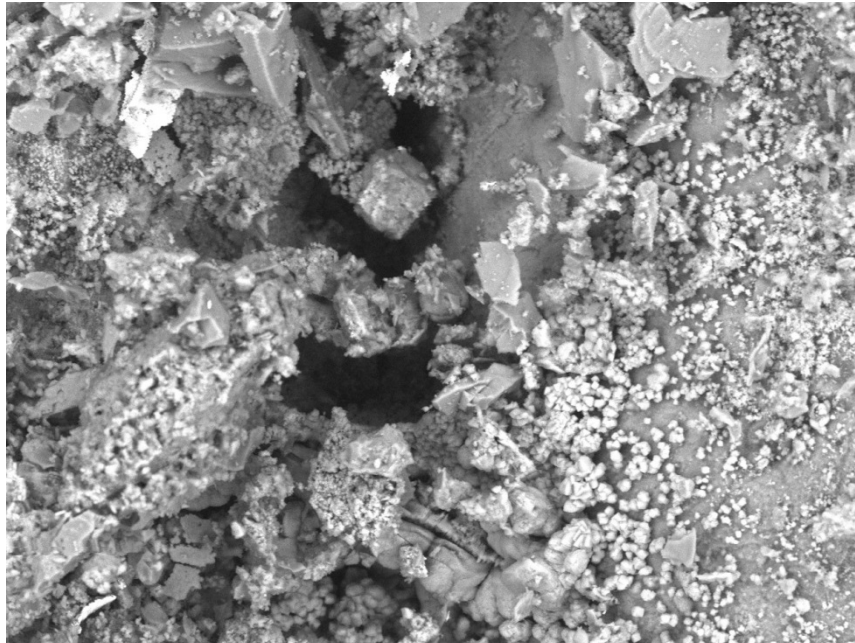
Méthode de quantification Tous les éléments (normalisés)

Résumé des résultats

Élément	% massique
Silicium	1.9
Soufre	34.8
Calcium	63.2

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

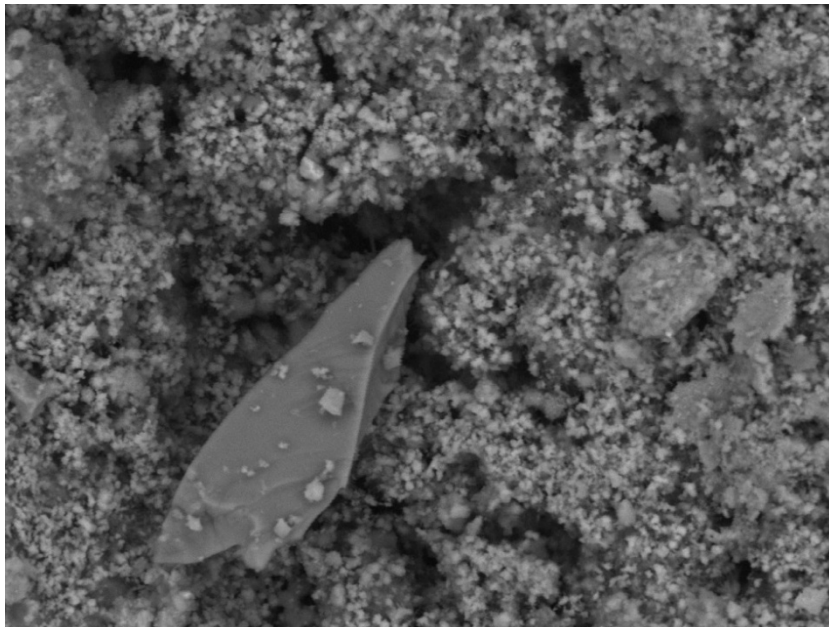
Les figures suivantes représentent l'analyse des échantillons (0%, 5%, 10%, 15% et 20%) en pouzzolane après 28 jours dans l'eau de mer.



2013/06/12 10:08 L D5.8 x1.0k 100 um

TM1000-0046-06-13

Figure.A.3.3 : Mortier à 0% en PZ



2013/06/12 10:24 L D7.9 x2.0k 30 um

TM1000-0050-06-13

Figure A.3.4 : Mortier de 5% en PZ

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

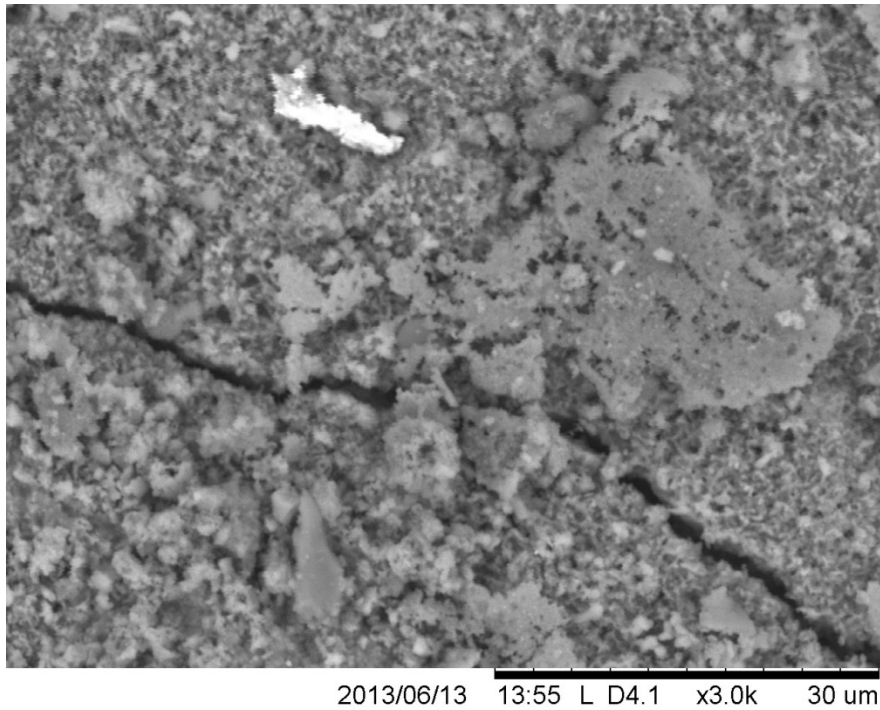


Figure A.3.5 : Mortier à 10 % en PZ.

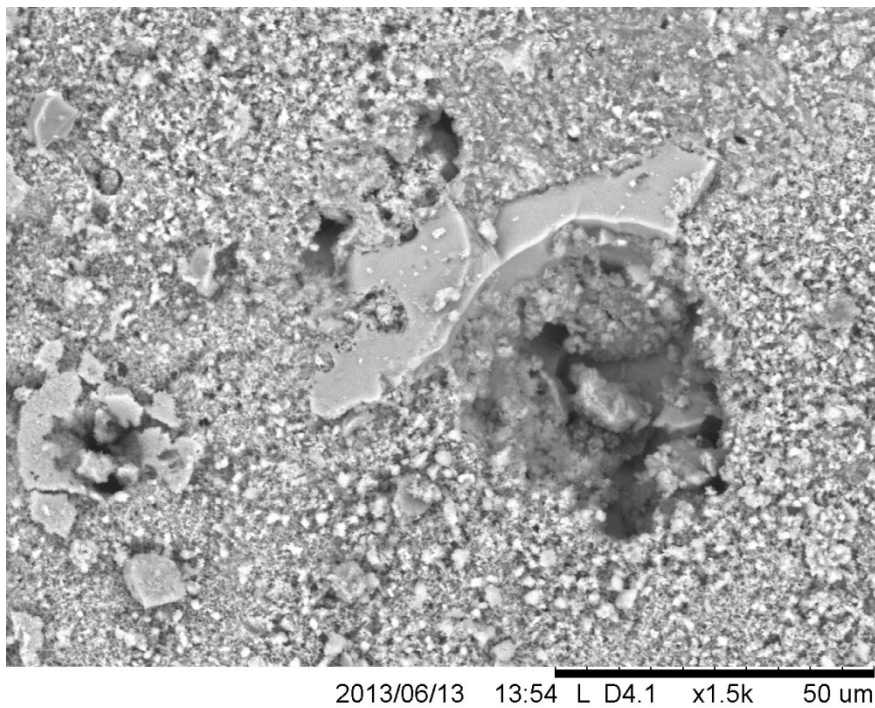


Figure A.3.6 : Mortier à 15% en PZ.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

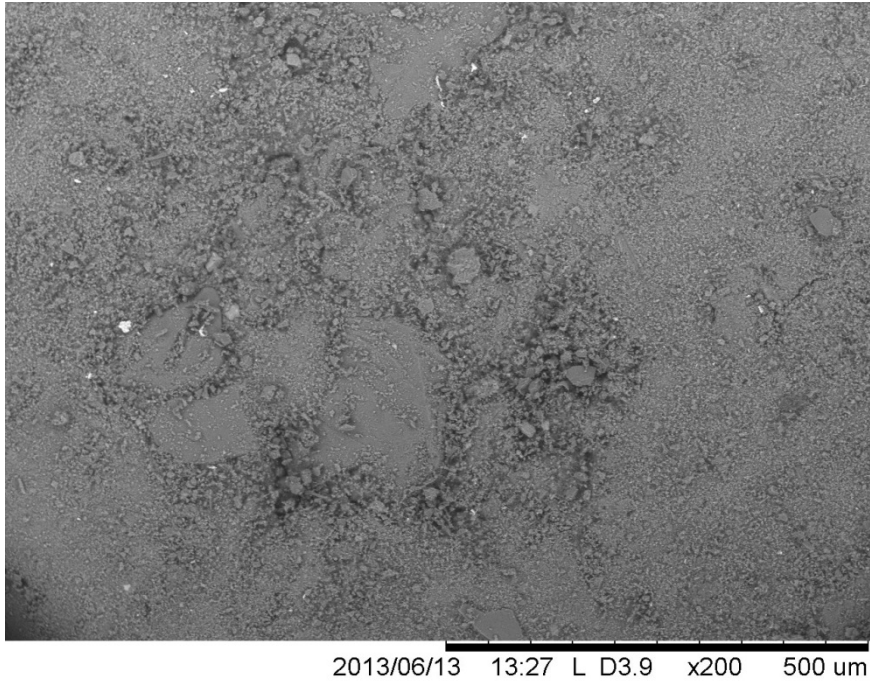


Figure A.3.7 : Mortier à 20% en PZ

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Ciment à 20% de Pz :

Détails de spectre

Projet Nouveau projet

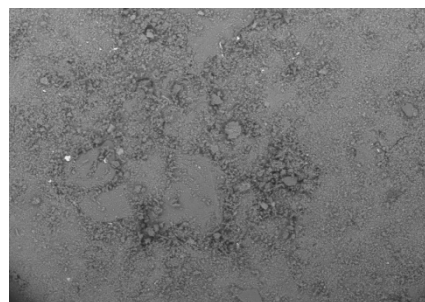
Nom du spectre Spectre 0058

Conditions d'acquisition

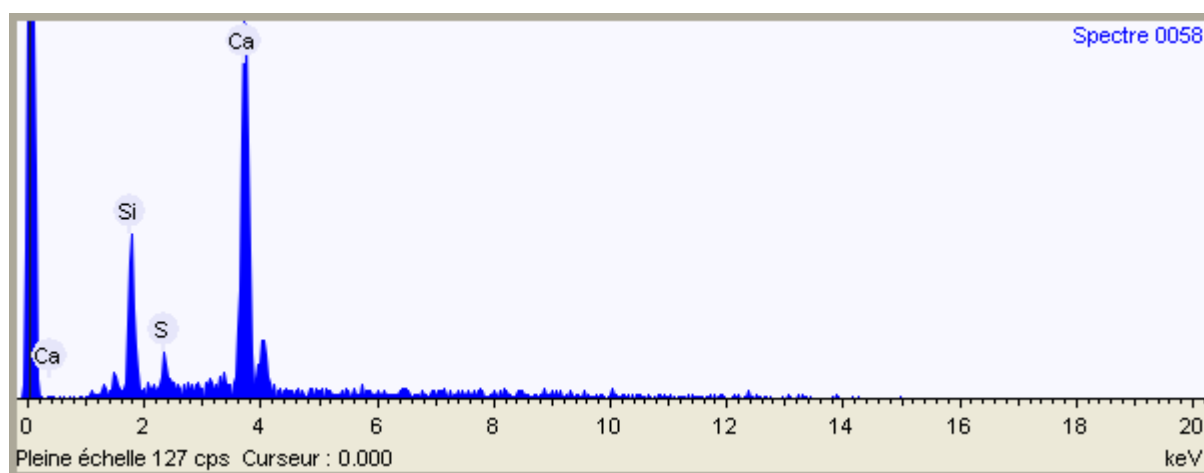
Temps d'acquisition 10.0

Temps de mise en forme 4

Tension d'accélération (kV) 15.0



2013/06/13 13:27 L D3.9 x200 500 um
TM1000-0058-06-13



Réglages de quantification

Méthode de quantification Tous les éléments (normalisés)

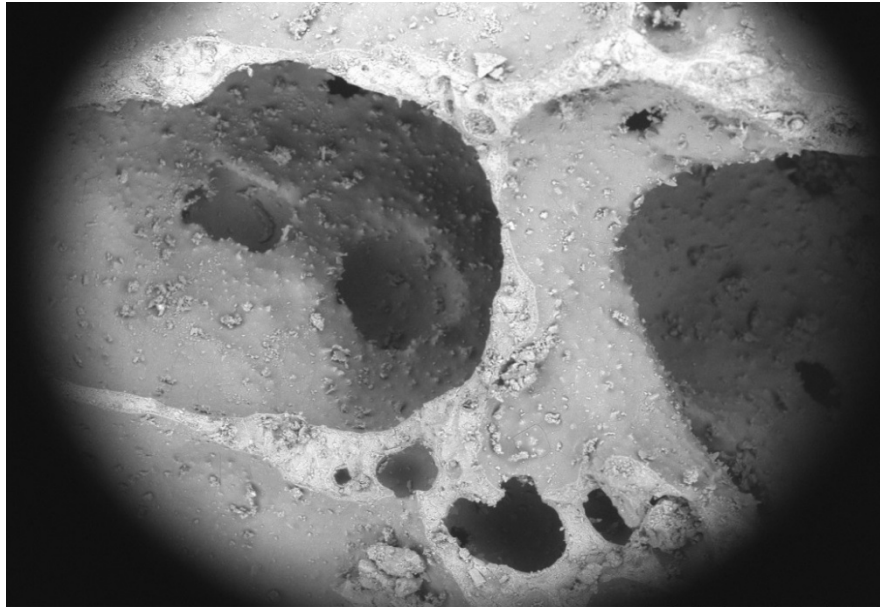
Résumé des résultats

Élément	% massique
Silicium	17.3
Soufre	3.5
Calcium	79.1

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

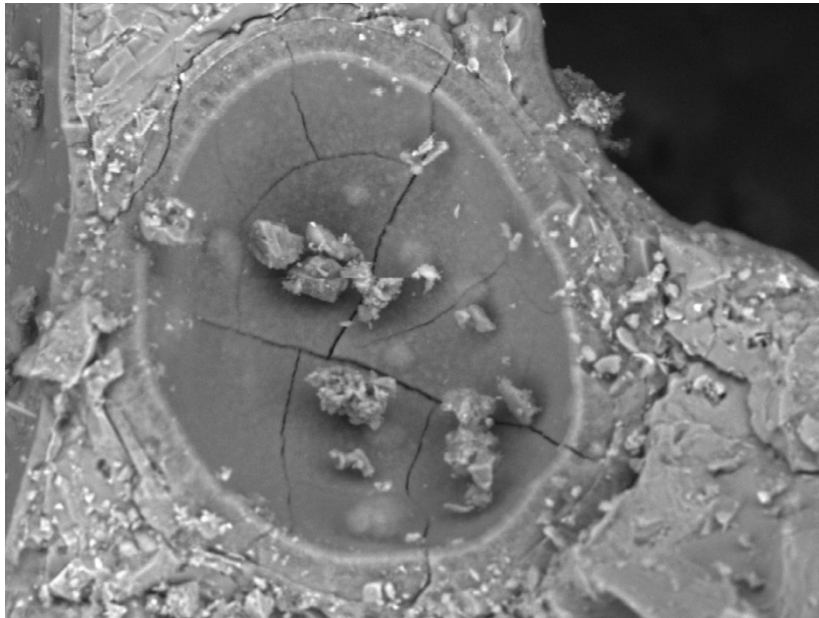
ANNEXE : III

Analyse par microscope électronique à balayage équipé d'un spectromètre à dispersion d'énergie des rayons X (EDX).



2013/04/25 11:48 L D4.7 x120 500 um

TM1000-0064-04-13

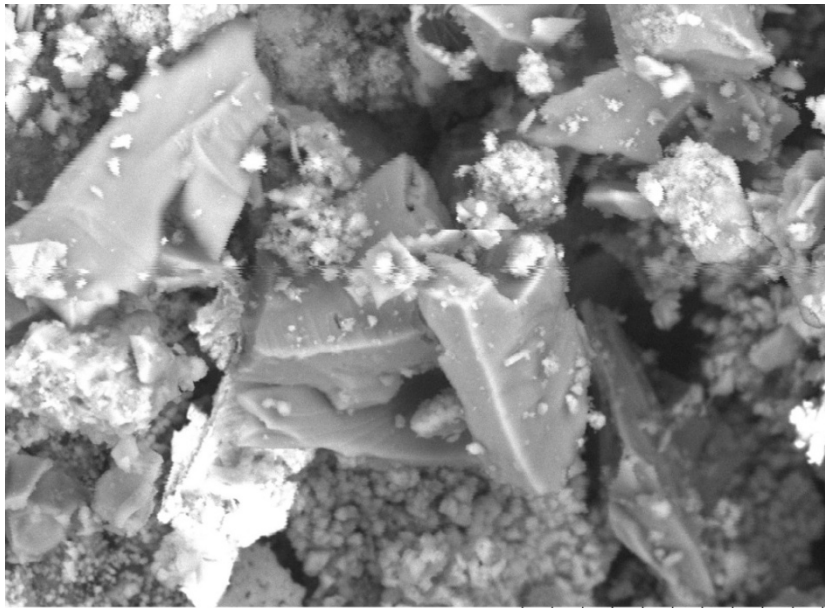


2013/04/25 11:38 L D4.5 x1.2k 50 um

TM1000-0060-04-13

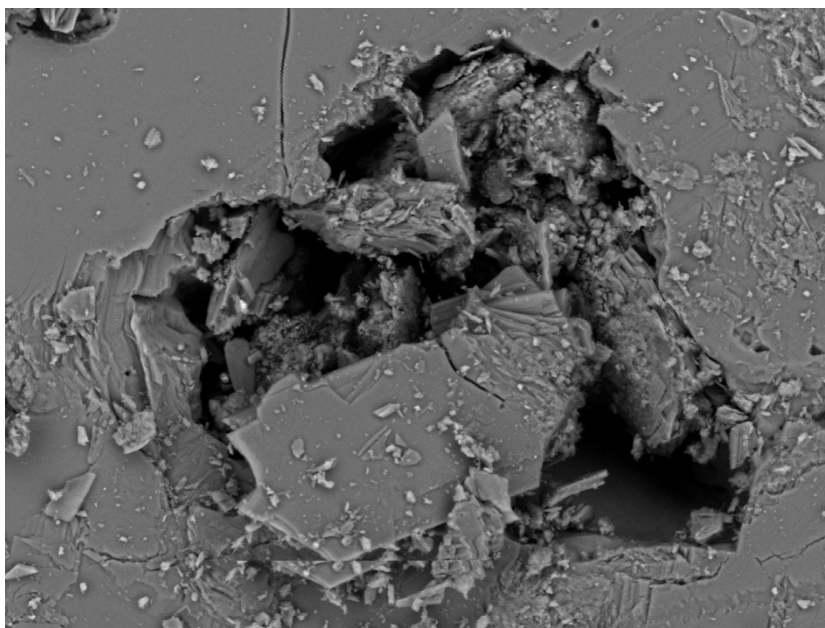
Figure A. 3.1 : La pouzzolane

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif



2013/06/12 10:09 L D5.8 x2.5k 30 um

TM1000-0047-06-13



2013/04/25 11:14 L D4.1 x1.0k 100 um

TM1000-0052-04-13

Figure A.3.2 : Le gypse

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Pouzzolane :

Détails de spectre

Projet Nouveau projet

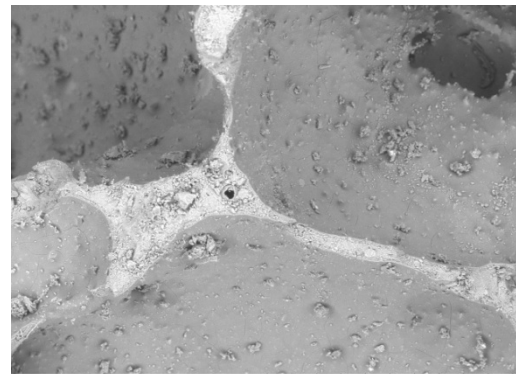
Nom du spectre Spectre 0063

Conditions d'acquisition

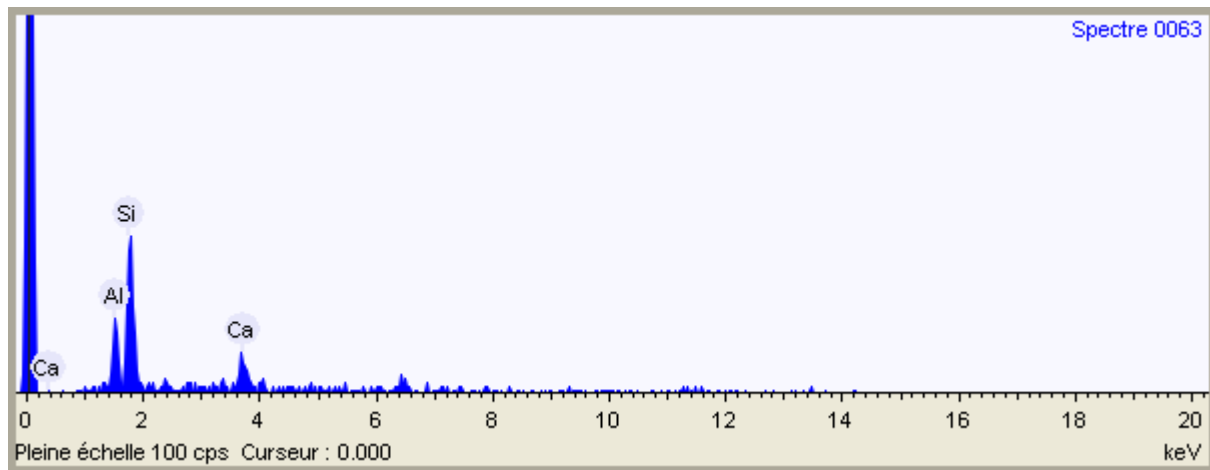
Temps d'acquisition 10.0

Temps de mise en forme 4

Tension d'accélération (kV) 15.0



2013/04/25 11:45 L D4.7 x200 500 um
TM1000-0063-04-13



Réglages de quantification

Méthode de quantification Tous les éléments (normalisés)

Résumé des résultats

Élément	% massique
Aluminium	23.2
Silicium	57.0
Calcium	19.8

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Gypse :

Détails de spectre

Projet Nouveau projet

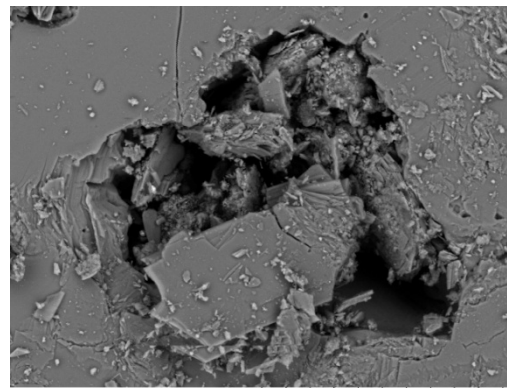
Nom du spectre Spectre 0057

Conditions d'acquisition

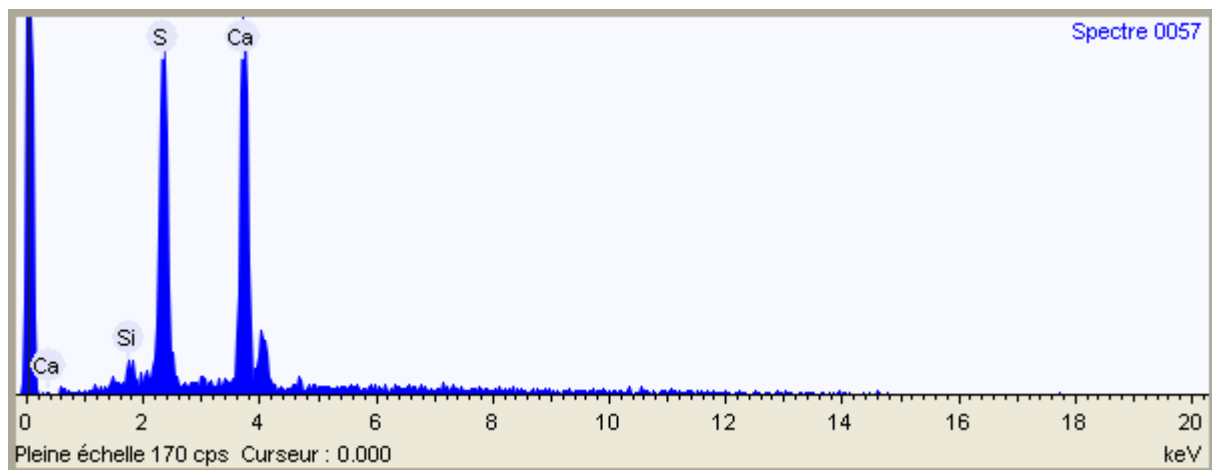
Temps d'acquisition 10.0

Temps de mise en forme 4

Tension d'accélération (kV) 15.0



2013/04/25 11:14 L D4.1 x1.0k 100 um
TM1000-0052-04-13



Réglages de quantification

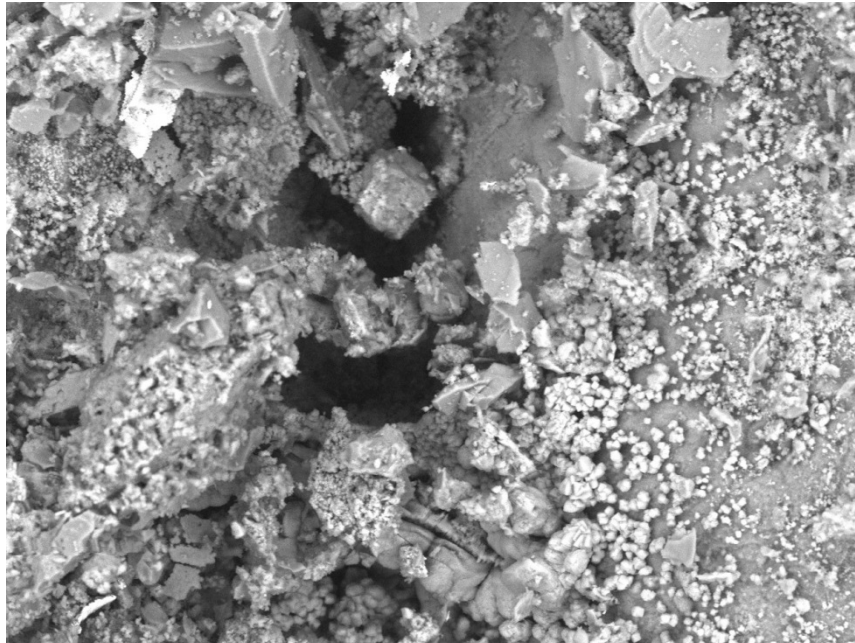
Méthode de quantification Tous les éléments (normalisés)

Résumé des résultats

Élément	% massique
Silicium	1.9
Soufre	34.8
Calcium	63.2

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

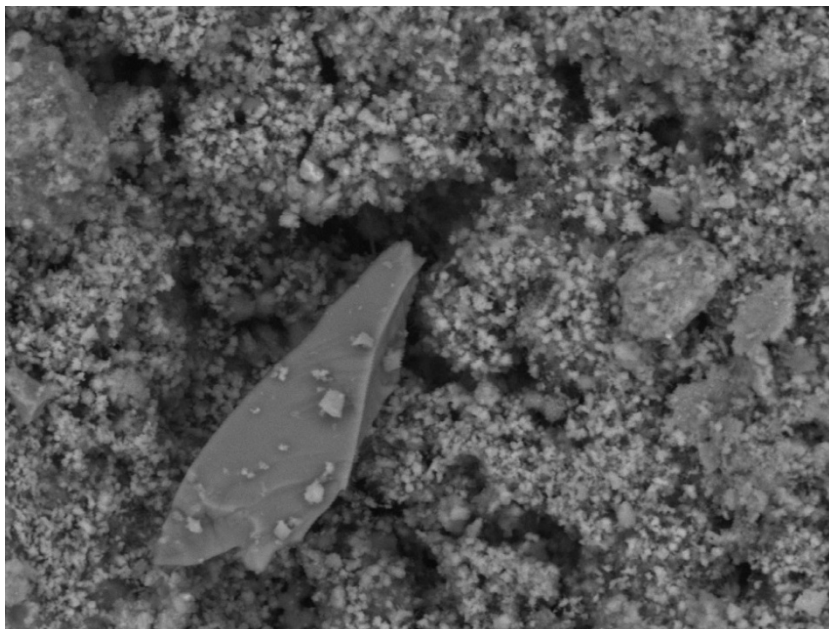
Les figures suivantes représentent l'analyse des échantillons (0%, 5%, 10%, 15% et 20%) en pouzzolane après 28 jours dans l'eau de mer.



2013/06/12 10:08 L D5.8 x1.0k 100 um

TM1000-0046-06-13

Figure.A.3.3 : Mortier à 0% en PZ



2013/06/12 10:24 L D7.9 x2.0k 30 um

TM1000-0050-06-13

Figure A.3.4 : Mortier de 5% en PZ

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

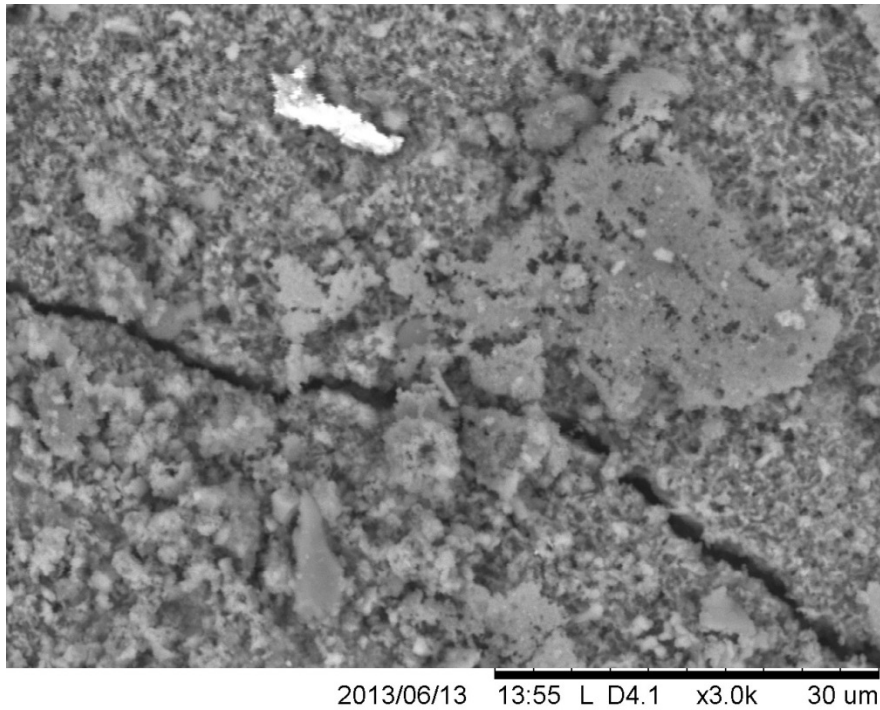


Figure A.3.5 : Mortier à 10 % en PZ.

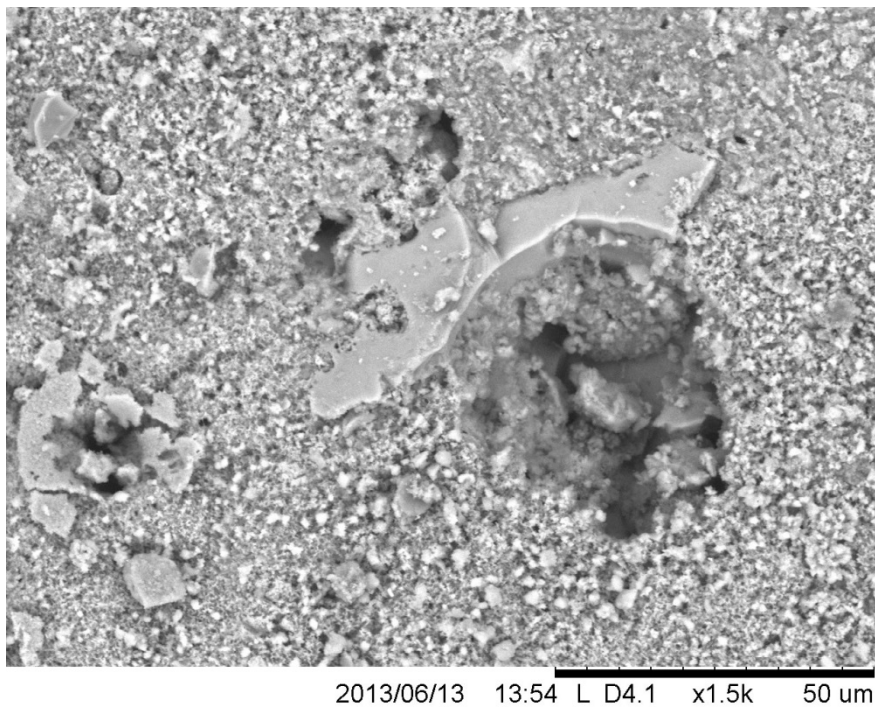


Figure A.3.6 : Mortier à 15% en PZ.

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

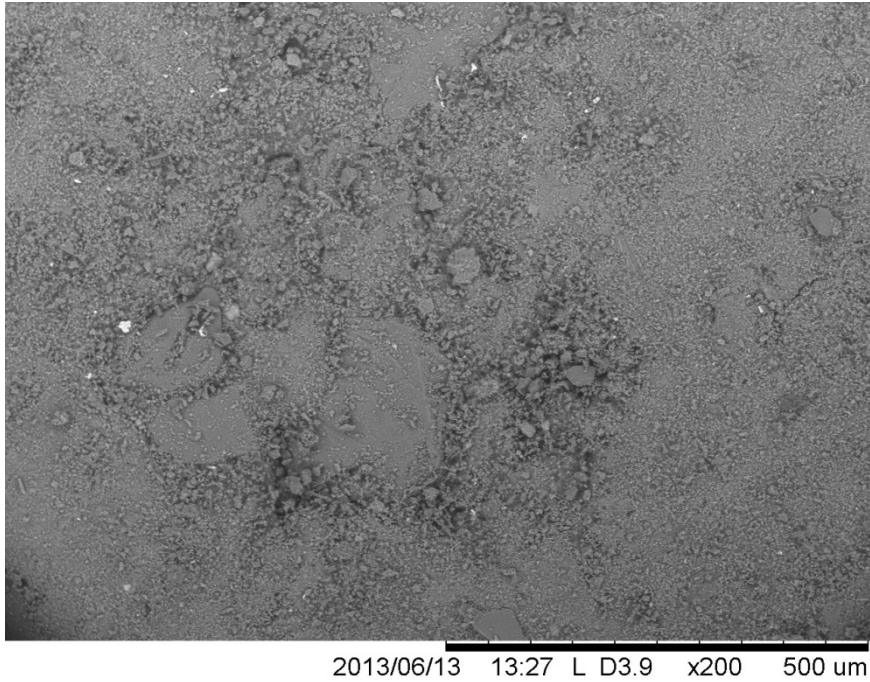


Figure A.3.7 : Mortier à 20% en PZ

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

Ciment à 20% de Pz :

Détails de spectre

Projet Nouveau projet

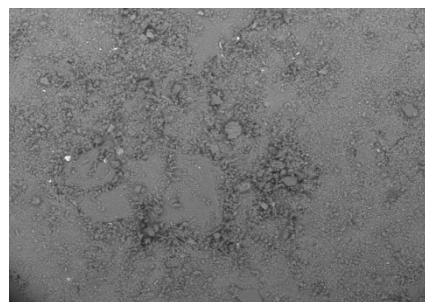
Nom du spectre Spectre 0058

Conditions d'acquisition

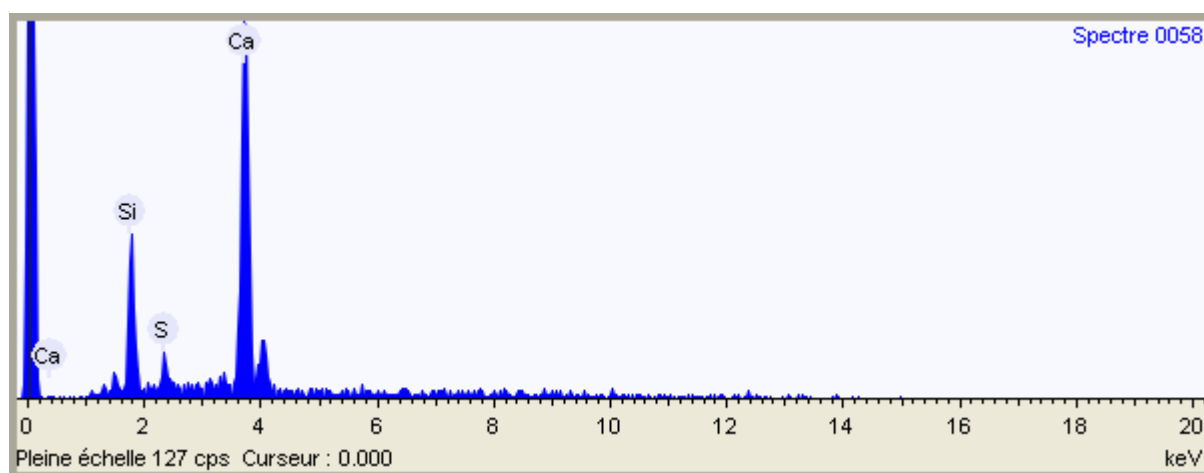
Temps d'acquisition 10.0

Temps de mise en forme 4

Tension d'accélération (kV) 15.0



2013/06/13 13:27 L D3.9 x200 500 um
TM1000-0058-06-13



Réglages de quantification

Méthode de quantification Tous les éléments (normalisés)

Résumé des résultats

Élément	% massique
Silicium	17.3
Soufre	3.5
Calcium	79.1

Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif

ANNEXE : IV

Tableau A4.1 : Valeurs de la résistance à la compression des classes de ciments.

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

(*) La lettre R indique que le ciment a une résistance élevée au jeune âge.

Tableau A4.2 : Temps de début de prise des ciments.

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

**Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé
à la pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif**

ANNEXE V

LES ATTESTATIONS

ATTESTATION

Nous soussignés attestons que . . . N. NERBA . . .

A participé au 1^{er} séminaire national "Santé & Environnement" organisé à
l'EHU d'Oran les 9 et 10 juin 2013

avec la communication

Orale

Affichée

Intitulée . . .

Valorisation des Ressources naturelles . . .
Cours de la Poulg3 elane . . .

Co-auteurs . . .

B. BELHACHEMI . . .

Directeur de l'EHUO

Président du comité
scientifique

P/APM

رئيس المجلس الشعبي الولائي
أعضاء: كازي تاني عبد الحق

Le Directeur Général

Le Directeur Général

P. N. MIDOUN
E. H. U. ORAN

EVALUATION DU STAGE PRATIQUE

EFFECTUE PAR : MEZERAI NAIMA

Année Universitaire : 2012/2013

Spécialité : Master II en Chimie -Physique Analytique.

Durée du stage : 10 jours

ETAPES DU STAGE :

- Présentation de la station de dessalement ;
- Présentation du laboratoire (Mission et objectif);
- Description du matériel ;
- analyses physico-chimiques (TP);
- Interprétation des résultats ;
- Elaboration d'un rapport de stage.

APPRECIATION :

	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
Discipline	✓			
Assiduité	✓			
Connaissances Théoriques		✓		
Connaissances pratiques		✓		
Initiative		✓		

REMARQUE :
ETUDIANTE DISCIPLINEE ET COMPETENTE

NOTE : 18/20

Visa Chef Laboratoire

Mme W. BELACHOU



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU
EP ALGERIENNE DES EAUX
ZONE D'ORAN
UNITE DE TLEMSEN



وزارة الموارد المائية
الجزائرية للمياه
منطقة وهران
وحدة تلمسان

تلمسان في: 2013/06/13

المرجع: 31...م ت / د م ب / و ت / 2013

شهادة تربص

نحن، مديرية الجزائرية للمياه منطقة وهران وحدة تلمسان نشهد أن:

السيدة(ة): مزرعي نعيمة

ب: هنين - تلمسان -

المولود(ة): 1990/01/27

قد تربصت في مصالحننا بالمخبر من 2013/05/22 إلى 2013/05/24

سلمت هذه الشهادة لإستعمالها في حدود ما يسمح به القانون.

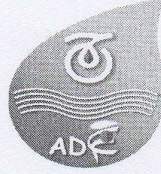
رئيس قسم الموارد البشرية

عبد الرحيم عطية

رئيسة المخبر

فحيمة حليلة

لا تسلم إلا نسخة واحدة فقط



Chabet El Leham Le 04/04/2013

EVALUATION DU STAGE PRATIQUE

Effectué par : MEZERAI NAIMA

Année Universitaire : 2012/2013

Spécialité : Master II en Chimie –Physique Analytique.

Durée du stage : 10 jours

Etapes du stage :

- Présentation du laboratoire (Mission et objectif);
- Description du matériel ;
- analyses physico-chimiques (TP);
- analyses bactériologiques (TP) ;
- Interprétation des résultats ;
- Conclusion.

Appréciation :

	Excellent	Bon	Moyen	Mauvais
Discipline	✓			
Assiduité	✓			
Connaissances Théoriques		✓		
Connaissances pratiques		✓		
Initiative		✓		

Remarque :

Etudiante disciplinée et compétente

Note : 18/20

Visa du Chef de laboratoire



رئيس المخبر
ك. عمر بن صابير