



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : M'sibih Tahar et Soudani Brahim

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie Civil.

OPTION : Matériaux En Génie Civil

Thème

**Etude de l'effet de cure et d'adjuvant
sur le comportement mécanique des mortiers
à base du sable calcaire en ambiances arides**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Benabed Benchaa	MCA	Président
Gotteicha Messaouda	MAA	Examineur
Bendjillali Khadra	MCA	Encadreur

Promotion: Mai 2018

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu DIEU Miséricordieux qui nous a donné la volonté et la patience pour achever ce travail et nous félicitons tous à l'occasion du mois sacré du Ramadhan 1439h.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos vifs remerciements à notre promotrice Mme. BENDJILLALI Khadra pour sa simplicité, son entière disponibilité et ses conseils.

Nous remercions également les membres de jury, Mr BENABED Benchaa, Maitre de Conférences à l'université de Laghouat et Mme. GOUTAICHA Messaouda, Maitre Assistante à l'université de Laghouat pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à tout le cadre administratif du département de Génie Civil de l'Université de Laghouat.

Nous remercions également le personnel du Laboratoire de Génie Civil qui a participé à la réussite de ce travail.

Enfin, nous adressons nos grands remerciements à nos familles qui ont toujours été présents lorsque nous avons besoin d'eux.

إهداء

أهدي هذا العمل المتواضع الذي من خلاله أريد إثراء المكتبة الجزائرية ولو بجزء بسيط من المعلومات في مجال الهندسة المدنية إلى:

- روح أمي الغالية رحمها الله وأسكنها فسيح جنانه.
- والدي العزيز أطال الله في عمره و أمدّه بالتقوى والعافية.
- زوجتي وأبنائي الذين تحملوا انشغالي عنهم .
- إخواني وأخواتي حفظهم الله و كل العائلة والأقارب .
- الدكتورة بن جيلالي خضرة التي أشرفت على هذا المشروع من خلال توجيهاتها القيمة والسديدة.
- الصديق الوفي طاهر مصيبيح .
- أصدقاء العمل بثانوية رابح بركاتي .
- كل أساتذة و عمال قسم الهندسة المدنية جامعة عمارثليجي
- الإخوة والأخوات طلبة السنة الثانية ماستر مواد الهندسة المدنية 2018

إبراهيم سوداني

إهداء

جميلة هي الكلمات حين نحسن وضعها
وجميلة هي الحياة حين نحسن إدارتها
إلى روح والداي الكريمين تغمدهما الله بواسع مغفرته ورحماته وأدخلهما جنته مع
النبيين والصديقين والشهداء والصالحين وحسن أولئك رفيقا
إلى جميع أفراد عائلتي الكبيرة والصغيرة وأخص بالذكر زوجتي وأبنائي الذين تحملوا
غيابي عنهم خلال فترة الدراسة.

إلى من علمونا معنى الحياة بقول رائدهم: بل أنتم روح يسري في هذه الأمة
إلى كل من وقف بجانبنا وساندنا للعودة لمقاعد الدراسة والتعليم في أي مستوى كان
وفي أي موقع تواجد خصوصا أساتذتي ومؤطري هذه المذكرة الأستاذة "بن جيلالي
خضرة"

إلى أسرة جامعة عمارثليجي بالأغواط بجميع طواقمها وخاصة كلية الهندسة المدنية
من أساتذة وإداريين وأعوان مخبر الهندسة المدنية
إلى حماة الوطن وبناته ورافعي مجده بين الأمم لنعيش نحن في عزة وكرامة.
إلى الإخوة والأخوات طلبة السنة الثانية ماستر مواد الهندسة المدنية دفعة 2018
إلى من كانوا بجواري دائما إخوتي "خلفي محمد وعراضي جمال ومقدم بكار"
إلى الأستاذ الفاضل سوداني إبراهيم الذي اختار رفقتنا لمواصلة المسار
إلى أسرة معهد الشيخ حسين زاوية لتكوين موظفي قطاع التربية بالأغواط
أهدي هذا العمل المتواضع

طاهر مصيبيح

Liste d'abréviations et symboles

C₃S : Silicate tricalcique : $3\text{CaO},\text{SiO}_2$.

C₂S : Silicate bicalcique : $2\text{CaO},\text{SiO}_2$.

C₃A : Aluminate tricalcique : $3\text{CaO},\text{Al}_2\text{O}_3$.

C₄AF : Alumino-ferrite tétracalcique : $4\text{CaO},\text{Al}_2\text{O}_3,\text{Fe}_2\text{O}_3$

C-S-H : Hydrates de Silicates de Calcium.

d : Diamètre du plus petit granulat.

D : Diamètre du plus gros granulat.

E/C : Rapport eau sur ciment.

C/S : rapport ciment sur sable

ρ_a : Masse volumique apparente en g/cm^3 .

ρ_s : Masse volumique absolue g/cm^3 .

ES_v : Equivalent de sable visuel.

ES_p : Equivalent de sable au piston.

HR : Humidité relative.

F: Charge de rupture en Kgf.

F_c : Charge de rupture en Kgf.

L : Distance entre appuis égale à 100mm.

b : Coté de la section carré de l'éprouvette prismatique égal à 40mm

R_e :est la résistance du mortier conservé dans l'eau (mode 2).

R_s: la résistance du mortier exposé au sulfate (mode 4).

λ_c : **c**'est le taux de variation de la résistance à la compression.

λ_f : est le taux de variation de la résistance à la flexion.

A : Section de l'éprouvette en m^2 .

R_{cu} : la somme des refus cumulés [g]

E/C : rapport massique ou volumique eau / ciment

HR : humidité relative.

SSB : surface spécifique de Blaine (cm^2/g).

A_m : Coefficient d'absorption massique

M_s : Masse des grains solides

Volume total du matériau

V_s : Volume des grains solides

M_i : mortier de ciment de
rapport E/C = i

M_f : module de finesse

Air l : conservation des éprouvettes d'un mortier sans adjuvant à l'air libre sans cure .

Immersion : conservation des éprouvettes dans l'eau .

J m : conservation des éprouvettes dans une toile de jute mouillée.

F P : conservation des éprouvettes dans un film plastique blanc et imperméable .

Arr : conservation des éprouvettes à l'air libre avec arrosage homogène à 08h :30 et 16h:00.

PC :conservation à l'air libre des éprouvettes curées par un produit de cure (medacure).

Adj air : conservation à l'air libre des éprouvettes adjuvantes .

Labo :conservation dans une chambre contrôlé des éprouvettes adjuvantes.

Table des matières

Résumé	
Remercîment	
Dédicace	
Listes des Tableaux	
Listes figures	
Listes des photos	
Listes d'abréviations	
Introduction générale	1

Chapitre I : Recherche Bibliographique

I.1 Introduction	3
I.2 Le béton en climat chaud et nécessité de cure	3
I.2.1 Conditions climatiques d'un climat chaud	
I.2.1.1 La température de l'air	4
I.2.1.2 L'humidité de l'air	4
I.2.1.3 Le vent	4
I.2.1.4 Les radiations solaires	4
I.2.1.5 L'évaporation	4
I.2.2 Régime aride (saharien)	5
I.2.3 Effet des conditions climatiques sur le béton	
I.2.3.1 A l'état frais	5
a. Hydratation du ciment	6
b. Différent types d'eau dans la pâte du ciment	7
c. Rapport Eau/Ciment	8

I.2.3.2 A l'état durci	
a. Résistance mécanique	9
b. Phénomènes accompagnés le durcissement du béton	9
I.2.4 Le traitement de cure du béton	9
1.2.4.1. La durée de cure	10
I.2.4.2 Le Produit de cure	11
I.3. Les adjuvants	12
I.3.1 Définition	12
I.3.2 Mode d'action	12
I.3.3 Fonctions	13
I.3.4 Les plastifiants et superplastifiants	13
I.3.4.1 Mode d'action	13
I.3.4.2 Classification	13
a. Les plastifiants-réducteurs d'eau	13
b. Les super plastifiants-haut réducteur d'eau	14
c. Autres superplastifiants	14
I.3.4.3 Condition d'addition de superplastifiant dans le béton	14
I.3.5 Les retardateurs	14
I.3.5.1 Mode d'action	14
I.3.5.2 Domaine d'utilisation	15
I.3.6 Les entraîneurs d'air	15
I.4 Choix de matériaux	15
I.4.1 Le sable de concassage	16

Chapitre II : Matériaux & Protocoles Expérimentaux

II.1 Introduction	17
II.2 Essais de caractérisation des matériaux	
II.2.1 Essais sur sable calcaire	17
a. Masse volumique apparente	17
b. Masse volumique absolue	17
c. Analyse granulométrique	18
d. Module de finesse	18
e. Coefficient d'uniformité	18
f. Coefficient de courbure	19
g. Essais de propreté	
✓ Equivalant du sable	19
✓ Blue de méthylène	20
h. Coefficient d'absorption du sable	20
i. Analyse minéralogiques du sable	22
II.2.3. Résultats des essais réalisés sur le sable	22
II.2.2.4 Résultats des essais réalisés sur le ciment	24
II.2.2.5 Eau de gâchage	25
II.2.2.6 Adjuvant	27
II.3 Mortier	

II.3.1 Composition de mortier	27
II.3.2 Essai au maniabilimètre B	28
II.3.3 Mode de préparation des mortiers et confection des éprouvettes	29
II.3.4 Conservation et cure des éprouvettes	30
II.4. Essais réalisés sur le mortier durci	
II.4.1 Essais mécaniques	32
II.4.1.1 Résistance à la flexion	32
II.4.1.2 Résistance à la compression	32

Chapitre III : Résultats expérimentaux et interprétations

III.1 Introduction	35
III.2 Climatologie de Laghouat	35
III.2.1 Température	35
III.2.2 Humidité relative	35
III.2.3 Précipitons	35
III.2.4 Vent	35
III.3 Résultats des essais de maniabilité	36
III.4 Résultats Essais mécaniques	38
III.4.1 Résistance à la compression	41
III.4.1.1 Effet de milieux de conservation sur la résistance à la compression	41
III.4.1.2 Effet du milieu de conservation sur la résistance à la compression à 28 jours.....	42
III.4.1.3 Effet de moyens de cure et d'adjuvant superplastifiant sur la résistance à la compression des mortiers conservés à l'air libre	43
A - Effet du type de cure	45
B - Effet d'adjuvant	45
III.4.2 Résistance à la flexion	47
III.4.2.1 Effet de milieux de conservation sur la résistance à la flexion	47
III.4.2.2 Effet du milieu de conservation sur la résistance à la flexion à 28 jours	48
III.4.2.3 Effet de moyens de cure et d'adjuvant superplastifiant sur la résistance à la flexion des mortiers conservés à l'air libre	49
A- Effet du type de cure	51
B -Effet d'adjuvant	51
Conclusion générale	53

Introduction générale

Introduction Générale

Laghouat est une ville qui se caractérise par une superficie étendue et une diversification de ces ressources naturelles et son climat. Elle connaît actuellement un développement énorme dans le domaine de construction, ce qui nécessite l'utilisation de plusieurs matériaux avec de grandes quantités. Dans cette opération importante non seulement du point de vue sociale mais aussi économique, il est nécessaire de ne pas négliger le côté environnemental. Donc, pour préserver notre environnement et nos sources naturelles, il faut maîtriser l'exploitation des divers matériaux de construction et d'ont trouvé d'autres pour les remplacer, comme l'emploi du sable calcaire à la place du sable alluvionnaire dans la fabrication des mortiers et des bétons. Cette tentative est pris en considération dans cette recherche.

Laghouat se caractérise par un climat aride, dans des telles conditions climatiques, notamment en été, le béton peut subir des problèmes de fissuration dus au taux important d'évaporation de l'eau de gâchage, particulièrement durant les premiers jours de sa mise en place. Afin maintenir la qualité du béton et d'assurer sa durabilité, le constructeur peut employer des techniques différentes de cure durant son durcissement et il peut aussi réduire le dosage en eau par l'introduction des adjuvants plastifiants ou superplastifiants.

Dans ce travail, on a étudié l'influence de la cure et d'adjuvant sur la résistance mécanique, à la compression et à la flexion du mortier à sable calcaire coulé et conservé dans une zone aride, , comme la ville de Laghouat.

Les modes de cure appliqués sont la toile de jute mouillée, le film plastique, l'arrosage avec l'eau, l'immersion dans l'eau et le produit de cure. On a examiné expérimentalement l'efficacité de chaque type de cure sur le comportement mécanique, par la mesure de la résistance à la compression et celle à la flexion, en fonction de l'âge des mortiers. Les résistances ont été mesurées par écrasement des éprouvettes (4x4x16cm³) à l'âge de 3, 7, 14, 21, 28 et 60 jours après une conservation à l'air libre sous des conditions climatiques réelles de température, d'humidité, d'ensoleillement et du vent de cette zone (zone aride). Une comparaison a été faite aussi entre les éprouvettes de mortier avec ou sans adjuvant placées dans le même environnement aride.

Le travail est composé d'une introduction générale, de (03) chapitres comme suit:

Introduction générale

- Un premier chapitre comportant une étude théorique et bibliographique sur les effets des conditions climatiques sur le comportement de béton et les différents moyens employés pour réduire ces effets.
- Un deuxième chapitre comportant une caractérisation des matériaux utilisés pour la confection des mortiers.
- Un troisième chapitre comportant une étude expérimentale établie sur la composition choisie pour la préparation des mortiers d'essai et les résultats obtenus avec interprétations possibles.
- Et d'une conclusion générale.



Chapitre I

Recherche Bibliographique

I.1 Introduction

Une bonne partie de la superficie d'Algérie est caractérisée par un climat chaud et aride, qui affecte la qualité du béton et cause des problèmes et parfois mène à des retards dans la réalisation des projets de construction. La température et l'humidité de l'air, le vent et les radiations solaires sont les facteurs liés au climat qui influent d'une manière directe les propriétés du béton. Les constructeurs sont obligés dans des telles situations de prendre des précautions particulières pour prévenir tout risque dans l'avancement des projets en cours de réalisation. La cure du béton est parmi les moyens de précaution les plus efficaces.

Dans ce chapitre en va identifier les facteurs d'influence des climats chauds et les divers types de cure qui peuvent être appliqués pratiquement sur le terrain.

I.2 Le béton en climat chaud et nécessité de cure

Le béton est un matériau composé de granulats, d'un liant hydraulique (ciment) et d'un adjuvant, qui existe depuis environ 200 ans. La qualité et le potentiel du matériau béton dans la structure dépend bien sur, des matériaux de base (ciment, granulats, eau de gâchage, adjuvants), qui entrent dans la formulation mais également des opérations de malaxage, de mise en œuvre, de vibration et de cure. Le béton durci après hydratation et la vitesse de cette dernière dépend des conditions thermo-hygrométriques de la région d'utilisation du matériau (température, humidité, vent, ensoleillement). Il s'est aperçu que, si l'on voulait obtenir un ouvrage de qualité, qui dure dans le temps, il fallait prendre des précautions de mise en œuvre, et notamment appliquer une cure du béton (du latin cura, qui signifie «soin») sur le béton jeune. En effet, si l'on ne fait rien, l'eau nécessaire à la mise en œuvre du béton a tendance à s'évaporer pendant

la phase de durcissement. Cette évaporation est d'autant plus à craindre lorsqu'elle touche l'eau nécessaire à l'hydratation [1]. Il en résulte une dessiccation du béton, un retrait excessif, et au final un risque important de fissuration qui a des conséquences négatives du point de vue mécanique comme esthétique.

La cure est donc la procédure qui consiste à maintenir une humidité et une température favorables au durcissement du béton durant l'hydratation du ciment.

Le manque de cure peut engendrer une diminution de la résistance et une augmentation de la perméabilité [2, 3, 4] à cause d'une insuffisance d'hydratation, ce qui cause la fissuration [5]. Le manque de cure peut engendrer une diminution de la résistance et une augmentation de sa perméabilité.

I.2.1 Conditions climatiques d'un climat chaud

I.2.1.1 La température de l'air

L'un des principaux paramètres climatiques qui influe sur la pâte du ciment hydraté ou sur le béton est la température élevée qui dépasse 40°C, lorsque l'hygrométrie relative est faible 40% [6]. De telles conditions provoquent l'évaporation rapide de l'humidité, tout d'abord des couches superficielles ce qui entraîne un retrait irrégulier et par conséquent, la création d'un champ de contraintes de distribution complexes et d'intensité croissante avec l'âge qui ne sont pas sans effet sur le comportement mécanique dans la phase solide du matériau [7].

I.2.1.2 L'humidité de l'air

L'hydratation du ciment est une réaction lente et a besoin d'une ambiance humide pour s'achever, car l'évaporation contenue de l'eau du mélange suite à un transfert d'humidité (cas d'un milieu sec) peut entraîner la dessiccation du béton.

I.2.1.3 Le vent

Les effets de la vitesse élevée des vents influents tant sur le béton frais que sur le béton durci ne seront pas sous-estimés. Elles conduisent à une augmentation de l'évaporation de l'eau, ce qui entraîne une réduction de l'ouvrabilité du béton et des difficultés de compactage.

I.2.1.4 Les radiations solaires

Les hautes radiations solaires peuvent conduire à une augmentation de la température de matériaux et de matériels utilisés dans la production du béton, ce qui offre une haute température initiale du mélange. Les radiations solaires peuvent accélérer l'évaporation de l'eau à la surface du béton durant son durcissement, en provoquant ainsi la fissuration du retrait plastique et une altération de la durabilité à long-terme.

I.2.1.5 L'évaporation

L'évaporation de l'eau de la surface du béton est principalement due à la différence de la pression de vapeur entre le béton et l'air environnant. Elle peut être mesurée à l'aide d'un évaporimètre, qui permet de caractériser l'aptitude de l'atmosphère à prendre de l'eau ou à l'aide du diagramme de carrier, qui permet d'estimer la quantité d'eau théoriquement évaporable dans une situation de température et d'hygrométrie donnée [1]. Il est couramment admis qu'il y a danger lorsque l'évaporation d'eau est supérieure à 1l/m²/h pour les bétons en masse, et qu'une cure est alors nécessaire ; Les revêtements de faible épaisseur seront encore plus sensibles au phénomène d'évaporation [8].

I.2.2 Régime aride (saharien)

Le régime aride englobe la majorité du territoire Algérien. Il couvre une superficie de deux millions de Km², qui appartient au grand Sahara qui s'étend du Maroc à l'ouest en Libye à l'est. Le climat Saharien se caractérise avant tout par de très fortes variations de température. Entre le jour et la nuit, d'une part, l'amplitude peut dépasser 50°C, le refroidissement nocturne est très brusque aussitôt le soleil couché. Entre l'hiver et l'été, d'autre part, l'écart entre les moyennes de Janvier varie entre 25°C et 30°C environ. Les températures maximales en été dépassent 50°C dans l'ombre et descendent jusqu'à -6°C en hiver.

La sécheresse de l'air est très importante. Le Sahara est la région du monde qui possède le taux d'évaporation le plus fort. L'humidité relative de l'air est très basse en été atteignant les valeurs de 7 à 10% [7].

I.2.3 Effet des conditions climatiques sur le béton

I.2.3.1 A l'état frais

Dans la fabrication du béton, en effet, seul un quart de l'eau mise en œuvre est nécessaire pour provoquer la réaction chimique qui est à la base de la prise et du durcissement du béton, le reste appelé eau libre servant à obtenir la fluidité du matériau. Or l'eau libre pose des problèmes vis-à-vis du béton frais en provoquant des phénomènes d'essorage (remontée de l'eau), de ressuage (remontée des grains les plus fins à la surface), de ségrégation (perte d'homogénéité) et en perturbant les temps de prise et de séchage. Une grande quantité d'eau est également préjudiciable dans le béton durci, avec un risque de porosité (perméabilité à des agents chimiques pouvant l'attaquer) et une chute de la résistance du matériau puisque, comme le montre la loi de Féret-Bolomey, plus la quantité d'eau est importante dans le béton, moins celui-ci est résistant [9]. Les conditions du temps chaud influent sur les propriétés du béton frais de plusieurs manières:

- Une insuffisance de la réaction d'hydratation
- Une perte de SLUMP (diminution de l'affaissement du béton) conduisant à une forte demande en eau pour ouvrabilité constante.
- Une accélération de la vitesse de prise précipitant le durcissement.
- Une augmentation de ressuage favorisant ainsi l'accroissement du taux d'évaporation de l'eau de gâchage.

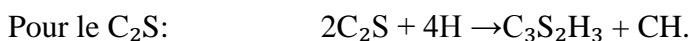
a. Hydratation du ciment

Le ciment Portland Ordinaire est un système multiphasique complexe et son hydratation regroupe plusieurs processus simultanés de dissolution/précipitation. Dès l'instant où le ciment est mis en contact avec l'eau de gâchage, les phases aluminates et silicates réagissent rapidement avec cette dernière pour former des hydrates bien moins solubles que ces phases. Néanmoins, malgré le fait que les premiers hydrates se forment quasiment immédiatement, l'hydratation peut se prolonger durant plusieurs années.

- **Hydratation des silicates**

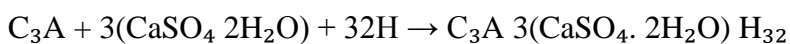
Au contact de l'eau, les silicates tricalciques (C_3S) et les silicates bicalciques (C_2S) se dissolvent sous forme d'ions Ca^{2+} , OH^- et $H_2SiO_4^{2-}$, qui interagissent entre eux et forment des silicates de calcium hydratés (C-S-H) et de la Portlandite $Ca(OH)_2$. Ces réactions sont exothermiques et peuvent servir de catalyseur à la réaction d'hydratation. Dans le cas du C_2S , la cinétique d'hydratation est plus lente et la quantité de la Portlandite formée est plus faible [10].

À titre indicatif, les équations des réactions d'hydratation des silicates peuvent s'écrire :



- **Hydratation des aluminates tricalciques C_3A**

L'aluminate tricalcique est le composé du ciment le plus réactif avec l'eau. C'est parce que l'hydratation des aluminates est très rapide que les cimentiers ajoutent du sulfate sous forme de gypse au clinker pour contrôler ces réactions [10]. La réaction est donnée par:



- **Hydratation de l'Alumino-ferrite-tétracalcique C_4AF**

Le C_4AF réagit avec le gypse avec un mode semblable que celui de C_3A , mais dans ce cas, la réaction est beaucoup plus lente.

Sur la figure (I.1) [11] est présentée une évolution schématique de l'avancement de l'hydratation du ciment en pâte dans l'eau en fonction du temps. Quatre étapes peuvent être mises en évidence.

1. Peu d'évolution.
2. Evolution rapide.
3. Evolution plus lente.
4. Evolution très lente.

Les conditions d'exploitation des bétons sont liées aux étapes caractéristiques de la cinétique d'hydratation du ciment Portland Ordinaire. La première étape correspond à la période d'ouvrabilité.

C'est la période durant laquelle les résistances mécaniques sont faibles et le béton reste ouvrable, c'est-à-dire que la mise en place de ce dernier est encore possible.

La seconde étape correspond à la période de prise du béton. Au cours de cet intervalle de temps le béton passe d'une consistance fluide à une consistance solide. Le temps de début de prise repère le moment où ce changement d'état s'accélère. Les résistances mécaniques augmentent au sein du matériau et passe par une valeur seuil minimale où le décoffrage du produit en béton peut être effectué [11].

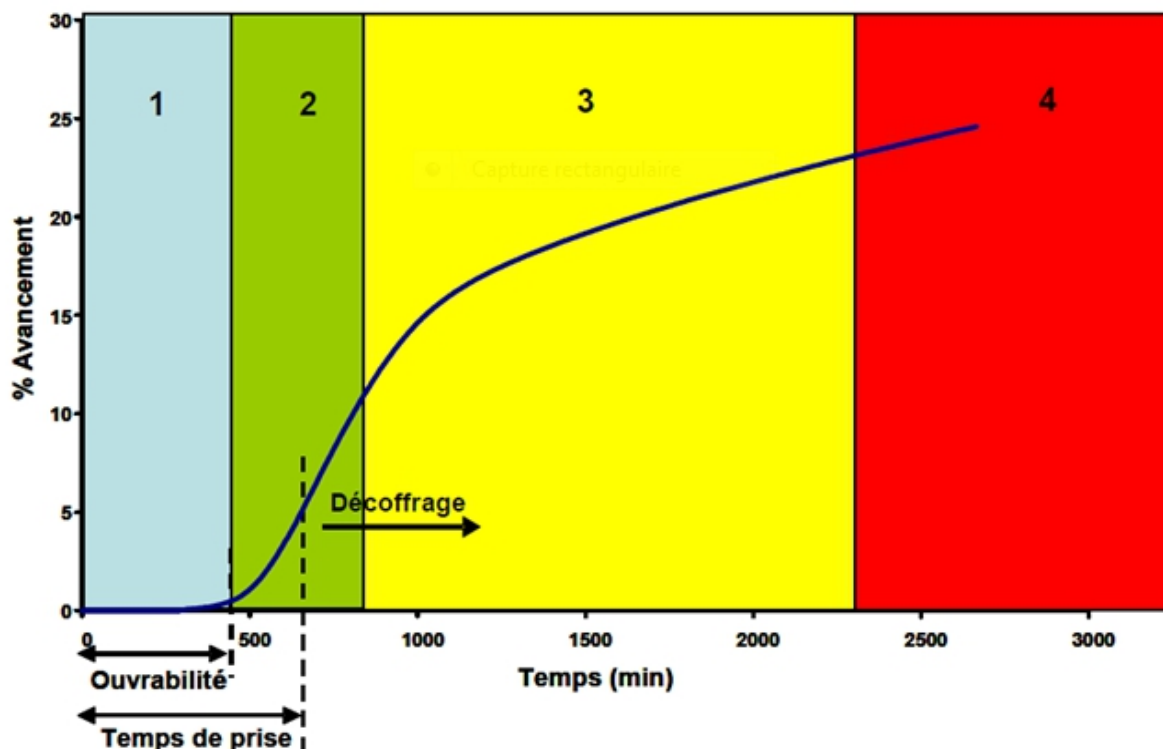


Figure I.1: Evolution schématique de l'hydratation du ciment Portland Ordinaire en fonction du temps [11].

b. Différent types d'eau dans la pâte du ciment

L'eau ajoutée au ciment anhydre pour donner un ciment hydraté, et permet la fluidification de la pâte. La quantité et la qualité d'eau de gâchage influent d'une façon importante sur la résistance du béton et la qualité finale. Elle ne doit pas contenir des quantités excessives de matières organiques ou inorganiques.

L'eau potable possède la qualité suffisante pour la fabrication du béton puisqu'elle contient généralement moins de 1000ppm (parties par million) de matières solides inorganique c'est à dire 0.05% de la masse de ciment pour un rapport E/C de 0.50. Dans certaines régions l'eau peut contenir

des chlorures et des sulfates mais elle peut être utilisée sans danger tant que la quantité de chlorures ne dépasse pas 500 ppm ou que la quantité de sulfates ne dépasse pas 1000ppm [12].

A la fin de la réaction d'hydratation, la structure poreuse de la pâte du ciment durcie contient trois sortes d'eau qui sont les suivants [13]:

- **Eau liée** : c'est l'eau qui peut être liée chimiquement, elle entre dans la composition chimique des hydrates. C'est ainsi que les silicates de calcium C_2S et C_3S s'hydrate en présence d'eau pour donner un produit final hydraté de type $C_3S_2H_3$. Très approximativement, il a été montré que l'eau liée chimiquement par le C_3S et le C_2S correspond respectivement à 24 et 21% de la masse de ces deux silicates. L'eau peut aussi être liée physiquement pour la constitution des hydrates.
- **Eau libre** : c'est l'eau qui n'a pas participé à la réaction d'hydratation du ciment, la grande finesse du ciment anhydre et la dimension très faible des pores du ciment hydraté font que cette eau est soumise à des forces de surface qui limitent ses possibilités de déplacement. L'eau libre est cependant susceptible de migrer à l'intérieur de la pâte de ciment et, dans certaines conditions, de s'évaporer.
- **Eau adsorbée** : c'est l'eau retenue par les forces superficielles des particules de gel est appelée eau adsorbée. L'eau adsorbée à la surface de solide est due aux forces électromagnétiques, qui agissent à la surface des grains, solidarisent sur une faible épaisseur (de 10 à 15 Å) les molécules d'eau avec la solide, réduisant leur mobilité.

c. Rapport Eau/Ciment

Le rapport Eau/Ciment exerce une grande influence sur la porosité de la pâte du ciment hydraté ; car il gouverne directement l'espacement initial entre les grains de ciment en suspension dans l'eau de gâchage. Supposons que l'on utilise une très grande quantité d'eau pour une très faible masse de ciment (E/C élevé). Les grains de ciment seront donc très éloignés les uns des autres et, après être complètement hydratés, il restera un surplus d'eau important, donc, une porosité capillaire très importante. La perméabilité du mortier ou du béton sera très grande et ses propriétés mécaniques seront très faibles. Inversement, si la quantité d'eau est très faible par rapport à la masse de ciment (E/C faible). Les grains de ciment sont très proche les uns des autres. Toute l'eau pourra réagir avec le ciment et il ne restera que très peu de porosité capillaire; La perméabilité du béton sera très faible et les propriétés du béton ou mortier seront très élevées [13].

I.2.3.2 A l'état durci

a. Résistance mécanique

Dans les zones chaudes et sèches, le béton est soumis dès son jeune âge à des températures très élevées accompagnées d'une évaporation intense. Le départ prématuré de l'eau de gâchage peut arrêter l'évolution de la réaction d'hydratation du ciment. Ce qui va affecter négativement la qualité des hydrates formés et par la suite va réduire la résistance mécanique, notamment à la compression [1]. Le béton dans ces milieux aura alors une grande tendance à la fissuration, et la protection du béton contre ces effets devient d'une importance pratique extrême [1].

b. Phénomènes accompagnés le durcissement du béton

- **Le tassement** est lié au ressuage et concerne principalement les bétons. Elle conduit à l'apparition de fissures larges et profondes.
- **Le gonflement** provient de la chaux ou de la magnésie libre contenue par certains ciments. Les normes NF P 15-317 et NF P 15-319 définissent les proportions de chaux et magnésie pour les différents types de ciments. Les ciments normalisés sont stables.
- **Le retrait** qui est un phénomène complexe était bien expliqué par Baron dans son ouvrage «Le béton hydraulique» [8]. On distingue:
- **Le retrait plastique avant prise** est la conséquence de l'évaporation de l'eau de gâchage. Il peut provoquer dans le béton frais exposé au soleil ou au vent et dont la résistance à la traction est pratiquement nulle des contraintes pouvant entraîner l'apparition de crevasses peu profondes mais d'ouverture supérieure à 1 millimètre.
- **Le retrait thermique** concerne principalement les pièces massives, il est dû à la contraction du matériau lors de son refroidissement.
- **Le retrait hydraulique** qui découle de la contraction du béton ou du mortier en séchant. Son importance par rapport au retrait plastique avant prise sera de 1 à 10.

I.2.4Le traitement de cure du béton

La cure du béton se fait par plusieurs moyens :

a/ Une cure par humidification par:

- Immersion, appelée cure à l'eau (pratiquée pendant longtemps).
- Mise en atmosphère saturé.

- Arrosage homogène à l'eau, renouvelé pendant plusieurs jours [9] et non utilisé par temps de gel.
- Mise en place de paillasons, nattes, toiles perméables (toile de jute) ou couche de sable ou terre maintenue humide (un procédé efficace, mais très astreignant et consommateur de main-d'œuvre).

b/ Une cure par protection temporaire de l'imperméable par:

- Maintien du coffrage pendant la durée de cure.

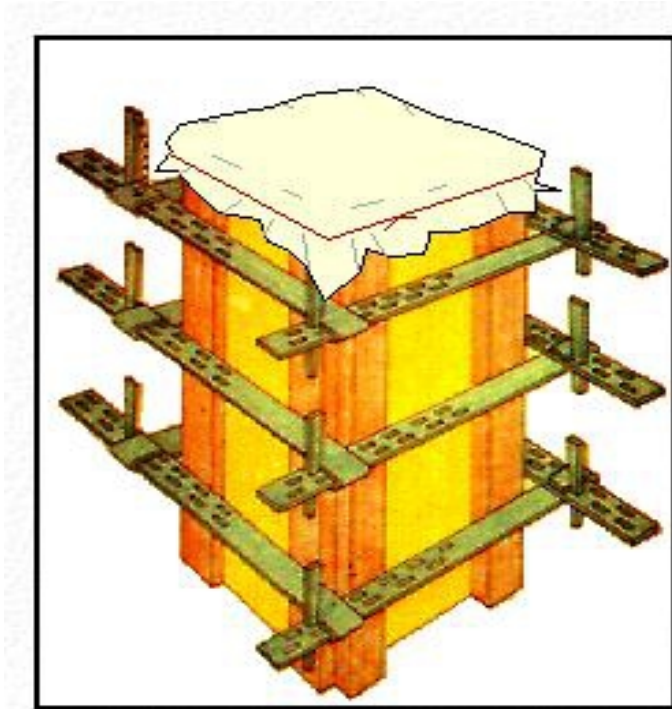


Figure I.2: Maintien du coffrage pendant la durée de cure

- Mise en place de bâche étanche maintenue en contact avec la surface à traiter.
- Application des produits de cure formant une pellicule protectrice; qui sont à base de résine, cire ou paraffine dissouts dans des produits pétroliers.

1.2.4.1. La durée de cure

La cure doit être maintenue de 3 jours (cure de base) à 7 jours (cure supplémentaire) ou pendant le temps nécessaire (cure prolongée pour obtenir 40 à 70% de la résistance à la compression spécifiée selon la classe de béton (tableau I.1) [14].

Tableau I.1: Durée de cure préconisée.

Conditions Ambiantes	Classe 1			Classe 2			Classe 3		
	A l'abri du soleil sans vent humidité relative >80%						Fort ensoleillement ou vent > 30km/h ou humidité relative < 50%		
Durcissement du béton	Rapide	Moyen	Lent	Rapide	Moyen	Lent	Rapide	Moyen	Lent
Durée en jours $T > 10^{\circ}\text{C}$	0	1	1	1	2	4	1	4	5
$5^{\circ}\text{C} < T < 10^{\circ}\text{C}$	1	2	2	2	4	8	2	8	10
$T < 5^{\circ}\text{C}$	A défaut de protection isotherme, la cure est maintenue tant que la température reste inférieure à $+5^{\circ}\text{C}$: appliquer ensuite les durées indiquées dans le tableau ci-dessous.								

- **Rapide:** CEM I et CEM II de classe 42,5 R, 52,5 et 52,5R. Les résistances élevées et précoces sont dues à la finesse Blaine du ciment; par contre les risques de retrait et par conséquent de fissuration sont accrus. La durée de cure est plus réduite, mais elle est indispensable.

- **Moyen :** CEM II de classes 32,5 et 42,5

- **Lent :** CEM III, CEM IV et CEM V

Plus de détails se trouvent dans la norme P 18-325.

I.2.4.2 Le Produit de cure

Comment limiter la dessiccation du béton, sans surdosage de la quantité d'eau? La solution a été trouvée voici une quarantaine d'années avec l'arrivée des cures industrielles du béton, bénéficiant de formules chimiques spécifiques. Encadrés par la norme applicable aux adjuvants du béton (NF P 18-370), ces produits sont des émulsions qui se composent généralement d'un solvant organique ou d'eau (ce qu'on appelle le «véhicule»), d'un liant (résine ou polymère) et éventuellement de charges minérales (par exemple du dioxyde de titane). Le bon produit de cure remplit plusieurs exigences: il doit empêcher l'évaporation rapide de l'eau excédentaire, il ne doit pas modifier la teinte finale du

béton (être neutre), ni modifier chimiquement l'épiderme du béton, ni présenter de dangers pour l'environnement ou pour la personne qui l'applique [9].

I.3. Les adjuvants

D'après certaines recherches, l'existence des adjuvants date de l'époque romaine. Les adjuvants à cette époque auraient été du jaune d'œuf ou du sang ajoutés aux bétons de chaux et de pouzzolanes. Entre les années 1875 et 1890, on ajoute au ciment portland du gypse ou du chlorure de calcium pour régulariser la prise. En 1888, CANDLOT montra que l'addition du chlorure de calcium (CaCl_2) permettait d'accélérer ou retarder la prise du ciment. A côté des accélérateurs, des hydrofuges pour l'étanchéité des réservoirs ont été utilisés .L'ajout de la chaux grasse en 1895 par CANDLOT (France) pour améliorer la plasticité et en 1906 aux USA pour la construction de réservoirs. C'est également au début du siècle qu'on essaya du silicate de soude pour améliorer l'imperméabilité. En 1909 le sucre a été utilisé comme retardataire de prise. La commercialisation d'adjuvants permettant d'améliorer certaines qualités du béton débuta en 1910 (hydrofuges. accélérateurs de prise). En 1929, RENGADE découvrit que la poudre de zinc agit comme un retardateur puissant sur le ciment. Les plastifiants furent commercialisés en 1935. Les entraîneurs d'air apparaissent en 1939 à l'USA puis en 1947 en Europe. C'est après 1960 que les adjuvants se sont développés et que des recherches sont effectuées un peu partout dans le monde, plus particulièrement au Japon

depuis 1970 [11].

I.3.1 Définition

On appelle adjuvant, tout ingrédient autre que le ciment, les granulats et l'eau, que l'on ajoute au mélange en faible quantité. Les adjuvants sont des produits chimiques solubles dans l'eau employés pour améliorer certaine propriété ou qualité souhaités, s'ils sont bien utilisés, ils donnent des bétons durables. Il est possible enfin de confectionner des bétons imperméables et résistants aux agents chimiques grâce aux adjuvants.

I.3.2 Mode d'action

Leur action est différente d'un adjuvant à un autre en contact des grains de ciment .D'une manière générale, les adjuvants enrobent le grain de ciment pendant l'hydratation pour augmenter une charge négative sur la surface de la particule de ciment.

I.3.3 Fonctions

Les adjuvants possèdent une fonction principale et une fonction secondaire:

❖ **Fonction Principale**

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale unique qui est caractérisée par la ou les modifications majeures qu'elle apporte aux propriétés du béton à l'état frais ou durci. Cette fonction peut varier selon le dosage de l'adjuvant et les matériaux utilisés.

❖ **Fonctions secondaires**

En plus de sa fonction principale, un adjuvant peut avoir une ou plusieurs fonctions secondaires. Les adjuvants les plus employés en ambiance aride et chaudes sont les suivants :

I.3.4 Les plastifiants et superplastifiants

Ils ont pour fonction principale de provoquer un accroissement important de l'ouvrabilité du mélange.

I.3.4.1 Mode d'action

L'action d'un super plastifiant passe nécessairement par son adsorption sur les particules de ciment. En se fixant sur les grains de ciment, elle modifie la nature des charges électriques. Les grains de ciment ont alors tendance à s'éloigner les uns des autres du fait qu'ils ont tous la même charge et s'entourent d'un film d'eau très mince. Ainsi on obtient un grain de fluidité, puisque les grains de ciment sont mieux dispersés. L'eau existante sert alors de fluidifier le béton. Dans certains cas, l'ajout du superplastifiant est directement additionné dans la toupie du camion afin d'éviter une perte de fluidité pendant le trajet.

I.3.4.2 Classification

La classification des adjuvants repose essentiellement sur les propriétés qu'ils confèrent au béton frais ou durci [15].

a. **Les plastifiants-réducteurs d'eau**

Ce sont essentiellement des adjuvants fabriqués à base de lignosulfonates modifiés et éventuellement certains gluconates. Leur addition dans le béton réduit considérablement la teneur en eau (10 à 15%) pour une ouvrabilité identique à celle d'un béton non adjuvanté.

b. Les super plastifiants-haut réducteur d'eau

Appelés aussi fluidifiants ou hauts réducteurs d'eau permettent une réduction de l'eau de l'ordre 20 à 30%. Leurs actions sont plus importantes sur les bétons que celles des plastifiants-réducteurs d'eau. Ils permettent, à teneur égale en eau, d'augmenter considérablement l'ouvrabilité des bétons. Parmi les super plastifiants-haut réducteur d'eau les plus connus on citera, les poly naphtalènes sulfonés (PNS), les sulfonâtes de mélamine (MS) et les polymères carboxyliques d'éther (PCE).

c. Autres superplastifiants

Il existe des adjuvants superplastifiants haut-réducteurs d'eau conçus spécialement pour certains types de bétons, tels que les bétons auto nivelant (BAN) et les bétons autoplaçants (BAP) (leur rôle est d'augmenter la viscosité du béton afin d'éviter toute ségrégation) et les bétons coulés dans l'eau (Leur rôle est de modifier la viscosité du béton afin d'éviter tout effet de lessivage).

I.3.4.3 Condition d'addition de superplastifiant dans le béton

L'addition du super plastifiant ne doit jamais se faire sur un béton sec, c'est-à-dire avant l'ajout de l'eau, il sera absorbé par les agrégats et le sable d'où son inefficacité avec le ciment. Le superplastifiant est plus efficace lorsqu'il est ajouté après l'humidification du béton (environ 75% de l'eau de gâchage) ou fractionné dans le cas d'un E/C très bas (1/3 dans l'eau de gâchage; 2/3 vers la fin du malaxage). Le temps optimal d'addition du super plastifiant dans le béton est 2 minutes après le mélange Eau-ciment-agrégats. A ce moment, le super plastifiant reste suffisamment disponible pour jouer son rôle de dispersant du C_3S et C_2S , ce qui explique l'augmentation de la fluidité

I.3.5 Les retardateurs

Les adjuvants retardateurs sont souvent des mélanges de Lignosulfonates, de Gluconate de sodium, de Gluconate de Calcium, d'Acide citrique, du borax ou des sucres (glucose, saccharose...) [15].

I.35.1 Mode d'action

Les retardateurs peuvent agir en diminuant la vitesse d'hydratation de certains constituants anhydrides des ciments [15]. En se précipitant autour des grains de ciment ou en formant avec la chaux des précipités enrobant certaines parties des grains anhydrides ($CaSO_4$). Il y a donc une formation d'une enveloppe plus ou moins imperméable et d'épaisseur variable. Le retard dépend alors de l'épaisseur de l'enveloppe, de son imperméabilité, de sa composition et du pH du milieu. L'action va dépendre surtout de la teneur en C_3A et C_3S , des alcalins et des sulfates dans le ciment.

I.3.5.2 Domaine d'utilisation

Les retardateurs sont utilisés par temps chaud, en cas de transport du béton sur de longues distances ou en cas de bétonnage partiel (reprise de bétonnage) [15].

I.3.6 Les entraineurs d'air

Leur rôle est de créer dans le béton des bulles d'air microscopiques de diamètre variant entre 10 et 200µm. Ces adjuvants sont surtout utilisés pour améliorer la tenue du béton durci au gel et au cycle gel- dégel. Les bulles d'air doivent être nombreuses, suffisamment petites et réparties uniformément dans la masse, pour pouvoir, plus tard, servir de barrage dans le réseau des canalicules. Elles pourront éventuellement recueillir l'eau et la glace remontant par capillarité. L'air occlus permet aussi d'améliorer la maniabilité du béton, de diminuer le ressuage. Mais il est important de souligner que l'addition d'un entraîneur d'air dans le béton, diminue les résistances mécaniques de béton. Le pourcentage d'air occlus dans le béton ne doit pas dépasser 6 %. L'adjuvant est introduit directement dans la bétonnière pendant le malaxage du béton.

I.4 Choix de matériaux

La construction des bâtiments, des infrastructures et des ouvrages d'art exige de gros approvisionnements en matériaux. Jusqu'à présent, les sables les plus couramment utilisés pour la confection des bétons entrant dans ces ouvrages sont les sables roulés alluvionnaires. Mais les prélèvements excessifs de ces sables ont fortement contribué à l'épuisement des ressources et ont provoqué des retombées néfastes sur l'environnement. De nombreuses régions du monde vivent cette situation et doivent aujourd'hui chercher des matériaux de substitution pour faire face à la demande croissante en granulats à béton. Devant les besoins croissant des ressources en matériaux, aussi que les exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine de génie civil. Il ya un intérêt croissant pour les fines calcaires à partir de carrières de concassage, dans la construction en béton pour surmonter les déficiences inhérentes à sable de rivière dans certaines régions. Les sables de concassage sont très souvent l'unique alternative. Il faut cependant qu'ils répondent aux critères de qualité propres à cet usage et être disponibles en quantités suffisantes, à prix raisonnables. Toutefois, les sables issus des carrières sont souvent considérés par les utilisateurs comme des déchets, car ils sont riches en fines, parfois argileuses au demeurant. Ils sont alors quasi-systématiquement écartés pour un usage dans les bétons, bien que les spécifications d'emploi le permettent dans de nombreux cas. Plusieurs pays ont

déjà été amenés à prendre des mesures de préservation des ressources alluvionnaires en imposant des règles strictes limitant les prélèvements. L'Algérie par exemple a élaboré en 2005 une instruction ministérielle [Loi n° 05-12, 2005] organisant la généralisation progressive de l'usage des sables de concassage dans le bâtiment, en précisant les spécifications techniques auxquelles doivent répondre ces matériaux [Instruction, 2007].

Une cartographie nationale a été mise en place en vue de répertorier les carrières susceptibles de fournir des sables de concassage, et des titres miniers ont été attribués pour la production exclusive de ce type

de sable [16].

I.4.1 Le sable de concassage

Le sable calcaire est un sous-produit du processus de carrière et typiquement ne pas avoir une demande importante en raison de sa teneur élevée en petites particules dont le diamètre est inférieur à 80 μm . Généralement, les sables de concassage présentent une bonne distribution granulaire, comparativement aux sables de rivières lavés qui manquent souvent de fines [17]. Cependant, l'usage montre qu'ils demandent une quantité d'eau (efficace) plus élevée qu'avec des granulats roulés, à cause notamment de la baisse de compacité associée à leur forme, leur angularité et à leur rugosité. Il est souvent admis que leur utilisation dans le béton permet d'obtenir des résistances mécaniques plus élevées, par effet de blocage mécanique du système, du moins si leur résistance intrinsèque le permet.

Chapitre II

Matériaux

&

Protocoles Expérimentaux

II.1 Introduction

Dans le présent chapitre nous allons exposer les résultats des essais de caractérisation des matériaux employés dans la préparation du mortier objet de cette étude, et sa composition et les différentes expériences réalisées pour la détermination des propriétés physiques et mécaniques des mortiers confectionnés. Les essais ont été effectués au laboratoire de Génie Civil de l'université de Laghouat.

II.2 Essais de caractérisation des matériaux

II.2.1 Essais sur sable calcaire

a- Masse volumique apparente

C'est la masse de l'unité de volume du corps à l'état naturel, calculée selon la norme NFP 18-555 [18] par la relation suivante:

$$\gamma_{app} = \frac{M - M_0}{V}$$

Avec:

γ_{app} : Masse volumique apparente du matériau [g/cm^3].

M : Masse du récipient plein du matériau [g].

M_0 : Masse du récipient vide [g].

V : Volume du récipient [cm^3].

b- Masse volumique absolue

C'est la masse de l'unité de volume absolue sans vides du matériau, déterminée selon la norme NFP 18-555 [16] par la relation suivante:

$$\gamma_{abs} = \frac{M}{(V_2 - V_1)}$$

Avec:

γ_{abs} : Masse volumique absolue du matériau [g/cm^3].

M : Masse du matériau [g].

V_1 : Volume de l'eau [cm³].

V_2 : Volume total (grains+eau) [cm³].

c. Analyse granulométrique

Elle permet selon la norme NF P18-560 [18] de déterminer la grosseur et les dosages pondéraux des différents grains de matériaux, dont les particules sont de diamètre supérieur ou égal à 0,08 mm. La masse de l'échantillon à utilisé dans l'essai dépend des dimensions des éléments les plus gros recommandé de se tenir dans les limites suivantes:

$$200D < M < 600D$$

Avec :

M : Poids d'échantillon [g]

D : Dimension maximale du plus gros élément [mm]

Dans notre cas on prend M=2500g

d. Module de finesse

Il est déterminé selon la norme NFP 18-540 [18] par la somme des pourcentages des refus cumulés ramenée à l'unité, pour les tamis de la série : 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5 et 5mm

$$M_f = \frac{\sum \text{des refus sur les tamis (0,16;0,315;0,63;1,25;2,5;5)}}{100}$$

e. Coefficient d'uniformité

Il permet de caractériser de façon quantitative et qualitative l'étalement d'une courbe granulométrique. Il est donné par la relation suivante:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Avec :

D₁₀ : Diamètre correspondant à 10 % des passants.

D₆₀ : Diamètre correspondant à 60 % des passants.

D'après la valeur de leur coefficient d'uniformité, on peut classer les matériaux en cinq catégories [19]:

- $C_u \leq 2$ granulométrie très serrée
- $2 < c_u \leq 5$ granulométrie serrée
- $5 < c_u \leq 20$ granulométrie semi-étalée
- $20 < c_u \leq 200$ granulométrie étalée
- $200 < c_u$ granulométrie très étalée

f. Coefficient de courbure

Il sert à quantifier la distribution des particules dans une courbe granulométrique. Il est calculé à partir de la relation ci-dessous:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

Avec : D_{30} : Diamètre correspondant à 30 % des passants.

g. Essais de propreté

✓ **Equivalent du sable**

L'essai consiste à évaluer la propreté du sable et à déterminer le pourcentage des impuretés et des poussières nuisibles, conformément à la norme **NFP 18-598** [18] (figure II.1), comme suit:

$$ESV = \frac{H_2}{H_1} \cdot 100\%$$

$$ESp = \frac{H'_2}{H_1} \cdot 100\%$$

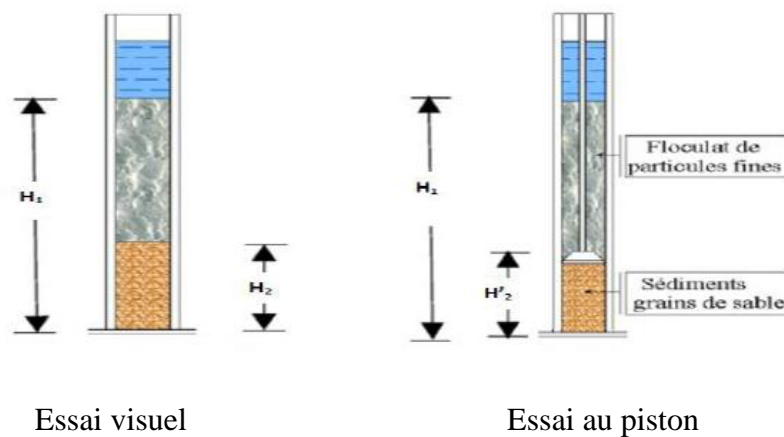


Figure (II.1): Essai d'équivalent de sable.

Tableau (II.1): Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable [3].

Es à vue	ES piston	Qualité de sable
$ES_v < 65$	$ES_p < 60$	« Sable argileux » risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
$65 \leq ES_v \leq 75$	$60 \leq ES_p \leq 70$	« Sable légèrement » argileux de propreté admissible pour bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement de retrait .
$75 \leq ES_v \leq 85$	$70 \leq ES_p \leq 80$	« Sable propre » à faible pourcentage de fines argileuse convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$ES_v \geq 85$	$ES_v \geq 80$	« Sable très propre » l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

✓ **Blue de méthylène**

Egalement appelé «essai au bleu», utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient. Son objectif est la détermination de la capacité d'absorption de bleu de méthylène. Cette mesure qui permet de classer le sol est directement liée à la surface spécifique des grains de sol.



Photo (II.1): Dispositif du bleu de méthylène

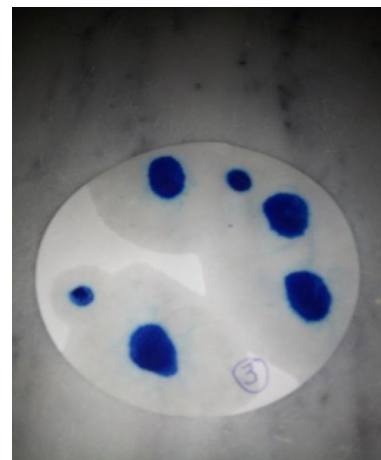


Photo (II.2): Papier filtre et taches auréolées

h. Coefficient d'absorption du sable

Il est défini comme étant le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon du sable après imbibition par l'eau, à sa masse sèche. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant

24 heures à 20 °C. Le coefficient d'absorption est déterminé par la relation ci-dessous selon la norme NFP 18-555 [18].

$$A_b = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$$

Avec :

A_b : Coefficient d'absorption.

M_s : Masse à l'état sec.

M_a : Masse de l'échantillon imbibé à la surface sèche en gramme, déterminé comme suit:

Après imbibition dans l'eau pendant 24 heures, étaler l'échantillon sur une surface plane non absorbante et le soumettre à un flux d'air chaud, tout en le remuant afin que la surface externe des grains sèche. En plaçant le matériau dans un moule tronconique (figure II.2), posé sur une surface plane non absorbante, et en le compactant légèrement, on vérifie que celui-ci s'écoule en démoulant.

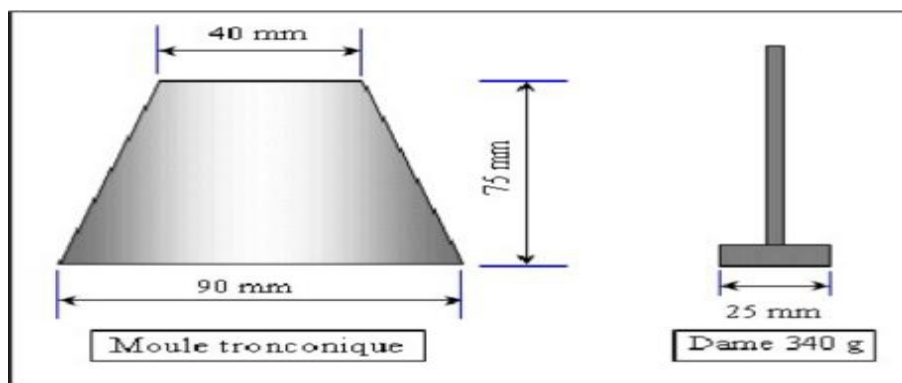


Figure (II.2): Mesure du coefficient d'absorption du sable.



Photo (II.3) : Essai d'absorption du sable.

i. Analyse minéralogiques du sable

L'analyse minéralogique effectuée sur le sable est réalisée au laboratoire du diffractométrie de l'université de Laghouat à l'aide d'un diffractomètre X'PERT couplé à un système informatique qui permet le traçage et l'analyse des résultats obtenus. La composition minéralogique du sable calcaire utilisé est donnée sur le diffractogramme suivant:

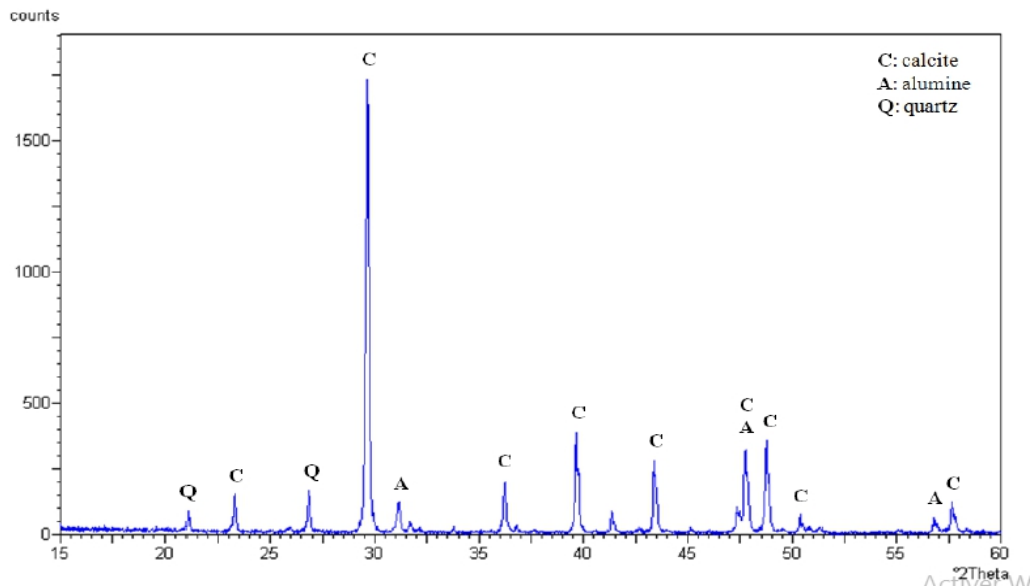


Figure (II.3): Analyse minéralogique du sable [20].

Note: on n'a pas pu réaliser cette essai a cause de la panne du diffractomètre X'PERT et on a exploité les résultats présentés dans un autre travail [20].

II.2.3. Résultats des essais réalisés sur le sable

Le sable est l'élément qui a sur le béton ou le mortier, selon ses qualités, une influence prépondérante en participant à sa résistance et en donnant la cohésion du mélange.

En vue de son utilisation dans la confection du mortier, le sable doit être soumis à des essais de laboratoire, essentiellement l'analyse granulométrique, l'essai de l'équivalent de sable, l'essai au bleu de méthylène et l'analyse minéralogique. Ces différents essais permettent d'identifier le sable.

Afin d'élaborer ces essais nous avons utilisé un sable calcaire de concassage de la station d'Ouazzane 0/5 mm de la région nord de la ville de Laghouat en Algérie (Figure II.4). Sa répartition granululaire, établie selon la norme NF P18-560 [18]. Les résultats des essais réalisés sur le sable sont regroupés dans le tableau (II.2).



Photo (II.4) : Photo du sable calcaire.

Tableau (II.2): Caractéristiques du sable

Masse volumique apparente	Masse volumique absolue	ES Piston	ES visuel	Module de finesse M_f	Coefficient d'absorption A_b	Valeur de bleu VBS
1.51 g/cm ³	2.70 g/cm ³	67.90 %	65.56 %	1.94	4.20%	1.16

D'après les résultats mentionnés dans le tableau (II.2)

- $E_{sp} = 68\%$ et $E_{sv} = 66\%$: Sable légèrement argileux de propreté admissible pour bétons de qualité courante .
- $V_{BS} = 1.16$ sol sablo limoneux, sensible à l'eau
- $M_f = 1.94$ le sable est à majorité de grains fins

Les résultats de l'analyse granulométrique du sable employé sont regroupés sur le tableau (II.3) et sa courbe granulométrique est montrée sur la figure (II.4) suivante.

Tableau (II.3) : Analyse granulométrique du sable

Φ tamis	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisat (%)
5	41.53	41.53	1.66	98.34
4	18.71	60.24	2.41	97.95
3.15	8.59	68.83	2.76	97.24
2.5	75.39	144.22	5.78	94.22
1.25	546.22	690.44	27.70	72.3
1	137.22	827.66	33.20	66.80
0.63	273.54	1101.2	44.18	54.82
0.315	209.15	1310.35	52.56	47.44
0.16	248.36	1558.71	62.53	37.46
0.08	294.39	1853.1	74.34	25.66
Fond	639.50	2492.6	100	0.00

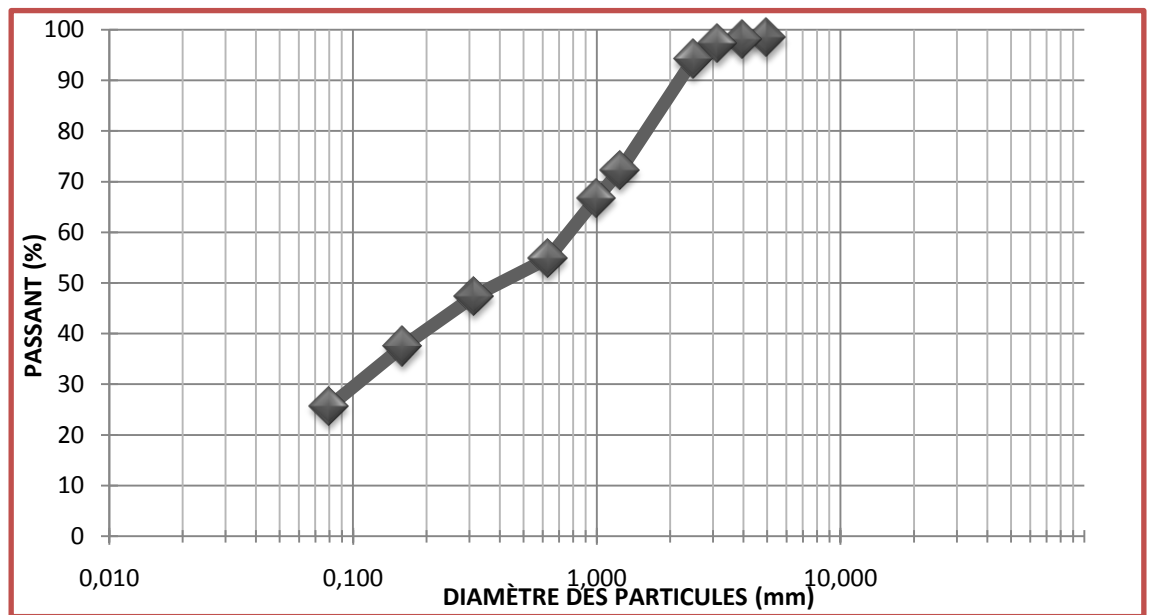


Figure (II.4) : Courbe granulométrique du sable.

II.2.2.4 Résultats des essais réalisés sur le ciment

Comme il assure la cohésion des différents constituants du béton, le ciment est considéré comme étant le constituant fondamental dans sa composition. Le ciment utilisé est un ciment Portland CPJ-CEM //B 42.5N (Matine) produit par LAFARGE de l'usine Dment Ben Saida de la commune de Djemourah, wilaya de Biskra en Algérie.

❖ Masse volumique

La masse volumique absolue du ciment utilisé est de l'ordre de **3.15 g/cm³** et sa masse volumique apparente est de **0.90 g/cm³**.

❖ Surface spécifique

La finesse du ciment exprimée par sa surface spécifique (S_p) est mesurée à l'aide du perméabilimètre de Blaine, dont la description complète est donnée dans la norme européenne (EN196 – 6) [18].

La surface spécifique se mesure en fonction du temps que met un volume d'air que l'on fait passer à travers d'une poudre de ciment. Plus la surface spécifique de cette poudre est élevée et plus le temps mis par l'air pour traverser la poudre est lent.

$$S_p = K \cdot \sqrt{t} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\sqrt{e^3}}{1-e} \cdot \frac{1}{\sqrt{\eta}}$$

K: Constante de l'appareil.

η : Viscosité de l'air à la température de l'essai.

e: Porosité .

t: Temps mesuré (en seconde).

ρ : Masse volumique absolue.

La surface spécifique du ciment utilisé est de **3180 cm²/g**.



Photo (II.5): Ciment utilisé.

II.2.2.5 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la préparation des mortiers étudiés est l'eau du robinet dont la composition chimique est donnée sur le tableau (II.4).

Tableau II.4 : Analyse chimique de l'eau gâchage

II.2.2.6 Adjuvant

C'est un superplastifiant réducteur d'eau, type «MEDAPLAST-SP 40» compatible avec tous les ciments. Il s'agit d'une solution liquide de couleur marron, d'un PH varie entre 7 et 8, et de densité de 1,2 ; et de teneur en Cl inférieur de 1g/l, et un extrait sec de 40/100% .[21] se diluant parfaitement dans l'eau de gâchage. Il a été ajouté lors de la confection avec un dosage de 2 % du poids du ciment.

Grâce à ses propriétés, le MEDAPLAST-SP 40 (voir Annexe) permet :

- D'améliorer l'ouvrabilité.
- De diminuer la ségrégation.
- D'augmenter les résistances mécaniques.
- D'augmenter l'imperméabilité.
- D'augmenter la durabilité.



Photo (II.6): Superplastifiant utilisé.

II.3 Mortier

II.3.1 Composition de mortier

La composition d'un mortier consiste à fixer les pourcentages optimums de ses différents constituants afin d'assurer à la fois la maniabilité et la résistance désirées. Dans ce travail le rapport S/C du sable au ciment est fixé selon la norme EN.196-1 [16] à 3. La quantité d'eau optimale a été choisie sur la base d'une étude de maniabilité et de consistance en faisant varier le rapport E/C (Eau sur Ciment) de 0.7 à 0.90 pour un mortier sans adjuvant et de 0.55 à 0.7 pour un mortier adjuvanté avec l'ajout d'un pourcentage de superplastifiant variant de 1 à 2.5%. Cette étude a permis d'optimiser le rapport E/C pour les deux mortiers. Dans notre cas on a utilisé les dosages suivants:

- ❖ 1350g de sable (03 parties).
- ❖ 450 g de ciment (une partie).

- ❖ 360 g d'eau, E/C = 0.80 (mortier sans adjuvant).
- ❖ 306 g d'eau, E/C = 0.68 et 2% d'adjuvant (mortier avec adjuvant).

II.3.2 Essai au maniabilimètre B

C'est une mesure qui est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, ou superplastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. Il convient donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance.

Dans ces essais la consistance est caractérisé par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration selon la norme (NF P 18-452 et 15- 437) [13]. L'appareil utilisé est appelé "maniabilimètre B" et schématisé sur la figure (II.5). Il est constitué d'un boîtier parallélépipédique métallique (60cm×30cm×30cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible. Un malaxeur normalisé est également requis pour la réalisation du mortier.

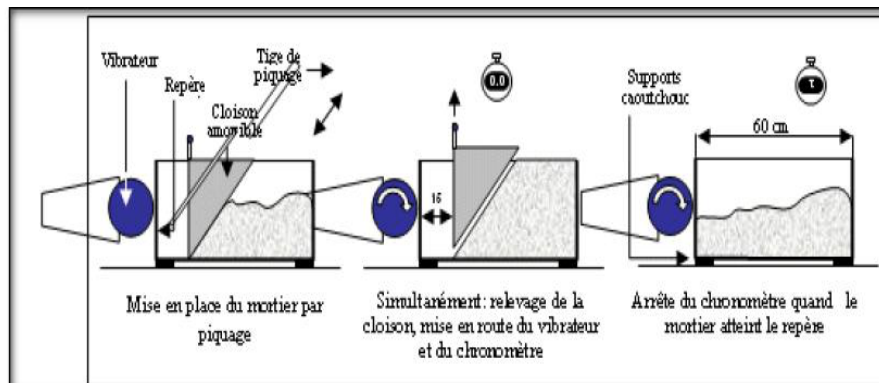


Figure (II.5) : Principe de fonctionnement du maniabilimètre B.

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison est mis en place par piquage en quatre couches; après la fin du malaxage, la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposé du boîtier. Le temps t mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide ou plus maniable, d'où le nom de l'appareil maniabilimètre.

Après la réalisation de cet essai on a obtenu les résultats suivants:

Tableau (II.5): Résultats de l'essai de maniabilité.

Sable (g)	Ciment (g)	E/C	Eau (g)	Adjuvant (%)	Adjuvant (g)	Temps (s)
1350	450	0.9	405	0	0	3
1350	450	0.8	360	0	0	13
1350	450	0.7	315	0	0	29
1350	450	0.68	306	2	9	17
1350	450	0.68	306	2.5	11.25	9
1350	450	0.65	292.5	1.5	6.75	27
1350	450	0.65	292.5	2	9	25
1350	450	0.65	292.5	2.5	11.25	23
1350	450	0.60	270	1	4.5	32
1350	450	0.55	247.5	2	9	37
1350	450	0.55	247.5	1	4.5	40

II.3.3 Mode de préparation des mortiers et confection des éprouvettes

Pour les échantillons d'essais on a utilisé des éprouvettes prismatiques (4x4x16 cm³) préparées au laboratoire sous une température 20° ± 2°C et une humidité relative d'environ 48%. Les quantités des différents constituants utilisées pour la préparation des mortiers objets de cette étude sont citées ci- dessus.

Les mortiers ont été malaxés pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme EN 196-1[18]:

- On introduit l'eau à la quelle on a ajouté le superplastifiant avec le pourcentage mentionné auparavant ,et prendre en considération les conditions d'addition du super plastifiant (I.3.4.3) on verse ensuite le ciment ; aussitôt après, on met le malaxeur en marche à vitesse lente. Après 30 secondes de malaxage, on introduit régulièrement le sable pendant les 30 secondes suivantes. On met alors le malaxeur à sa vitesse rapide et on continue le malaxage pendant 30 secondes supplémentaires.
- On arrête le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes on enlève au moyen d'une raclette tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- On reprend ensuite le malaxage à vitesse rapide pendant 60 secondes.

A la fin du malaxage, le mortier préparé est versé dans un moule à 3 alvéoles de dimensions (4x4x16)cm³. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois ; après quoi le moule est arasé.

- Le démoulage a lieu 24h après le coulage; par la suite les éprouvettes sont mis directement dans leurs milieux de conservations jusqu'au jour de l'écrasement.

II.3.4 Conservation et cure des éprouvettes

Les éprouvettes confectionnées ont été conservées dans deux environnements:

- A l'air libre, sous les conditions climatiques réelles de la ville de Laghouat (**Air I**).
- Dans l'eau, soit une immersion complète (**imm**).
- Dans une chambre sous des conditions contrôlées, soit à l'abri des effets climatiques directs (**Labo**).

Les échantillons conservés à l'air libre sont curés par les cures suivantes durant une durée de 14 jours

- Arrosage à l'eau homogène à 08h:30 et 16h:00 (**Arr**).
- Couverture avec une toile de jute mouillé (**TJ**).
- Couverture avec un film plastique imperméable (**F P**).
- Application d'un produit de cure (MEDACURE) (**PC**).



Photo (II.7) : Produit de cure utilisé.



Photo (II.8) : Conservation à l'air libre des mortiers non adjuvés.



Photo (II.9) : Conservation à l'air libre des mortiers adjuvés.

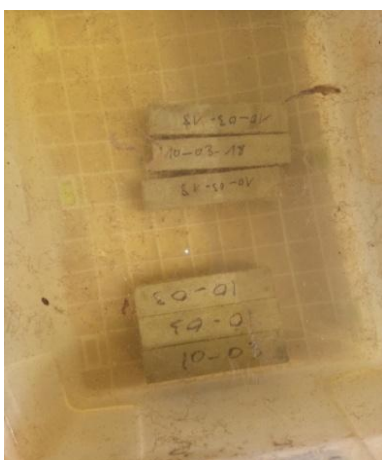


Photo (II.10) : Immersion dans l'eau.



Photo (II.11) : Toile de jute mouillée.



Photo (II.12) : Couverture par film plastique.



Photo (II.13) : Application de produit de cure.

II.4. Essais réalisés sur le mortier durci

II.4.1 Essais mécaniques

Pour estimer la qualité des différents mortiers utilisés on était amené à mesurer la résistance à la traction par flexion et à la compression selon la Norme EN 196-1 [18].

Les essais sont effectués sur des éprouvettes (4x4x16cm³), rompues en flexion puis en compression et on a pris la moyenne des résultats trouvés de l'écrasements de 3 éprouvettes en flexion et des 6 demi-éprouvettes résultantes en compression à chaque jour prévu.

II.4.1.1 Résistance à la flexion

La mesure de la résistance à la flexion a été effectuée sur une machine CONTROLS couplé à un ordinateur menué d'un logiciel de charge avec une vitesse constante 5 kg/s pourvu d'un dispositif de flexion par trois points, tel que celui schématisé sur la figure (II.6).

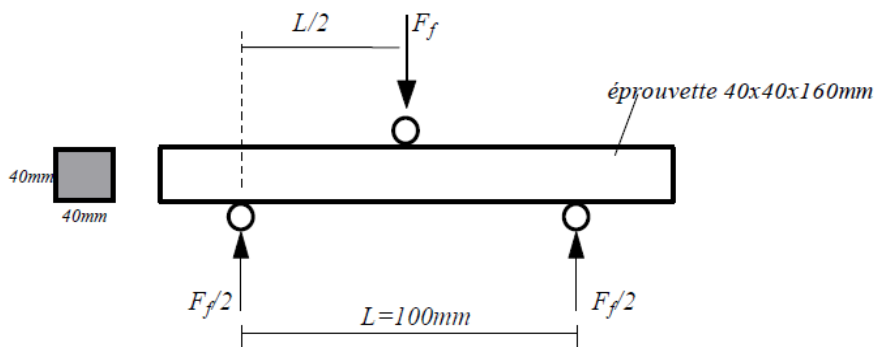


Figure (II.6) : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

Le principe d'utilisation de cette machine est de lire la déformation de l'anneau utilisé pour l'écrasement de l'éprouvette (4x4x16)cm³ à l'aide d'un comparateur (figure II.6) et grâce à un tableau fournis par le constructeur de cette machine, on déduit la charge de rupture correspondante à la déformation de l'anneau lue sur le comparateur. La résistance à la flexion R_f (MPa) est donnée par la formule suivante :

$$R_f = 1,5F \frac{L}{b^3}$$

Avec :

F : en kgf est la charge de rupture donnée par le tableau fourni avec l'appareil.

b =40 mm et **L** = 100mm .

II.4.1.2 Résistance à la compression

Les demi-prismes obtenus après rupture en flexion de l'éprouvette ont été rompus en compression au moyen de la même presse, suivant le dispositif schématisé sur la figure (II.7).

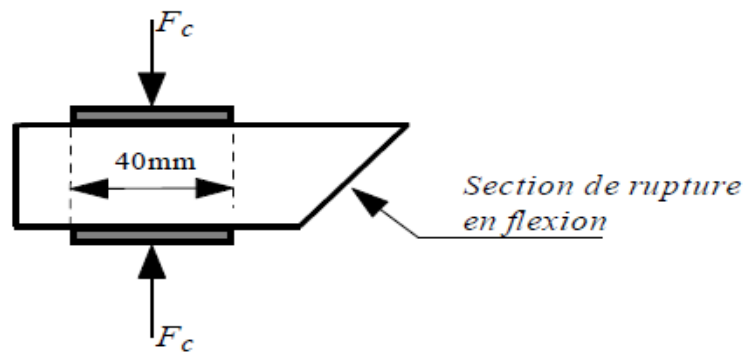


Figure (II.7) : Dispositif pour l'essai de résistance à la compression.

La résistance à la compression est donnée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Où F_c est la charge de rupture en (N), b est la largeur de la section comprimée (= 40mm) [12].



Photo (II.14) : Essai de flexion d'une éprouvette



Photo (II.15) : Essai de compression d'une éprouvette



Photo (II.16) : Formes des éprouvettes écrasées

Chapitre III

Résultats

Et

Interprétations

III.1 Introduction

Nous présentons dans cette partie, tous les résultats des différents essais de maniabilité et des essais mécaniques réalisés sur les mortiers préparés à base de sable calcaire. Nous essayons de comparer ces résultats avec ceux donnés dans la littérature et présentés dans le premier chapitre et de les interpréter selon nos données liés aux matériaux utilisés, aux conditions de conservation et des moyens de cure appliqués.

III.2 Climatologie de Laghouat

Il est important avant d'exposer les résultats expérimentaux de connaître les conditions climatiques réelles de la ville de Laghouat, sous les quelles nous avons conservé nos échantillons de mortier.

Laghouat est située dans la partie méridionale de la région des hauts plateaux centre, à 410 Km au sud d'Alger. Elle est constituée le carrefour des grands axes routiers entre le nord et le sud, l'est et l'ouest elle est construite sur la roche des chiens collines qui fait partie d'un ensemble montagneux qui s'étend au nord et à l'ouest de la ville. La ville est traversée par Oued M'ZI qui se dirige généralement du l'ouest vers l'est. Elle a une altitude élevée de 790m. Et son appartenance à la région Saharienne conditionne son régime climatique.

III.2.1 Température

La température moyenne mensuelle varie entre un minimum de 3-12°C en Janvier et un maximum de 36°C en juillet [7].

III.2.2 Humidité relative

L'humidité relative passe de 24% en aout à 80% en décembre [7].

III.2.3 Précipitons

Les précipitons sont irrégulières avec un taux moyen de 180mm/année [7].

III.2.4 Vent

Le vent sirocco est le vent qui caractérise cette région, c'est un vent chaud et sec fréquent en été de 3 à 6 jours par an, avec un maximum en mois de juillet. Il accroît la température et diminue fortement l'humidité en favorisant l'évaporation [7].

Les données climatologiques qui sont enregistrées par la station de météorologie de Laghouat durant la période de réalisation de ce travail sont montrées dans le tableau suivant (III.1).

Tableau (III.1): Température et hygrométrie enregistrées à la ville de Laghouat (Mars et Avril 2018).[22]

Mois	Température		Hygrométrie	
	T°C max	T°C min	HR max %	HR min %
Mars	27.1°	2.3°	60.18	0.9
Avril	29.3°	5.7°	86	0.9

III.3 Résultats des essais de maniabilité

Dans l'objectif de formuler un mortier maniable et facile à mettre en place, nous avons confectionné de nombreuses gâchées avec des rapports E/C variables, en allant de 0.50 à 0.9 avec ajout ou non d'adjuvant et pour chaque gâchée, on a mesuré le temps d'écoulement en secondes afin d'estimer sa maniabilité. Après la réalisation de ces essais, on a obtenu les résultats illustrés sur les figures (III.1 et III.2) suivantes.

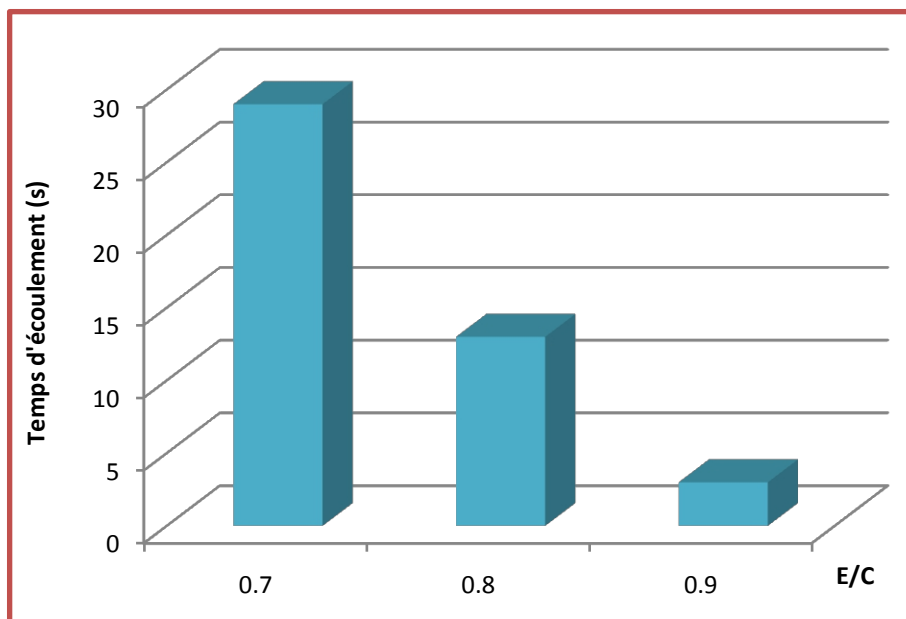


Figure (III.1): Variation du temps d'écoulement de mortier en fonction de E/C.

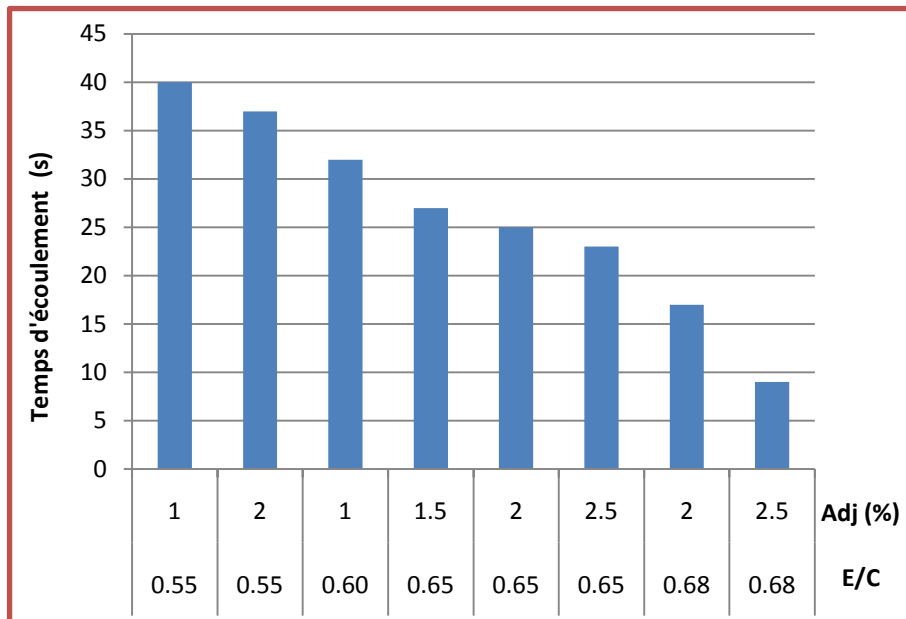


Figure (III.2): Variation du temps d'écoulement de mortier en fonction de E/C et du pourcentage d'adjuvant.

Pour une augmentation du rapport E/C de 0.7 à 0.9 (figure (III.1)), on constate une diminution du temps d'écoulement, soit une amélioration de la plasticité du mélange. Cette constatation est une réalité confirmée par tous les documents de la littérature, car par l'ajout de l'eau on peut rendre une gâchée de béton ou de mortier plus maniable et facile à travailler; néanmoins que l'effet de l'addition de l'eau est négatif sur les propriétés mécaniques, notamment à long-terme.

On a pris $E/C = 0.8$, qui correspond à un temps d'écoulement de 13 s, un rapport convenable pour formuler un mortier maniable; Autrement dit, pour des rapports E/C inférieurs à 0.80, le mélange semble très raide et il ne peut être mis en place dans le moule sans difficultés et effets néfastes secondaires, tels que la création des pores. Pour des rapports E/C supérieurs à 0.80, le mélange devient plus maniable avec une mise en œuvre plus facile, mais la crainte est que l'excès en eau peut engendrer une chute de la résistance mécanique par augmentation du volume des vides qui résulte de l'évaporation de l'eau en excès.

La figure (III.2) révèle que l'ajout d'adjuvant est une solution très pratique pour améliorer la plasticité du mortier sans nécessité d'ajouter plus d'eau de gâchage. Alors à un rapport E/C constant, une augmentation du dosage d'adjuvant conduit à une réduction du temps d'écoulement, soit une amélioration de l'ouvrabilité du mortier est remarquée. La maniabilité désirée pour un mortier avec adjuvant est donnée pour un rapport $E/C = 0.68$ et l'ajout de 2 % d'adjuvant, dosage mesuré par rapport au poids du ciment, selon la fiche technique du produit, présentée en annexe.

III.4 Résultats des essais mécaniques

Afin de connaître le comportement physico-mécanique des différents mortiers préparés, des essais de compression et de flexion ont été menés sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16) cm³, au nombre de 3 échantillons pour l'essai de flexion et au nombre de 6 pour l'essai de compression (l'échantillon de l'essai de compression est le demi-prisme résultant de l'essai de flexion).

L'analyse des résultats a été abordée suivant trois principaux axes:

Le premier axe: s'intéresse aux principales propriétés mécaniques des mortiers, la résistance à la compression et la résistance à la flexion des mortiers évaluées à différents âges, à 3, 7, 14, 21, 28 et à 60 jours dans les différents milieux de conservation.

Le deuxième axe: traite l'influence des différents moyens de cure sur la résistance à la compression et à la flexion des mortiers à l'âge de 3, 7, 14, 21, 28 et de 60 jours.

Le troisième axe: aborde l'influence d'adjuvant superplastifiant, sur les résistances à la compression et à la flexion des mortiers âgés de 3, 7, 14, 21, 28 et de 60 jours.

Les résultats des valeurs de compression et de flexion sont regroupés dans les tableaux (III.2) et (III.3).

compression(III.2)

(III.3) flexion

III.4.1 Résistance à la compression

La résistance à la compression qui a une grande importance dans la conception structurale des constructions donne une idée sur la qualité du béton ou du mortier.

III.4.1.1 Effet de milieux de conservation sur la résistance à la compression

Pour voir l'effet des conditions de conservation sur la résistance à la compression on a choisi trois environnements, air libre (milieu réel), immersion dans l'eau et chambre contrôlée (laboratoire).

Les valeurs des résistances à la compression sont données dans le tableau (III.4).

Tableau (III.4): Variation de la résistance à la compression dans les différents milieux de conservation en (MPa).

Age (jours)	Air libre	Immersion	Laboratoire
3	11.51	14.61	14.66
7	12.73	16.42	19.35
14	12.93	17.25	19.69
21	13.71	19.95	23.21
28	17.12	28.76	24.91
60	18.79	28.91	29.47

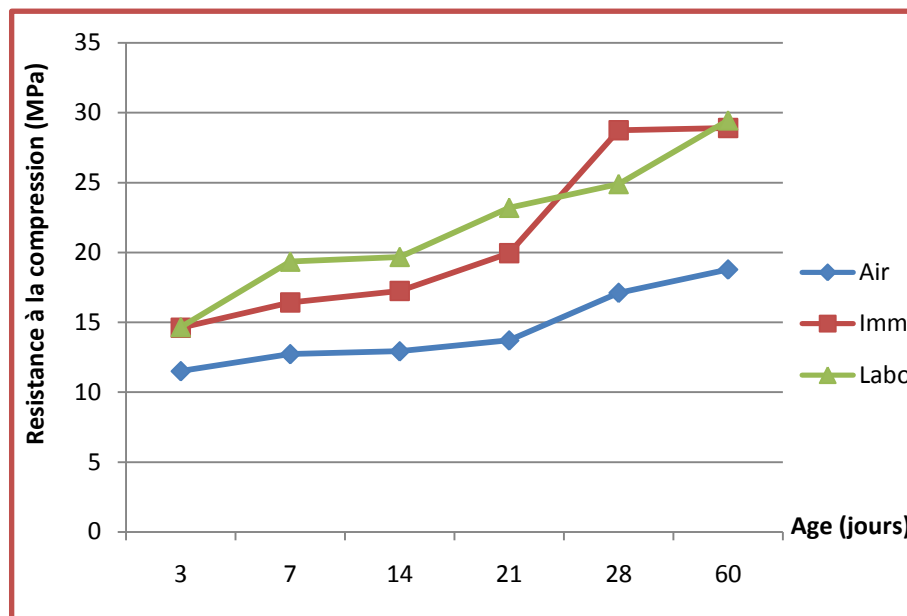


Figure (III.3): Variation de la résistance à la compression en fonction des milieux de conservation.

Il est bien connu que l'évolution de la résistance à la compression d'un matériau met en évidence le développement du phénomène d'hydratation au cours du temps [18]. Selon la figure (III.3) précédente, les résistances à la compression obtenues dans les mortiers conservés à l'air libre sont les plus faibles et leur développement avec le temps est la plus lente, par rapport aux résistances attendues dans les deux autres milieux.

Les éprouvettes conservées à l'air libre ont montré une augmentation de la résistance à la compression presque constante pendant les trois premières semaines de durcissement, puis l'augmentation devient plus élevée au cours de la quatrième semaine jusqu'à atteindre une valeur maximale à l'âge de 60 jours. Cela signifie que la vitesse d'hydratation qui a été plus lente à jeune âge, devient plus importante à long terme à cause de l'effet direct des conditions climatiques réelles de conservation et de leurs variations journalières et mensuelles. Dans la même journée, la température peut augmenter de 2.3 à 27.1 °C, comme il est indiqué dans le tableau(III.1).

Alors que les éprouvettes conservées dans la chambre contrôlée ont montré une évolution plus régulière de leurs résistances à la compression, ceci est dû à la stabilité des conditions de conservation, de température et d'humidité dans ce milieu.

Les éprouvettes immergées totalement dans l'eau ont présenté un comportement à la compression moins important que celui enregistré au laboratoire jusqu'à 21 jours, au-delà les résistances dans les deux milieux, laboratoire et eau, sont comparables. Ceci peut être expliqué par le fait que dans l'eau, la réaction d'hydratation est une réaction lente qui prend tout le temps nécessaire pour s'achever.

III.4.1.2 Effet du milieu de conservation sur la résistance à la compression à 28 jours

Il s'agit de faire une comparaison entre les valeurs de la résistance à la compression à 28 jours montrées dans le tableau(III.5) et qui sont obtenues dans les trois environnements, air libre, immersion dans l'eau et au laboratoire.

Les résultats obtenus ont permis de tracer l'histogramme montré sur la figure (III.4) ci-dessous.

Tableau (III.5): Résistance de compression à 28 jours dans les trois milieux de conservation en (MPa).

Age (jours)	Air libre	Immersion	Labo
28	17.12	28.76	24.91

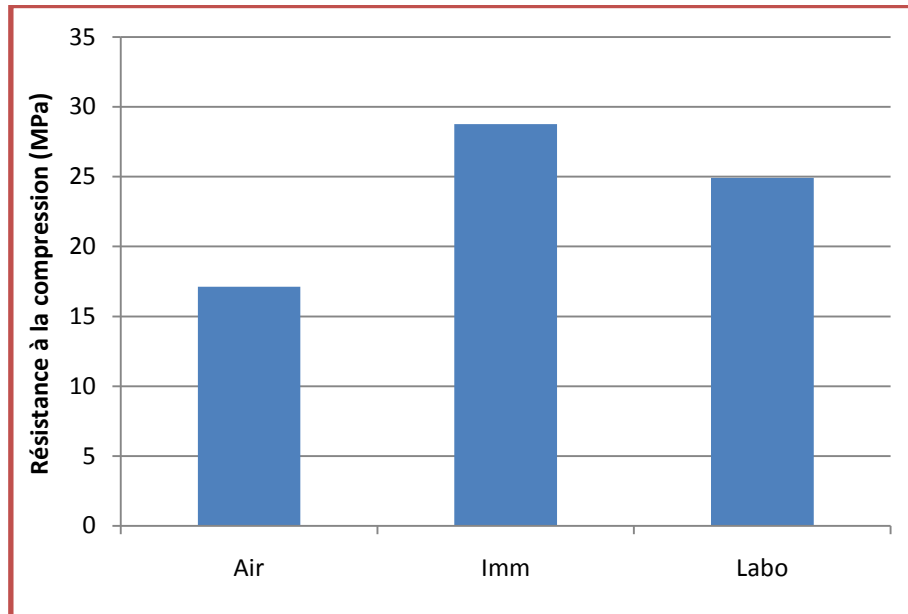


Figure (III.4): Résistance de compression à 28 jours dans les trois milieux de conservation.

On constate selon la figure (III.4) précédente, que les mortiers conservés dans l'eau (immersion) possèdent les résistances les plus élevées, car l'eau constitue le milieu favorable pour le développement de la réaction d'hydratation; Cette dernière nécessite une ambiance humide pendant une durée de temps nécessaire et suffisante pour la formation d'un maximum d'hydrates, assurant le développement des propriétés mécaniques du matériau. Donc le mortier immergé dans l'eau a procuré un gain de résistance à la compression d'environ 40 % par rapport à celui exposé à l'air libre et 13 % par rapport au mortier conservé au laboratoire.

III.4.1.3 Effet de moyens de cure et d'adjuvant superplastifiant sur la résistance à la compression des mortiers conservés à l'air libre

Pour voir l'efficacité du type de cure et de l'ajout d'adjuvant sur la résistance à la compression des mortiers conservés à l'air libre, on va comparer les résistances à la compression (Tableau(III.6)) obtenues avec les différentes cures avec celles atteintes dans le mortier sans cure, il s'agit du mortier témoin. La figure(III.5) ci-dessous schématise toutes ces variations de résistance en fonction des moyens de cure employés et de la présence d'adjuvant superplastifiant.

Tableau (III.6): Variation de la résistance à la compression des mortiers à l'air libre en fonction de cure et d'adjuvant

Résistance à la compression (MPa)							
E/C = 0.8							E/C = 0.68
Age (jours)	Mortier Sans cure Sans adj (Mortier témoin)	Toile de jute mouillée	Arrosage	Film plastique	Produit de cure	Immersion	Mortier Sans cure Avec adj
3	11.51	10.07	13.24	13.82	11.46	14.61	14.59
7	12.73	15.22	13.01	13.61	13.63	16.42	17.3
14	12.93	18.46	12.38	14.21	12.77	17.25	17.97
21	13.71	20.14	15.28	15.28	15.69	19.95	18.15
28	17.12	21.78	16.93	17.16	17.42	28.76	20.39
60	18.79	22.84	19.19	17.48	16.04	28.91	21.62

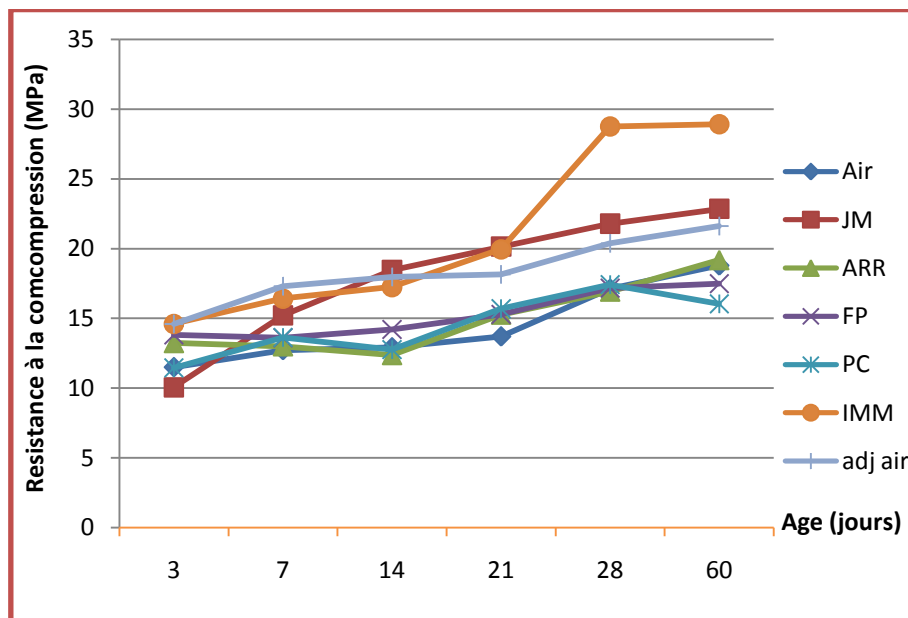


Figure (III.5): Variation de la résistance à la compression des mortiers à l'air libre en fonction de cure et d'adjuvant.

A - Effet du type de cure

Nous remarquons selon la figure(III.5) précédente que tous les types de cure ont conduit à une augmentation de la résistance à la compression des mortiers conservés à l'air libre. Il est à noter que l'immersion dans l'eau et la toile de jute mouillée semblent les meilleures cures qui ont donné les meilleures résistances par rapport aux autres cures. Des résultats semblables ont été trouvés dans d'autres travaux [24, 25].

Il faut noter aussi que le produit de cure a conduit aux résistances à la compression les plus faibles par rapport aux autres cures utilisées. Une conclusion comparative est trouvée dans d'autres recherches [26].

B - Effet d'adjuvant

D'après la figure (III.5), on constate que le comportement à la compression du mortier adjuvanté est régulier et présente des résultats satisfaisants et mieux que ceux obtenus par certains types de cure, tels que l'arrosage, le film plastique et le produit de cure, ceci est remarqué à court et à long-terme aussi. Durant les deux premières semaines d'âge, la résistance à la compression du mortier adjuvanté était la plus élevée par rapport aux résistances obtenues par toutes les cures; mais au-delà de 14 jours, les mortiers immergés dans l'eau et ceux couverts par la toile de jute mouillée ont offert les résistances les plus élevées.

- **Effet d'adjuvant sur les mortiers non curés à l'air libre:**

On a comparé les résistances à la compression des mortiers conservés à l'air libre sans adjuvant avec celles des mortiers avec adjuvant. On remarque que l'ajout d'adjuvant superplastifiant dans la composition des mortiers a un effet positif sur leur comportement en compression (figure(III.6)). Ce qui reflète la réalité que les matériaux préparés avec des dosages faibles d'eau de gâchage gagnent les meilleures résistances mécaniques.

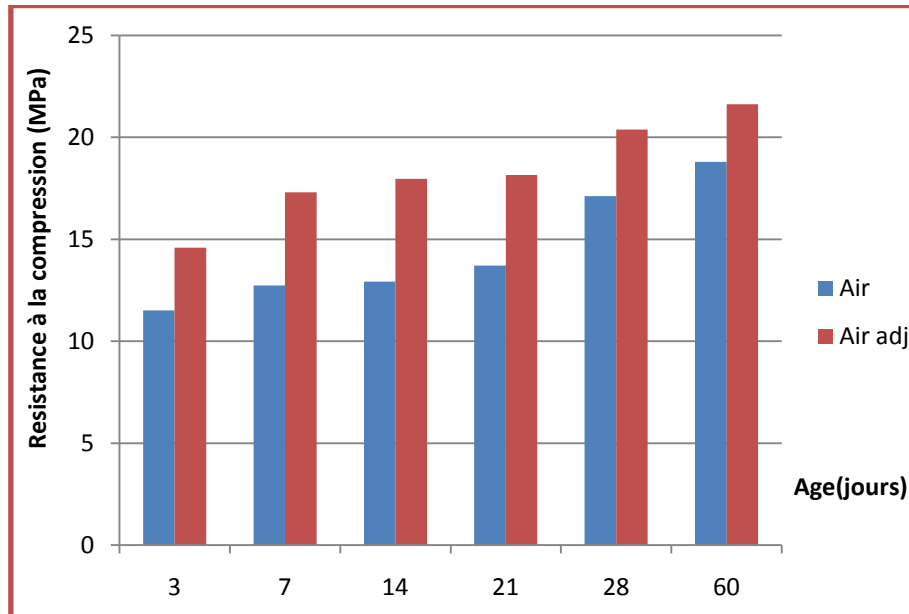


Figure (III.6): Résistance à la compression des mortiers conservés à l'air libre avec ajout ou non d'adjuvant.

- **Effet d'adjuvant sur les mortiers non curés conservés dans différents milieux de conservation**

La figure (III.7) donne une comparaison de la résistance à la compression de mortiers adjuvantés, entre un mortier conservé à l'air libre et un autre conservé au laboratoire.

On constate que les éprouvettes maintenues dans un milieu à l'abri des conditions climatiques (laboratoire) donnent des résistances à la compression mieux que celles exposées à l'air libre. Ce qui confirme le rôle bénéfique de ce milieu de conservation à l'accomplissement de la réaction d'hydratation et donc à l'augmentation des résistances mécaniques à la compression.

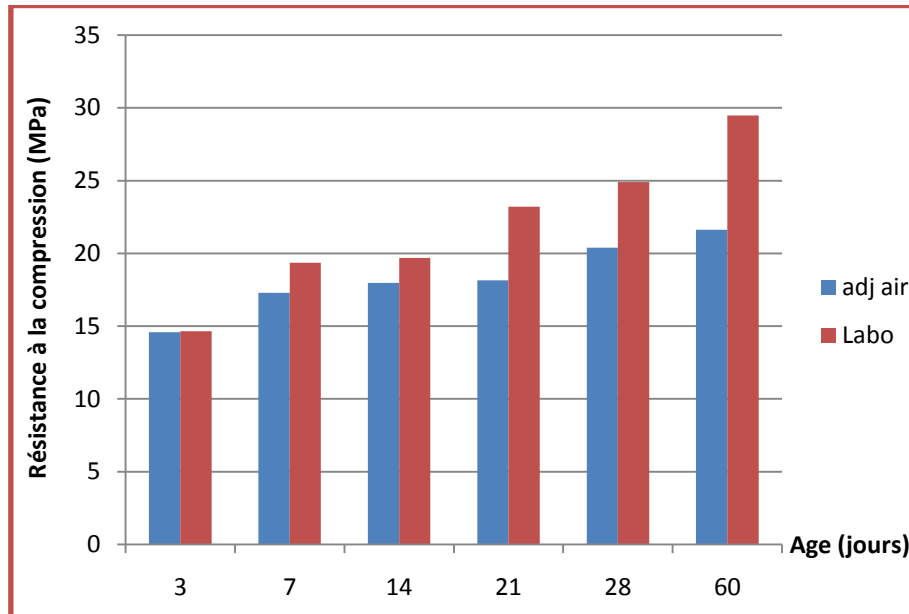


Figure (III.7): Résistance à la compression des mortiers adjuvantés et conservés à l'air libre et au laboratoire.

III.4.2 Résistance à la flexion

Bien que le béton ne soit pas normalement conçu pour résister à des effets de traction directe, la connaissance de la résistance à la traction permet d'estimer la charge qui entraînera la fissuration. L'absence de fissuration est extrêmement importante pour assurer la durabilité d'une structure en béton et, dans de nombreux cas, pour prévenir la corrosion des armatures.

III.4.2.1 Effet de milieux de conservation sur la résistance à la flexion

Les valeurs numériques des résistances à la flexion des trois environnements (air libre, immersion dans l'eau, laboratoire) sont données dans le tableau (III.7) suivant.

Les courbes de la résistance à la flexion des mortiers en fonction du temps (âge) sont représentées dans la figure (III.8) en fonction des différents environnements de conservation.

On constate que la résistance à la flexion des mortiers conservés dans les trois environnements évolue continuellement dans le temps, ce qui signifie que la réaction d'hydratation est en évolution également. Il est clair selon la même figure que la résistance à la flexion du mortier conservé à l'air libre est la plus faible et qu'elle chute même après 28 jours d'âge, le pourcentage de la chute est d'environ 11% de la résistance à 28 jours.

Tableau (III.7): Variation de la résistance à la flexion dans les différents milieux de conservation en (MPa)

Age (jours)	Air libre	Immersion	Laboratoire
3	3.03	4.24	5.27
7	3.46	4.82	6.12
14	4.65	6.8	6.8
21	5.23	6.8	7.5
28	6.02	7.93	7.83
60	6.38	7.88	8.32

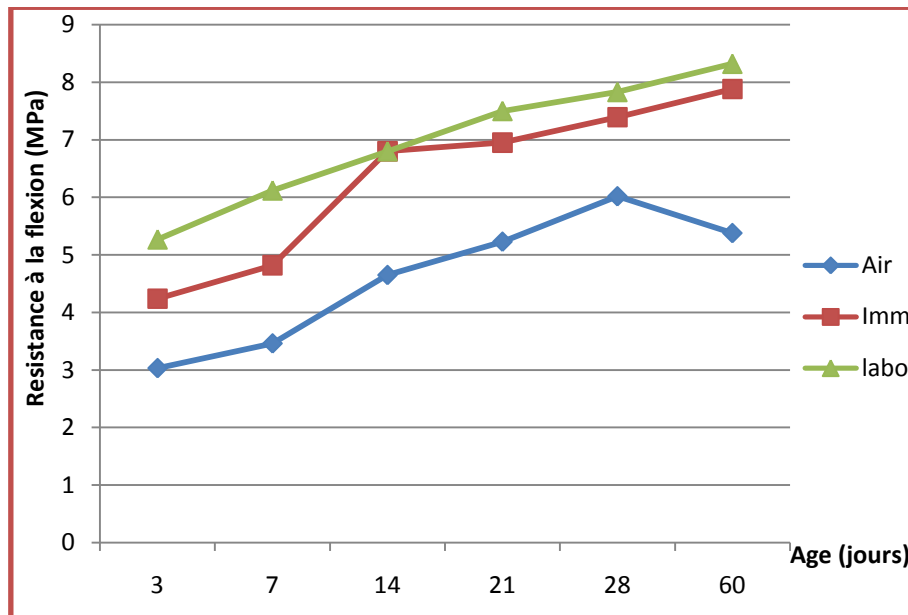


Figure (III.8): Variation de la résistance à la flexion dans les différents milieux de conservation

III.4.2.2 Effet du milieu de conservation sur la résistance à la flexion à 28 jours

Il s'agit de faire une comparaison des résistances à la flexion à 28 jours entre les mortiers conservés dans les trois environnements. Les résistances sont représentées en valeurs dans le tableau (III.8) et en graphe sur la figure (III.9).

Tableau (III.8): Résistance de flexion à 28 jours dans les trois milieux de conservation en (MPa).

Age (jours)	Air libre	Immersion	Laboratoire
28	6.02	7.93	7.83

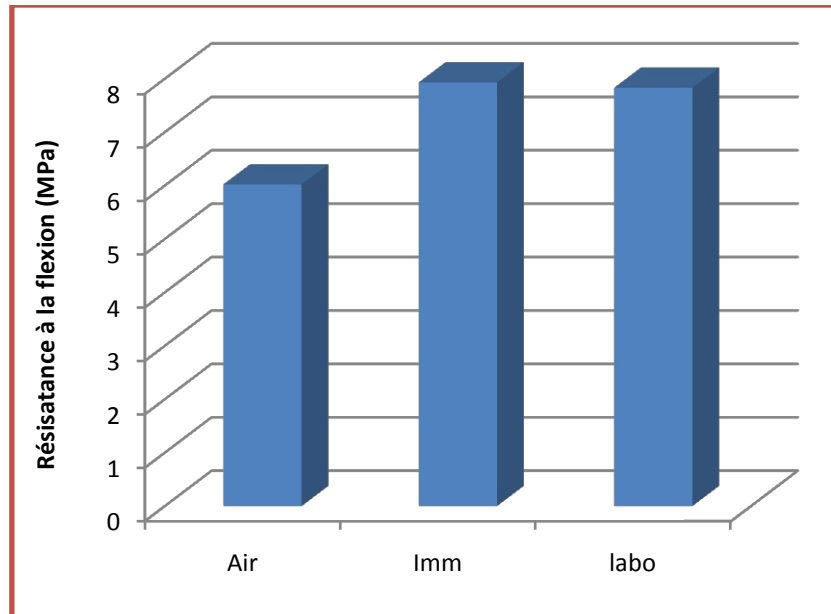


Figure (III.9): Résistance de flexion à 28 jours dans les trois milieux de conservation.

D'après l'histogramme ci-dessus on voit que la valeur de la résistance à la flexion enregistré dans les mortiers conservés au laboratoire ou immergés dans l'eau est la plus élevée qu'à l'air libre, ceci est due à l'effet positif du milieu de conservation favorable à la réaction d'hydratation et à l'augmentation de la résistance à la flexion.

III.4.2.3 Effet de moyens de cure et d'adjuvant superplastifiant sur la résistance à la flexion des mortiers conservés à l'air libre

Afin de voir l'efficacité des cures employées et de l'adjuvant sur la résistance à la flexion des mortiers conservés à l'air libre, on a fait une comparaison entre les résistances à la flexion obtenues avec les différentes cures (Tableau (III.9)) et celles atteintes dans le mortier sans cure (mortier témoin). La figure (III.10) montre l'évolution du comportement mécanique en flexion des mortiers conservés à l'air libre en utilisant les diverses cures ou en ajoutant l'adjuvant superplastifiant.

Tableau(III.9): Variation de la résistance à la flexion des mortiers à l’air libre en fonction de cure et d’adjuvant

Résistance à la flexion à l’air libre (MPa)							
E/C= 0.80							E/C= 0.68
Age (jours)	Mortier Sans cure Sans adj (Mortier témoin)	Produit de cure	Film plastique	Toile de jute mouillée	Arrosage	Immersion	Mortier Sans cure Avec adj
3	3.03	4.16	4.22	4.45	4.41	4.24	4.38
7	3.46	4.16	4.38	5.11	4.78	4.82	5.48
14	4.65	4.00	6.02	5.77	4.57	6.80	6.45
21	5.23	4.79	6.84	6.4	6.21	6.95	5.04
28	6.02	3.96	6.83	7.96	6.32	7.93	6.80
60	6.38	4.63	5.73	6.7	7.42	7.88	7.83

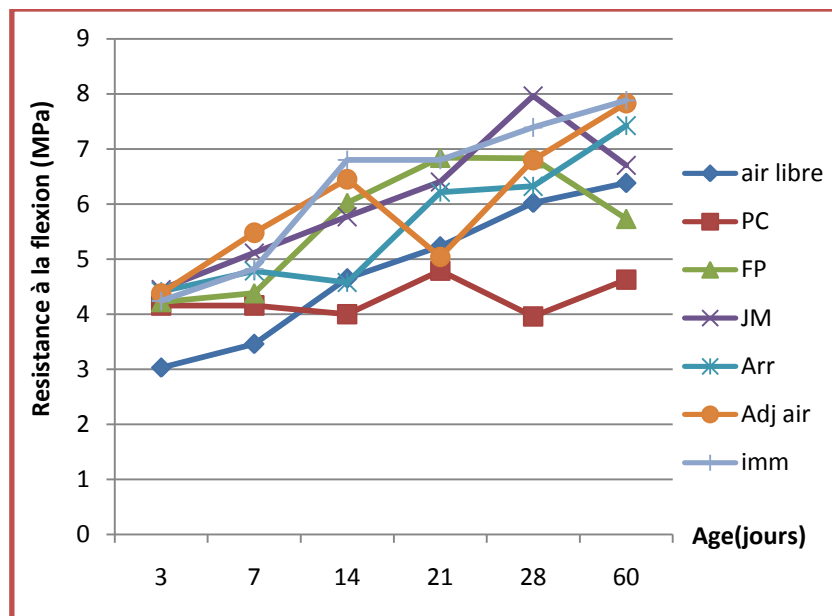


Figure (III.10): Variation de la résistance à la flexion des mortiers à l’air libre en fonction de cure et d’adjuvant

A- Effet du type de cure

Selon la figure(III.10), on constate que généralement toutes les cures utilisées ont mené à une croissance continue de la résistance à la flexion des mortiers conservés à l'air libre. ce qui montre la performance de la cure du point de vue résistance à la flexion.

L'immersion dans l'eau semble être une procédure de cure très efficace qui donne des valeurs très satisfaisantes de résistance par rapport aux autres cures.

Les mortiers conservés à l'air libre sous le film plastique ou la toile de jute mouillée ont subi une réduction de leur résistance à la flexion au-delà de 28 jours.

L'effet de l'application du produit de cure sur la résistance à la flexion des mortiers conservés à l'air libre est le plus faible par rapport à l'effet des autres types de cures.

L'évolution de la résistance à la flexion des mortiers conservés à l'air libre et arrosés pendant 14 jours est régulière et donne des valeurs considérables de résistance.

B -Effet d'adjuvant

D'après la figure (III.10) ci-dessus, on remarque un effet positif d'adjuvant superplastifiant sur la résistance à la flexion des mortiers conservés à l'air libre, même en appliquant une cure.

- **Effet d'adjuvant sur les mortiers non curés à l'air libre**

Pour voir l'effet d'adjuvant sur la résistance à la flexion des mortiers conservés à l'air libre, on a fait une comparaison entre les résistances du mortier adjuvanté et le mortier non adjuvanté

(figure (III.11)). Les résultats montrent que la résistance à la flexion du mortier adjuvanté est plus importante que celle du mortier non adjuvanté. Ce qui confirme l'efficacité de l'ajout du superplastifiant sur la résistance à la flexion des mortiers exposés à une ambiance aride. Cette efficacité est justifiée par la réduction du dosage de l'eau de gâchage qui influe positivement sur l'évolution de la résistance mécanique des matériaux.

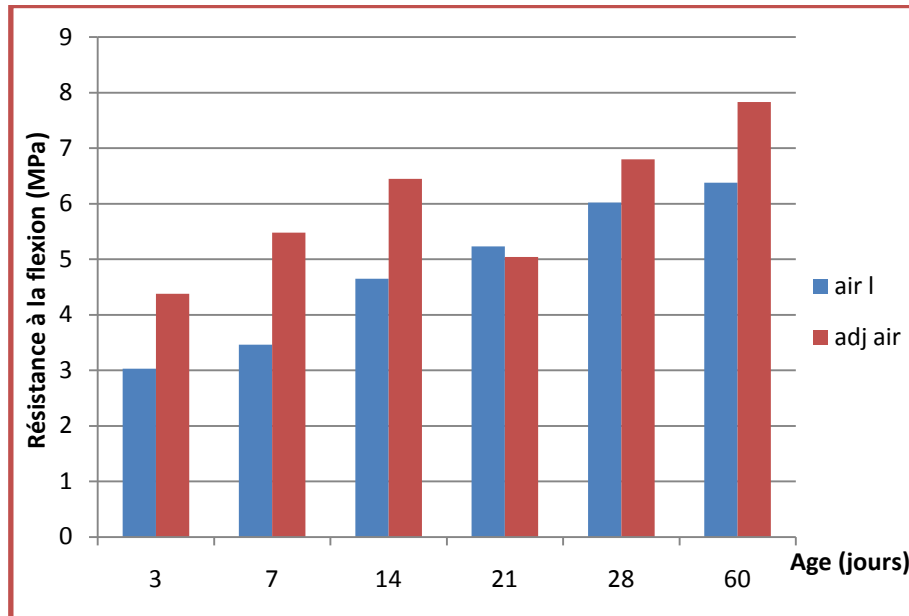


Figure (III.11): Résistance à la flexion des mortiers conservés à l’air libre avec ajout ou non d’adjuvant.

- **Effet d’adjuvant sur les mortiers non curés conservés dans différents milieux de conservation**

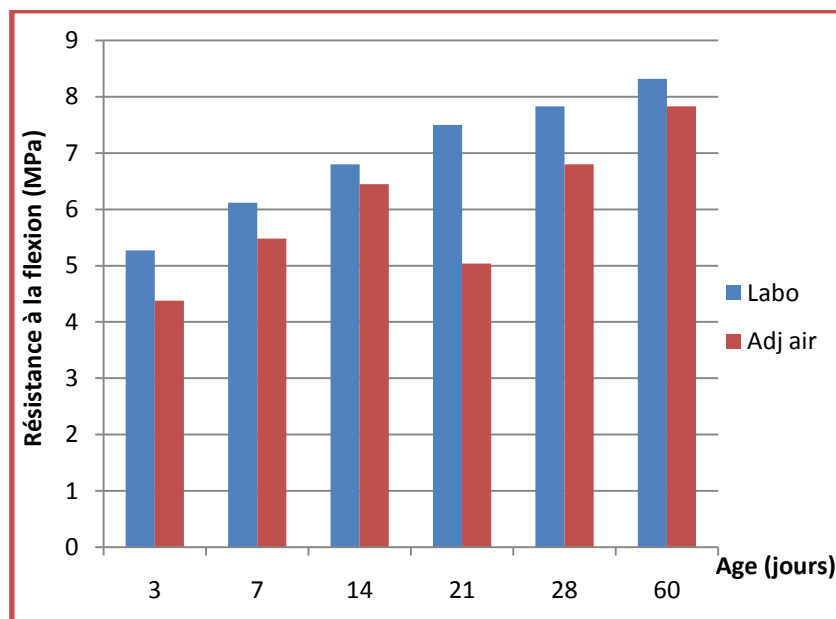


Figure (III.12): Résistance à la flexion des mortiers adjuvés conservés à l’air libre et au laboratoire

Les résultats illustrés sur la figure (III.12) montrent encore une fois que la conservation des mortiers dans une ambiance contrôlée, soit protégée des intempéries conduit à une amélioration de leur comportement mécanique.

Conclusion générale

L'objectif de cette recherche était d'étudier l'effet de la cure et d'adjuvant sur le comportement mécanique d'un mortier de sable calcaire en zone aride. En élaborant des éprouvettes de mortier de ciment durci dans des conditions climatiques réelles, qui sont celles de la ville de Laghouat.

Afin d'atteindre cet objectif, le travail a été entrepris par une revue sur la documentation se rapportant aux cures des mortiers de ciment. Cette partie a été suivie par une description des méthodes expérimentales utilisées pour caractériser les matières premières utilisées pour la confection des mortiers, et particulièrement le sable qu'est un Sable à majorité de grains fins, sensible à l'eau, légèrement argileux de propreté admissible pour bétons de qualité courante, Enfin, une dernière partie qui regroupe les résultats expérimentaux et leurs interprétations est donnée. Les résultats obtenus ont permis de révéler les points suivants:

- La cure humide (immersion et toile de jute mouillée) a permis d'améliorer considérablement les performances mécaniques des mortiers par rapport aux autres cures et même par rapport à l'adjuvant à l'air libre.
- L'utilisation d'un produit de cure a un faible effet sur la résistance mécanique.
- L'effet du film plastique n'est positif qu'au jeune et à moyen âge.
- L'ajout d'un adjuvant superplastifiant a permis de réduire efficacement le rapport E/C de 0.8 à 0.68.
- L'utilisation du superplastifiant a amélioré les performances mécaniques du mortier conservé à l'air libre.

Recommandations

Enfin, on peut conclure que nos résultats constituent un plus qui a permis de mieux comprendre le rôle de la cure et l'effet d'adjuvant dans un milieu climatique aride. Néanmoins, il est probablement intéressant d'élargir davantage le travail par l'étude de d'autres paramètres. Les éventuelles études à proposer peuvent être faites sur les points suivants:

- Etudier l'effet de la cure et d'adjuvant sur le comportement physico-mécanique du béton en climat des hauts plateaux (climat d'Aflou).
- Connaître les valeurs de retrait des mortiers à sable calcaire en climat aride réel.

Références bibliographiques

- [1] **BENDJILLALI.K**, Comportement physico-mécanique du béton en zones arides : Apport du traitement de cure en climat réel de Laghouat, Mémoire de Magister ,Université de Laghouat ,2001
- [2] **NEVILLE. A**, propriétés des bétons, Edition Eyrolles, 754 p, Paris, 1998.
- [3] **DREUX. G, FESTA. J**, Nouveau guide du béton et ses constituants, Edition Eyrolles, huitième Edition, Paris, 1998.
- [4] **BARON.J et OLLIVIER.J.P**, Les bétons bases et données pour leur formulation, Ed Eyrolles, 345p, Paris,1998
- [5] **LACHMAT.L et KENALS**, Effets de type et de la durée de cure sur les propriétés du béton en climats chauds, Séminaire International sur la qualité du béton en climat chaud, Ghardaïa, Algérie , pp 32, 1994.
- [6] **ABADLIA.M.T et TKATECHENKO.G**, Contribution à l'étude du comportement du béton en climat chaud, Séminaire International sur la qualité du béton en climat chaud, Ghardaïa, Algérie,pp32, mars 1994.
- [7] **ABDALLAOUI.Z**, L'influence des dimensions des éprouvettes et l'effet de la cure
- [8] **PAGEL N° T 02/05**, Importance de la cure sur la tenue des mortiers dans le temps.
- [9] **BATI METIERS**, Gros Œuvre/Structure N° 6 – 2006.
- [10] **CHAID.R**, Formulation, caractérisation et durabilité des BHP aux ajouts cimentaires locaux, Thèse de Doctorat, ENP, Algérie, 2006.
- [11]-**BEGARIN.F**, Etude des paramètres endogènes et exogènes au ciment portland ordinaire influençant l'hydratation de sa phase principale, le silicate tricalcique ,Thèse de Doctorat , novembre , Université de bourgogne, France, 2012.
- [12] **DAMENE.Z** , Comportement physico-mécanique et résistance aux sulfates de mortiers a base de ciments algériens, Mémoire de Magister ,Université laghouat, 2005.
- [13] **GUELMINE.L**, Influence du rapport E/C et du mode de cure sur les propriétés physico-mécaniques et de transfert d'humidité des mortiers de ciment durcis, Mémoire de Magister , Université de Laghouat ,2006.
- [14] **BENKHADDA.B**, Traitement naturel des mortiers et bétons destines aux structures en béton préfabriqué, Mémoire de Magister ,Université Mohamed Khider , Biskra ,2006.
- [15] **Dreux. G**, Nouveau guide du béton, Edition Eyrolles; 5^{ème} édition, Paris,1986.
- [16] **JOUDI.B.I**, Influence des sables fillérisés calcaires sur les propriétés des bétons courants et superplastifiés, Thèse de Doctorat , Université de Lorraine, France 2012.

[17] **LAOUD.A**, Caractérisation mécanique et physique d'un béton léger à base de sable calcaire et des granulats de liège, International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol. 3, No. 3, pp 739-748, 2013.

[18] **NORMES AFNOR**, Essais physico-mécaniques sur les bétons et mortiers (1981-1997).

- **NF P 15-560**, Analyse granulométrique par tamisage. octobre 1997.
- **NF P 18-598**, Equivalent de sable. octobre 1991.
- **XP P 18-540** , Granulats : définitions, conformité, spécification. octobre 1997.
- **NF P 18-555**, Mesure de la masse volumique, porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau des gravillons et cailloux. Décembre 1980.
- **NF P 18-400**, Moule pour éprouvettes cylindriques et prismatiques. Décembre 1981.
- **NFP 15-476** , Détermination de la finesse de ciment. Août 1990.
- **NF P 15-471**, Détermination des résistances mécaniques. Aout 1995.
- **NF P 18-558**, Détermination de la masse volumique absolue des fines, Decembre1990.
- **NF EN 196-1** , Méthodes d'essais des ciments -Partie 1,détermination des résistances ,Septembre 2016
- **[16] NF EN196 – 6**, Août 1990, Méthodes d'essais des ciments: Détermination de la finesse. Indice de classement: P 15-476.

NF P 94-068, Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux.

[19] **PIERRE.C.A**, Technologie des granulats 3^{ème} édition , 2013.

[20] **AOUIFAT.A et ZAOUL.M**, Effet de la nature minéralogique du sable sur la durabilité en béton armé renforcées par les fibres de polypropylène, Mémoire de master , Université de Laghouat , 2016.

[21] **BOUDCHICHA.A**, Action des additions et superplastifiants sur les mortiers et bétons, éditions universitaires européennes agréée, université Mentouri ,Constantine, Algérie, 2007.

[22]**BULLETIN METEOROLOGIQUE SPECIAL**, De la station de météorologie de Laghouat Mars, Avril 2018 .

[23] **RAMIREZ.J.L, BARCENA.J.M, J.I. URRETA**, Sable de fines calcaires et argileuses : influence et nocivité dans les mortiers de ciment, laboratoire d'essais et de recherche industrielles, Bilbao, Espagne,1981.

[24] **Azzouz. L. & Bendjillali. K.** ,Effet de la cure sur la résistance du béton en climat chaud, Premières Journées Nationales sur le Génie des Matériaux, pp 12-18, Boumerdes, Algérie,2000.

[25] Bendjillali. K. & Azzouz. L. Contribution de la conservation réelle du béton à l'effet de la cure sur sa résistance mécanique, Séminaire National de Génie Civil, Tome I «Matériaux de Construction», pp115-121, , Oran ,Algérie,2003.

[26] Bendjillali. K. & Azzouz. L. Influence du retard de la cure sur la résistance à la compression du béton en climat chaud et sec, Congrès National de Génie Civil, pp 7-13, , Laghouat, Algérie ,2002.



APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment  50kg	Sable (sec)  0/5	Gravillons (sec)  8/15mm 15/25mm	Eau (litres) 
Dosage pour béton c25/30	X 1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

Temps de prise à 20° (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

Composition minéralogique du Clinker (Bogue)	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- **PROTÉGEZ VOTRE PEAU** : Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

2- **MANUTENTION** : levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



LAFARGE ALGÉRIE
Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com

 **LAFARGE**
لافارج



متين Matine

ALGÉRIE

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment pour béton exigeant

CPJ - CEM II/B 42.5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
CPJ - CEM II/B 42.5 N.

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA 442) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

MEDACURE

Conforme à la norme NF P 18-370

Produit de cure pour bétons et mortiers frais

DESCRIPTION

MEDACURE est un produit qui se présente sous la forme d'un liquide blanchâtre destiné à recouvrir les bétons et mortiers frais pour les protéger contre la dessiccation.

- Aspect Liquide
- Couleur Blanc
- Densité 1,00 ± 0,01
- Temps de séchage à 20°C 1h30mn
- Teneur en chlorures < 0,1g/l

DOMAINES D'APPLICATION

- Protection de tous les bétons avec une grande surface exposée au soleil.
- Protection des chapes en mortier.
- Protection des bétons dans les climats chauds.
- Routes et pistes d'aérodrome en béton
- Dallages et dalles en béton
- Enduit au mortier de ciment
- Réservoirs, terrasses

PROPRIÉTÉS

MEDACURE est un produit de cure qui adhère parfaitement sur les bétons et mortiers et qui possède un bon pouvoir couvrant.

Après pulvérisation sur béton frais, il se polymérise au contact de l'air et forme une fine pellicule qui le protège contre une dessiccation prématurée, empêche l'évaporation rapide de l'eau de gâchage, réduisant ainsi le risque de fissuration.

MEDACURE permet au ciment de s'hydrater correctement et au béton d'avoir une vitesse de prise normale par temps chaud, vent fort ou hygrométrie faible.

Cette protection sera maintenue jusqu'à maturité du béton (3 à 4 semaines).

MEDACURE remplace les anciens procédés de protection :

- Sable humide, toile de jute
- L'arrosage pendant plusieurs jours avec les risques faïençage du support

CARACTÉRISTIQUES

MODE D'EMPLOI

MEDACURE est pulvérisé dès que la surface du béton devient mâte en séchant c'est-à-dire dès la disparition du brillant de l'eau de ressuage. Il s'applique tel quel, sans aucune dilution, au pulvérisateur ou au balai souple.

En cas d'application de peinture ou autre ravalement sur la surface des bétons protégés, en dessous de la limite admise (3 à 4 semaine).

CONSOMMATION

Environ 150 à 200 grammes par m² par pulvérisation.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

En bidon de 10 Kg et en fûts de 225 kg

Stocker à l'abri de l'humidité dans les emballages fermés hermétiquement.

Durée de conservation :

Une année dans son emballage d'origine fermé.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur notre site web : www.granitex-dz.com

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Commune	Lieu de prélèvement	Taux de conformité	Date de prélèvement	Date d'analyse	Paramètres Analysés																					
					Con	Miné	TDS	Sal	PH	T °	TAC	TH	Ca	Mg	Na ⁺	K ⁺	Cl	SO4	HCO ₃	NO ₃	NO ₂	NH ₄ ⁺	PO ₄ ⁻	RS		
Laghouat					2800	1500	1000		6,5-9	°C		500	200	150	200	20	500	400	/	50				2000		
					μS/cm	mg/l	mg/l	‰			0	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l				mg/l		
	R.2000m3 DL		04/05/2018	05/02/2018	1362	1033,00	681	0,6	7,59	13,2	17,21	630	184	41,56	/	/	142	336	210	13,6	0,15	0,41	0,12			
															/	/										
	R.2×2000m3 DL		04/05/2018	05/02/2018	1358	1030,00	680	0,6	7,55	13,1	12,95	630	200	31,9	/	/	248	278	158	15,4	0,02	0,32	0,24			
															/	/										
	R.104 LOGTS		04/05/2018	05/02/2018	1653	1253,00	825	0,8	7,45	13,3	17,21	720	208	48,9	/	/	177	259	210	12,87	0,01	0,31	0,14			
															/	/										
	R.WIAM		04/05/2018	05/02/2018	1520	1152	760	0,7	7,63	13,1	21,557	650	120	85,62	/	/	156	268	263	4,05	0,02	0,39	0,008			
															/	/										
R.ESSADIKI A		04/05/2018	05/02/2018	1529	1159	768	0,7	7,62	13,1	21,557	650	108	92,54	/	/	163	289	263	10,15	0,08	0,47	0,1				

Tableau (II.4) : Composition chimique de l'eau gâchage



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

RESUME DE MEMOIRE DE MASTER

Domaine : : Sciences et Technologies

Filière : Génie Civil.

Option : Matériaux En Génie Civil

Thème : Etude de l'effet de cure et d'adjuvant sur le comportement mécanique des mortiers à base du sable calcaire en ambiances arides

Présenté par : M'sibih Tahar et Soudani Brahim

Encadré par : Bendjillali Khadra

Résumé : L'étude faite a pour objectif de voir l'effet de l'application de la cure et d'adjuvant sur le comportement mécanique de mortiers fabriqués à base du sable calcaire de concassage. Le travail a été réalisé sur 150 éprouvettes prismatiques ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$) de mortier sous les conditions climatiques réelles de la ville de Laghouat, qui se caractérise par un climat aride. Les cures employées sont l'immersion dans l'eau, l'arrosage, la toile de jute mouillée, le film plastique et l'application de produit de cure. Un adjuvant superplastifiant réducteur d'eau, type MEDAPLAST-SP 40 est utilisé. Des essais mécaniques de compression et de traction par flexion sont réalisés sur le mortier à 3, 7, 14, 21, 28 et à 60 jours d'âge. Les résultats obtenus montrent que la réduction du dosage en eau par l'addition d'un adjuvant superplastifiant est une solution efficace pour atteindre le meilleur comportement mécanique du mortier en ambiance aride. Dans ces conditions, l'application de cures humides est très satisfaisante pour maintenir ce comportement, mais l'effet du produit de cure est le plus faible.

Mots-Clés : Mortier, Cure, Adjuvant, Comportement mécanique, zone aride.

عنوان المذكرة: دراسة تأثير الحفظ و المدن على السلوك الميكانيكي لملاط رملي كلسي في وسط جاف

المؤطر: بن جيلالي خضرة

الاسم: طاهر

اللقب: مصيبيح

براهيم

سوداني

ملخص:

الهدف من العمل المنجز هو دراسة تأثير تطبيق الحفظ (الحماية) و المدنات على السلوك الميكانيكي لملاط مصنوع أساسا من حصي رملي كلسي .
الدراسة أنجزت على 150 وحدة موشورية (16x4x4سم³) لملاط ، وضعت في الظروف المناخية لمدينة الأغواط المتميزة بمناخ جاف .
استخدمنا الحفظ في الغمر الكلي في الماء، الرش، الخيش المبلل، الغشاء البلاستيكي واستخدام منتوج الحفظ .
المدن الفائق المحفظ للماء من نوع MEDA PLAST-SP40 تم إدخاله في بعض تركيبات الملاط .
تجارب ميكانيكية للضغط والشد بالانحناء أنجزت على عينات من الملاط لمدة 3،7، 14، 21، 28 و 60 يوما
النتائج المحصل عليها بينت أن تحفيظ كمية الماء باستعمال المدن الفائق اللدونة حل فعال لبلوغ احسن سلوك ميكانيكي للملاط في وسط جاف
في هذه الظروف فان تطبيق الحفظ المبلل كاف لتثبيت هذا السلوك ولكن تأثير منتوج الحفظ جد ضعيف
الكلمات المفتاحية :
الملاط. الحفظ و الحماية. المدنات. السلوك الميكانيكي. المناطق الجافة

Memory title : study of the effect of cure and adjuvant on the mechanical behaviour of mortars limestone sand in arid environments

Name : M'sibih
Soudani

First name : Tahar
brahim

Directed by : Bendjillali Khadra

Abstract :

The objective of the study is to see the effect of curing and admixture plasticizers on the mechanical behaviour of mortar with crushed limestone sand. The work is realized on 150 prismatic samples (16x4x4 cm³) under real climatic conditions of Laghouat, which is considered as an arid region. The curing used is the immersion, the watering, the wet hessian and the plastic membrane and the curing compound. A reducing-water superplasticizer type MEDAPLAST-SP 40 is used. Mechanical tests of compressive and flexural tensile are carried out on the mortars for at 3, 14, 21, 28 and 60 days of age. The results show that the reduction of the water dosage by the addition of superplasticizer is an efficient solution to reach the best mechanical behaviour of mortar in arid climate. Under these conditions, the application of wet curing is very satisfactory to maintain this behaviour, but the effect of the curing compound.

Key words: Mortar, Curing, Admixture, Mechanical behaviour, arid regions.

Titre du mémoire : Etude de l'effet de cure et d'adjuvant sur le comportement mécanique des mortiers à base du sable calcaire en ambiances arides

Nom: M'sibih
Soudani

Prénom: Tahar
Brahim

Encadreur: Bendjillali Khadra

Résumé :

L'étude faite a pour objectif de voir l'effet de l'application de la cure et d'adjuvant sur le comportement mécanique de mortiers fabriqués à base du sable calcaire de concassage. Le travail a été réalisé sur 150 éprouvettes prismatiques (4x4x16 cm³) de mortier sous les conditions climatiques réelles de la ville de Laghouat, qui se caractérise par un climat aride. Les cures employées sont l'immersion dans l'eau, l'arrosage, la toile de jute mouillée, le film plastique et l'application de produit de cure. Un adjuvant superplastifiant réducteur d'eau, type MEDAPLAST-SP 40 est utilisé. Des essais mécaniques de compression et de traction par flexion sont réalisés sur le mortier à 3, 7, 14, 21, 28 et à 60 jours d'âge. Les résultats obtenus montrent que la réduction du dosage en eau par l'addition d'un adjuvant superplastifiant est une solution efficace pour atteindre le meilleur comportement mécanique du mortier en ambiance aride. Dans ces conditions, l'application de cures humides est très satisfaisante pour maintenir ce comportement, mais l'effet du produit de cure est le plus faible.

Mots-Clés : Mortier, Cure, Adjuvant, Comportement mécanique, zone aride.

Table des Matières

Conclusion Générale

Chapitre III

Résultats

Et

Interprétations

Tableau III.1 : les valeurs moyennes de la résistance à la flexion en MPA

Environnement	Produit de cure	Film plastique	Sans cure			Toile de jute mouillé	immersion	Arrosage
			Non adjuvanté (témoin)	Adjuvanté au Laboratoire	Adjuvanté à l'air libre			
Âge								
03 j	4.16 ± 0.3	4.22 ± 0.39	3.03 ± 0.18	5.27 ± 0.51	4.38 ± 0.22	4.45 ± 0.29	4.24 ± 0.24	4.41 ± 0.1
07 j	4.16 ± 0.3	4.38 ± 0.39	3.46 ± 0.04	6.12 ± 0.22	5.48 ± 0.83	5.11 ± 0.08	4.82 ± 0.21	4.78 ± 0.23
14 j	4.0 ± 0.67	6.02 ± 0.45	4.65 ± 0.12	6.80 ± 0.25	6.45 ± 0.16	5.77 ± 0.32	6.80 ± 0.17	4.57 ± 0.67
21 j	4.79 ± 0.6	6.84 ± 0.66	5.23 ± 0.14	7.5 ± 0.23	5.04 ± 0.25	6.40 ± 0.32	6.95 ± 0.41	6.21 ± 0.44
28 j	3.96 ± 0.02	6.83 ± 0.92	6.02 ± 0.11	7.83 ± 1.03	6.80 ± 0.9	7.96 ± 0.05	7.93 ± 0.29	6.32 ± 0.66
60 j	4.63 ± 1.25	5.73 ± 0.50	6.38 ± 0.33	8.32 ± 0.05	7.83 ± 0.03	6.7 ± 1.2	7.88 ± 0.14	7.42 ± 0.95

Tableau III.2 : les valeurs moyennes de la résistance à la compression en MPA

Cure Âge	Produit de cure	Film plastique	Sans cure			Toile de jute mouillé	immersion	Arrosage
			Non Adjuvanté	Adjuvanté au laboratoire	Adjuvanté à l'air libre			
03 j	11.46±1.83	13.82±1.05	11.51±1.75	14.66±1.12	14.59±2.82	10.07±1.97	14.61±1.9	13.24±1.46
07 j	13.63±2.46	13.61±0.74	12.73±0.95	19.35±2.17	17.3±2.88	15.22±3.52	16.42±1.4	13.01±2.44
14 j	12.77±1.47	14.21±1.57	12.93±1.32	19.69±1.25	17.97±3.53	18.46±3.66	17.25±1.2	12.38±1.01
21 j	15.69±2.23	15.28±1.92	13.71±0.15	23.21±1.25	18.15±1.99	20.14±2.25	19.95±2.64	15.28±1.25
28 j	17.42±3.28	17.16±3.7	17.12±2.05	24.91±1.1	20.39±2.57	21.78±3.77	28.76±2.91	16.93±0.48
60 j	16.04 ± 2.31	17.48 ± 2.27	18.79 ± 1.73	29.47 ± 0,44	21.62 ± 1.96	22.84±2.71	28.91 ± 2.51	19.19 ± 0.71

