

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla

FACULTE DES SCIANCE APPLIQUEES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème

**Contribution à l'étude de durabilité de mortier à base des
additions minérales**

C:

R:

Présenté par :

MEKHERMECHE Yasser

GUERFI Islam

Soumis au jury composé de :

Mr. DJOUHRI M.	M.C.B	Président	UKM Ouargla.
Mr. MEKHERMECHE A.	M.C.B	Examineur	UKM Ouargla.
Mr. MOKHTARI A.	M.C.B	Encadreur	UKM Ouargla.
Mr. KRIKER A.	Pr.	Co-Encadreur	UKM Ouargla.

Année Universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

*Nos plus vifs remerciements s'adressent à Mr. Abdessamed
MOKHTARJ, qui nous a dirigé et soutenu. Son encouragement et
sa confiance qu'elle nous a témoignée ont fortement contribué à la réussite
de ce travail.*

*Nous remercions vivement les membres du jury qui nous font l'honneur
d'accepter de juger ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent aussi tous les enseignants du département
de génie civil et hydraulique qui ont contribué à notre formation.*

*Pour finir, nous tenons à exprimer toute notre gratitude à la famille de
MELHERMÈCHE & GUERFI pour leurs soutiens
indéfectibles durant toutes les années des études.*

En fin nous remercions tous nos amis & collègues.

Résumé :

Ce travail consiste à l'étude de l'évolution de la durabilité de mortier contenant deux additions minérales (sable de dunes broyé et fumée de silice) dans quatre milieux de conservation (l'aire libre, filme plastique, l'eau de robinet et l'eau de la nappe phréatique).

La première étape de notre étude est la caractérisation des constituants utilisées à la perfection des mortiers, en suite on étudie l'effet des ajouts de fumée de silice avec de pourcentage (2%) et de sable de dunes en poudre de la région de Ouargla (5%, 10%) et la combinaison entre deux ajouts (2%FS+5%SDP ; 2%FS+10%SDP).

Ainsi des essais de la résistance à la flexion et à la compression a 7, 28, 90 et 120 jours sont réalisés afin d'estimer et d'évaluer cette durabilité.

Les Mots clés : durabilité, mortier, additions minérales, sable de dunes broyé, fumée de silice, milieux de conservation, résistance.

Abstract :

This work consists to the study of the evolution of mortar durability which containing two mineral additions (crushed sand of dunes and silica fume) in four conservations environments (open air, plastic film, tap water and rising water of underground water table).

The first step of our study is the characterization of the constituents used to perfection in mortars, then we study the effect of silica fume additions with a percentage of (2%) and powdered dune sand from Ouargla (5% and 10%) and the combination of two additions (2%FS+5%SDP ; 2%FS+10%SDP).

Key words : Durability, mortar, mineral additions, crashed dune sand, silica fume, conservations environments, resistance.

ملخص:

يتكون هذا العمل من دراسة تطور مدى ديمومة متانة الملاط الذي يحتوي على إضافتين معدنيتين (مسحوق الكثبان الرملية ودخان السيليكا) في أربعة أوساط للحفاظ (الهواء الطلق، البلاستيك، ماء الحنفية والمياه الجوفية الصاعدة للطبقة المائية الحرة).

تتمثل الخطوة الأولى في تحديد خصائص المواد المستخدمة في تركيبة الملاط ، ثم تتم دراسة تأثير إضافات دخان السيليكا بنسبة (2%) ومسحوق الكثبان الرملية (5%,10%) والتركيب بين الإضافتين : (2% FS + 10%SDP , 2% FS + 10% SDP) حيث يتم تقدير وتقييم مدى ديمومتها بإجراء الإختبارات التالية : تحمل قوة الإنحناء و تحمل قوة الضغط بعد 7,28,90,120 يوم.

الكلمات المفتاحية : الديمومة، الملاط، الإضافات المعدنية، مسحوق الكثبان الرملية، دخان السيليكا، أوساط الحفاظ، المقاومة.

SOMMAIRE

Remerciements	II
Résumé	III
Sommaire.....	IV
Liste des tableaux	V
Liste des figures	VI
Liste des notations	VII
INTRODUCTION GENERALE	- 1 -
Chapitre I. RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES.....	- 2 -
Introduction	- 2 -
PARTIE A : Mortiers et constituants des mortiers	
I.A.1 Constituants du mortier.....	- 2 -
I.A.1.1 Le ciment	- 2 -
I.A.1.1.1 Constituants du ciment : [NF EN 197-1] [C T SIA,2014]	- 2 -
I.A.1.1.2 Les types de ciments et leur composition SN EN 197-1.....	- 4 -
I.A.1.1.3 Exigences physiques et mécaniques	- 4 -
I.A.1.2 Sable de construction	- 5 -
I.A.1.2.1 Sables naturels roulés	- 5 -
I.A.1.2.2 Sables artificiels.....	- 6 -
I.A.1.3 L'eau de gâchage	- 6 -
I.A.2 Les additifs.....	- 6 -
I.A.2.1 Les adjuvants.....	- 6 -
I.A.2.2 Les ajouts minéraux	- 7 -
I.A.2.2.1 Fillers calcaires.....	- 7 -
I.A.2.2.2 Le gypse	- 7 -
I.A.2.2.3 Sable de dune.....	- 7 -
I.A.2.2.4 La pouzzolane [DAHMANI.S, 2018].....	- 8 -
I.A.2.2.5 La fumée de silice.....	- 8 -
I.A.2.2.6 Le laitier de haut fourneau	- 9 -
I.A.2.2.7 Les colorants.....	- 9 -
I.A.2.2.8 Les calcites.....	- 9 -
I.A.2.3 Classification des ajouts minéraux	- 10 -
I.A.3 Différents types des mortiers	- 10 -
I.A.3.1 Les mortiers de ciment	- 10 -

I.A.3.2 Les mortiers de chaux.....	- 10 -
I.A.3.3 Les mortiers bâtards	- 10 -
I.A.3.4 Mortier réfractaire.....	- 11 -
I.A.3.5 Mortier rapide.....	- 11 -
I.A.3.6 Mortier industriel	- 11 -

PARTIE B : La durabilité

I.B.1 Introduction.....	- 12 -
I.B.2 Définition de la durabilité	- 12 -
I.B.3 Les indicateurs de durabilité.....	- 12 -
I.B.3.1 La porosité.....	- 13 -
I.B.3.2 La perméabilité.....	- 13 -
I.B.3.2.1 Définition	- 13 -
I.B.3.2.2 Perméabilité au gaz.....	- 13 -
I.B.3.2.3 Perméabilité au l'eau	- 13 -
I.B.4 Attaque chimique par différents milieux agressifs [FERHATI,T.2016]	- 14 -
I.B.4.1 Les attaques sulfatiques	- 14 -
I.B.4.1.1 Définition de l'attaque sulfatiques	- 14 -
I.B.4.1.2 Mécanismes d'attaques	- 15 -
I.B.4.2 Les dégradations dues à l'eau de mer.....	- 15 -
I.B.4.3 Attaque par les ions chlorures	- 15 -
I.B.4.3.1 Définition de l'attaque par les ions chlorures	- 15 -
I.B.4.3.2 Source de l'attaque des ions chlores.....	- 15 -
I.B.4.4 L'alcali-réaction.....	- 16 -
I.B.4.4.1 Définition.....	- 16 -
I.B.4.4.2 Les différents types d'alcali-réaction.....	- 16 -
I.B.4.4.3 Source de cette attaque	- 17 -
I.B.4.5 Attaques acides.....	- 17 -
I.B.4.6 La carbonatation.....	- 17 -
Conclusion	- 18 -

Chapitre II. CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES.....	- 19 -
II.1 Introduction	- 19 -
II.2 Méthodes expérimentales	- 19 -
II.2.1 Equivalent de sable (NF P 18 598).....	- 19 -
II.2.2 Analyse granulométrique par tamisage (NFP 18-560)	- 20 -

II.2.3 La masse volumique (NF P18-301).....	- 21 -
II.2.3.1 La masse volumique absolue	- 21 -
II.2.3.2 La masse volumique apparente	- 22 -
II.2.3.3 Masse volumique absolue pour les poudres (NF P18-558).....	- 22 -
II.2.4 Essai au maniabilimètre B	- 22 -
II.3 Les caractéristiques des matériaux.....	- 24 -
II.3.1 Sable de construction.....	- 24 -
II.3.1.1 Résultats d'analyse granulométrique du sable DJAMAA –EL OUED.....	- 24 -
II.3.1.2 Caractéristiques physiques du sable de construction utilisé	- 24 -
II.3.2 Sable de dune broyé.....	- 24 -
II.3.2.1 Propriétés du sable de dune broyé.....	- 24 -
II.3.3 Fumé de silice.....	- 25 -
II.3.4 Eau de gâchage (robinet).....	- 26 -
II.3.5 Ciment (NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3).....	- 27 -
II.4 Les compositions utilisées	- 28 -
II.5 Préparation des éprouvettes.....	- 28 -
II.6 Les milieux de conservation des éprouvettes.....	- 29 -
II.6.1 L'air libre.....	- 29 -
II.6.2 Les films plastiques	- 29 -
II.6.3 l'eau de robinet	- 30 -
II.6.4 l'eau de nappe phréatique.....	- 30 -
II.7 Conclusion	- 31 -
Chapitre III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	- 32 -
III.1 Introduction	- 32 -
III.2 Essai des résistances mécaniques (EN 196-1).....	- 32 -
III.2.1 Résistance en flexion.....	- 32 -
III.2.1.1 La résistance selon le milieu de conservation	- 34 -
III.2.1.2 La résistance selon la composition	- 36 -
III.2.2 L'essai de compression	- 38 -
III.2.2.1 La résistance selon le milieu de conservation	- 39 -
III.2.2.2 La résistance selon la composition.....	- 41 -
Conclusion générale	- 44 -
Recommandation :	- 45 -
Référence bibliographique	- 46 -

LISTE DES TABLAUX

Chapitre I. RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES

Tableau I-1 : Les différents types de ciment courants [FESTA.J et al, 2017].....	- 4 -
Tableau I-2 : Spécification et valeurs garanties en fonction de classe de résistance..... [SN EN 197-1] [C T SIA,2014]	- 5 -
Tableau I-3 : Composition chimique du gypse. [BOUALI, K. 2014].....	- 7 -
Tableau I- 4 : Classification des ajouts selon leur réactivité..... [BELHOCINE, A et NAGOUDI, N.2014]	- 10 -

Chapitre II. CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES

Tableau II-1 : Classe de consistance selon la durée d'écoulement [BELHOCINE,A et NAGOUDI,N.2014]	- 23 -
Tableau II- 2 : Les caractéristiques de sable de construction.....	- 24 -
Tableau II-3 : Analyse chimique de sable de dune en poudre.....	- 25 -
Tableau II-4 : Les analyses chimiques de fumée de silice..... [GUEMMOUDA,K et ZOUZOU,L.2019]	- 26 -
Tableau II-5 : Composition chimique de l'eau de gâchage (robinet).....	- 26 -
Tableau II-6 : Propriétés physique de ciment.....	- 27 -
Tableau II-7 : Analyse chimique de ciment [fiche technique].....	- 27 -
Tableau II-8 : Résistance à la compression de ciment [fiche technique].....	- 27 -
Tableau II-9 : compositions utilisées pour le mortier.....	- 28 -
Tableau II- 10 : Les des quantités compositions de mortier en (m3).....	- 28 -
Tableau II-11 : Composition chimique de l'eau de la nappe phréatique..... (cité NASRE-Ouargla) [BELHOCINE ,A et NAGOUDI,N.2014]	-30-

Chapitre III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau III-1 : Résultats de la résistance à la flexion.....	- 33 -
Tableau III-2 : Résultats de la résistance à la compression.....	- 38 -

LISTE DES FIGURES

Chapitre I. RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES

- Figure I-1 : Une calcite dans le système rhomboédrique..... - 9 -
- Figure I-2 : Agression du béton par activité des chlorures. [BOUALLEG,S.2004] - 16 -

Chapitre II. CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISES

- Figure II-1 : Essais d'équivalent de sable..... - 19 -
- Figure II- 2 : Machine d'Analyse Granulométrique Par Tamisage..... - 20 -
- Figure II-3 : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau - 21 -
- Figure II- 4 : Essai la masse volumique apparente..... - 22 -
- Figure II-5 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre B.....- 23 -
- Figure II-6 : machine de l'essai maniabilimètre B.....- 23 -
- Figure II-7 : la courbe granulométrique du sable de DJAMAA –EL OUED.....- 24 -
- Figure II-8 : les étapes de broyage de sable de dune..... - 25 -
- Figure II-9 : Fumé de silice utilisé.....- 26 -
- Figure II- 10 : le ciment utilisé.....- 27 -
- Figure II- 11 : table de choc et moules des éprouvettes (40x40x160) mm.- 29 -
- Figure II- 12 : Les éprouvettes à l'aire libre.....- 29 -
- Figure II- 13 : Film de plastique.....- 29 -
- Figure II- 14 : Les éprouvettes dans l'eau de robinet.....- 30 -
- Figure II- 15 : Les éprouvettes dans l'eau de nappe phréatique.....- 30 -
- Figure II- 16 : Eau de la nappe phréatique de (cité NASRE-Ouargla).....- 30 -

Chapitre III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

- Figure III-1 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....- 32 -
- Figure III-2 : Résistance à la flexion des éprouvettes conservées à l'aire libre.....- 34 -
- Figure III-3 : Résistance à la flexion des éprouvettes conservées dans le film de plastique....- 34 -

Figure III-4 : Résistance à la flexion des éprouvettes conservées dans l'eau de robinet	35 -
Figure III-5 : Résistance à la flexion des éprouvettes conservées dans l'eau de	35 -
la nappe phréatique	
Figure III-6 : Résistance à la flexion des éprouvettes de mortier classique aux	36 -
différents milieux	
Figure III-7 : Résistance à la flexion des éprouvettes de mortier avec 5SDP et 2FS.....	36 -
aux différents milieux	
Figure III-8 : Résistance à la flexion des éprouvettes de mortier avec 10 SDP et.....	37 -
2 FS aux différents milieux	
Figure III-9 : dispositif de rupture en compression.....	38 -
Figure III-10 : Résistance à la compression des éprouvettes conservées à l'aire libre.....	39 -
Figure III-11 : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans	39 -
le film de plastique.	
Figure III-12 : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans	40-
l'eau de robinet	
Figure III-13 : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans	40 -
l'eau de la nappe phréatique	
Figure III-14 : Résistance à la compression des éprouvettes de mortier classique.....	41 -
aux différents milieux	
Figure III-15 : Résistance à la compression des éprouvettes de mortier	42 -
avec 5SDP et 2FS aux différents milieux	
Figure III-16 : Résistance à la compression des éprouvettes de mortier	42 -
avec 10 SDP et 2 FS aux différents milieux	

ABSERVATIONS UTILISEES

C : Quantité de Ciment.

SC : Quantité de sable de construction.

E : Quantité d'eau.

SDP : Quantité de Sable de dunes en poudre

FS : Quantité de Fumée de silice.

E/L : Le rapporte de l'eau sur liant.

E_{Sv} : Equivalent de sable visuel.

E_{Sp} : Equivalent de sable piston.

M_f : Module de la finesse.

R_c(%) : pourcentage de refus cumulés.

C_u : Facteur d'uniformité.

C_c : Facteur de courbure.

F(%) : Pourcentage de fines.

M_{vapp} : La masse volumique apparente.

M_{vabs} : La masse volumique absolue.

M_v : La masse volumique de poudre.

F_f : La charge de rupture d'éprouvette à la flexion.

R_f : La contrainte de la résistance à la flexion.

F_c : La charge de rupture d'éprouvette à la compression.

R_c : La contrainte de la résistance à la compression.

A L : Air libre.

F P : Film de plastique.

E R : Eau de robinet.

E N P : Eau de la nappe phréatique.



INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale :

La durabilité des ouvrages en béton armé est un facteur très important dans le domaine de génie civil pour les constructions civiles ou industrielles, par ce que les altérations du béton sont variées ; elles atteignent soit la matrice cimentaire soient les armatures, et par fois les deux. Leurs origines sont très nombreuses à savoir entre autres : la mise en œuvre, la résistance mécanique du béton à 28 jours, les fissures formées sous l'effet des contraintes qui s'appliquent à l'ouvrage et les agents agressifs du milieu extérieur.

L'Algérie, surtout le sud, est riche en matériaux naturels, qui peuvent être utilisés directement dans le domaine de la construction. Il faudrait bien étudier leurs propriétés afin d'étendre leur utilisation. Parmi ces matériaux, qui peuvent être exploités, et que nous allons étudier, sable de dune est disponible en grande quantité et les études de la valorisation de ce matériau est inexistante dans le domaine de construction, et nous ajoutons aussi dans cette étude la fumée de silice.

L'objectif principal de cette étude est d'apporter une contribution à l'évaluation des effets des ajouts minéraux tels que sable de dunes broyé et fumé de silice sur la durabilité de mortier.

Ce travail est composite à trois chapitres comme suit :

- Dans le **premier chapitre** on a deux parties :

La première partie : est une étude généralité sur le mortier avec des additions minérales, définition pour tous les matériaux par la composition de mortier.

La deuxième partie : présente des généralités sur la durabilité et les agents influents.

- Et au **deuxième chapitre** : les essais utilisés dans cette recherche, pour connaître les caractéristiques des matériaux utilisés.
- En **dernier chapitre** : Nous avons résumé les résultats de tous les essais physique et mécanique, avec la discussion.

Une conclusion générale des principaux résultats dégagés lors de cette étude ainsi que des recommandations retenues sont présentées à la fin.



CHAPITRE I : RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES



CHAPITRE I : Recherches bibliographiques

Introduction :

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon. Le mortier est un matériau composé par mélange de sable de construction, de ciment et de l'eau.

PARTIE A : Mortiers et constituants des mortiers

I.A.1 Constituants du mortier :

I.A.1.1 Le ciment :

Les ciments sont des liants hydrauliques en forme des poudres fine chimiques constituées de silicates et d'aluminates de chaux qui s'hydratent en présence d'eau pour donner naissance à un matériau solide qui conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. [KADRI. A, 2014]

I.A.1.1.1 Constituants du ciment : [NF EN 197-1] [C T SIA,2014]

➤ Constituants principaux

- **Clinker Portland (K)**

Le clinker Portland est obtenu par calcination d'un mélange précis de matières premières (calcaire, marne, argile) à la température de 1450°C environ.

- **Laitier de haut fourneau (S)**

Le laitier de haut fourneau est obtenu par refroidissement rapide d'un laitier fondu de composition appropriée, provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau. Une activation convenable donne à ce laitier des propriétés hydrauliques (également désignées sous le nom d'hydraulicité latente).

- **Fumée de silice (D)**

La fumée de silice provient de la réduction d'un quartz de grande pureté par du charbon dans les fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliages de Ferro silicium. Elle est formée de particules sphériques extrêmement fines contenant au moins 85% en masse de silice amorphe. La fumée de silice a des propriétés pouzzolaniques.

- **Matériaux pouzzolaniques (P, Q)**

Les matériaux pouzzolaniques sont des substances naturelles siliceuses ou silico-alumineuses, ou une combinaison de celles-ci.

Pouzzolanes naturelles (P)

Les pouzzolanes naturelles sont en général des matériaux d'origine volcanique ou des roches sédimentaires dotées d'une composition chimique et minéralogique appropriée.

Pouzzolanes naturelles calcinées (Q)

Les pouzzolanes naturelles calcinées sont des matériaux d'origine volcanique, des argiles, des schistes ou des roches sédimentaires activés thermiquement.

- **Cendres volantes (V, W)**

Les cendres volantes sont obtenues par précipitation électrostatique ou mécanique de particules pulvérulentes contenues dans les fumées des chaudières alimentées au charbon pulvérisé.

- **Schiste calciné (T)**

Le schiste calciné, et en particulier le schiste bitumineux calciné, est produit dans un four spécial à une température d'environ 800°C. Finement broyé, il présente des propriétés fortement hydrauliques aussi bien que pouzzolaniques.

- **Calcaire (L, LL)**

Le calcaire est un ajout inerte. Il est classé en deux catégories, selon sa teneur en carbone organique total (TOC) :

Calcaire normal (L) : $\text{TOC} \leq 0,5\%$ en masse

Calcaire de haute qualité (LL) : $\text{TOC} \leq 0,2\%$ en masse

➤ **Constituants secondaires**

Les constituants secondaires sont des matériaux minéraux dérivés du processus de fabrication du clinker et spécialement sélectionnés. Il peut aussi s'agir de constituants principaux en faibles quantités (0–5% en masse) dans la mesure où ils ne sont pas déjà incorporés en tant que tels dans le ciment.

➤ Sulfate de calcium

Le sulfate de calcium est ajouté aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication, pour réguler la prise. Le sulfate de calcium peut être incorporé sous forme de gypse, d'hémi hydrate, d'anhydrite ou de tout mélange de ceux-ci.

I.A.1.1.2 Les types de ciments et leur composition SN EN 197-1

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication.

Le tableau (I-1) ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun deux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent [FESTA.J et al, 2017, N 3].

Tableau I-1 : Les différents types de ciment courants [FESTA.J et al, 2017].

Désignations	Types de ciments	Clinker %	% de l'un de constituants suivants	Gypse %
C PA-CEM I	Ciment portland	95 à 100	-	0 à 5
C PJ-CEM II/A	Ciment portland composé	80 à 94	6-20 de l'un des constituants, sauf FS 6-10	
CPJ-CEMII/B		65 à 79	21-35 avec les mêmes restrictions que ci-dessus	
CHF-CEM III/A CHF-CEM III/B CLK-CEMIII/C	Ciment de hautfourneau	35 à 64	35-65 de L	
		20 à 34	66-80 de L	
		5 à 19	81-95 de L	
CPZ-CEMIV/A CPZ-CEMIV/B	Ciment Pouzzolanique	65 à 90	10-35 de PZ, C ou FS	
		45 à 64	36-55 comme ci-dessus	
CLC-CEM V/A CLC-CEM V/B	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64	18-30 de L et 18-30 de C ou de PZ	
		20 à 39	31-50 de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	
L : laitier - P : pouzzolanes - C : cendres - W : Calcaires - S : Schistes - FS : fumées de silice				

I.A.1.1.3 Exigences physiques et mécaniques :

Trois classes de résistance initiale sont définies pour chaque classe de résistance définie par la norme. La signification des lettres est la suivante [C T SIA,2014] :

L faible résistance initiale (lettre distinctive L = Low), (seulement pour les ciments de haut-fourneau de type CEM III)

N résistance initiale ordinaire (lettre distinctive N = Normal)

R résistance initiale élevée (lettre distinctive R = Rapid)

**Tableau I-2 : Spécification et valeurs garanties en fonction de classe de résistance [SN EN 197-1]
[C T SIA,2014]**

Classe de résistance	Résistance à la compression [N/mm ²]			Temps de début de prise [min]	
	Résistance initiale		Résistance normale		
	2 jours	7 jours	28 jours		
32.5 L	-	≥12,0	≥32,5	≥52,5	≥75
32.5 N	-	≥16,0			
32.5 R	≥10,0	-			
42.5 L	-	≥16,0	≥42,5	≥62,5	≥60
42.5 N	≥10,0	-			
42.5 R	≥20,0	-			
52.5 L	≥10,0	-	≥52,5	-	≥45
52.5 N	≥20,0	-			
52. R	≥30,0	-			

I.A.1.2 Sable de construction :

Le sable est le résultat d'une lente rupture des roches sous l'influence de facteurs naturels. Les sables de dune ont été utilisés depuis l'antiquité dans la construction de barrages, de fondations et de routes. [BELHOCINE, A et NAGOUDI,N.2014]

Suivant leurs grosseurs les sables sont classés en :

- Sable fin de 0.03 à 0.315 mm
- Sable moyen de 0.315 à 2 mm
- Sable gros de 2 à 5 mm

Ils peuvent aussi être distingués selon leur origine par les normes [P18-541, 2007] :

I.A.1.2.1 Sables naturels roulés :

- Sable de mer : il provient des cotes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, Il devrait être lavé sel.
- Sable de carrière : il contient souvent de l'argile.
- Sable de rivière : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau.
- Sable de dune : c'est un sable très fin, qu'on retrouve un peu partout aux Sahara, Les dunes de sable sont très disponibles dans le désert d'Algérie.

I.A.1.2.2 Sables artificiels :

On peut les obtenir par :

- Broyage de certains déchets.
- Transformation industrielle de l'argile

Les composants rentrant dans la composition du béton de sable sont ceux du béton traditionnel à l'exception des fines d'ajout. Il s'agit donc de composants normalisés.

I.A.1.3 L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage est nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton (effet lubrifiant) dans la mesure où on n'abuse pas de cette influence par un excès d'eau qui diminue les résistances et la durabilité du mortier. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours. Le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. La quantité d'eau varie avec un très grand nombre de facteurs (teneur en essentiel ciment, granulats, consistance recherchée du béton frais) ; elle est en général comprise entre 140 et 210 l/m³. Il convient de tenir compte de l'eau apportée par les granulats. Il est souvent utile de contrôler la plasticité à l'aide d'essais simple connus. Le rapport E/C est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre de l'ouvrabilité du béton et de sa qualité, résistance mécanique à la compression, durabilité. [AMRAOUI, B et LAGHA, S A.2015]

I.A.2 Les additifs :

Les additifs sont ajoutés pour améliorer la fabrication ou les propriétés du ciment, tels que, par exemple, des agents de mouture. La quantité totale de tels additifs ne devrait pas dépasser 1 % en masse du ciment. Dans le cas contraire, la quantité doit être mentionnée sur les emballages et/ou les bons de livraison. Ces additifs ne doivent pas favoriser la corrosion des armatures ou influencer défavorablement les propriétés du ciment ou du mortier et du béton fabriqués avec ce ciment. [MEZARI, N. 2013]

I.A.2.1 Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés à faible dose (moins de 5% de la masse du ciment) dans le béton ou le mortier, afin de modifier certaines de ses propriétés. L'incorporation se fait soit avant, pendant le mélange, ou bien au cours d'une opération supplémentaire de malaxage. Ils sont classés suivant leur fonction principale et on peut

distinguer trois grandes catégories d'adjuvants [Dreux. G et Festa. J, 1998] [DUPAIN, R, LANCHON. R, et JEAN-C, S A. 1995] :

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton : plastifiants, réducteurs d'eau, super plastifiants.
- Ceux qui modifient la prise et le durcissement : accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise.
- Ceux qui modifient certaines propriétés particulières : entraîneurs d'air, générateurs de gaz.

I.A.2.2 Les ajouts minéraux :

Les additions minérales ou fillers sont des grains qui ne dépassent pas 0.08 mm. Les fines sont des produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches naturelles ou artificielles (calcaire, basalte, laitier...). L'incorporation de l'addition minérale permet le remplissage d'une partie du volume des vides du squelette granulaire par les particules fines, et donc libérer l'eau contenue dans les pores. Si la quantité d'eau est réduite, et la maniabilité est conservée, la résistance mécanique va s'améliorer. La réduction progressive du dosage en eau pour une même consistance en incorporant les additions. [BENACHOUR. Y, 2009]

I.A.2.2.1 Fillers calcaires :

Les normes françaises (1979) définissent les fillers de la façon suivant : produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basaltes, laitiers, cendres volantes...) naturels ou non. [BOUALI, K. 2014]

I.A.2.2.2 Le gypse :

C'est une espèce minérale qui se compose de sulfate de calcium hydraté. [BOUALI, K. 2014]

Tableau I-3 : Composition chimique du gypse. [BOUALI, K. 2014]

Composant	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	K₂O	Na₂O	SO₃	Cl-
%	10.05	2.99	1.55	26.90	3.86	0.41	0.05	30.33	0.007

I.A.2.2.3 Sable de dune :

Le sable est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie...etc. ce matériau se trouve en grande quantité dans les régions - sahariennes. Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers.

Le sable de dunes est un matériau d'une grande disponibilité en Algérie. Ce matériau est pratiquement non exploité, malgré les éventuelles caractéristiques qu'il peut présenter.

L'introduction de ce nouveau matériau dans la construction, peut soulager davantage le domaine d'habitat, et contribuer au développement des régions du sud algérien, très riches en sable de dune. [BELHOCINE, A et NAGOUDI, N. 2014]

I.A.2.2.4 La pouzzolane [DAHMANI.S, 2018]

Les pouzzolanes sont exploitées pour la production des ciments composés. Ce sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes. On a deux types :

a) Pouzzolane naturelle

Les pouzzolanes naturelles sont des matériaux d'origine naturelle qui peuvent avoir été calcinés dans un four ou transformés, puis broyés pour obtenir une fine poudre. Les variétés de Pouzzolanes naturelles les plus fréquemment utilisées en Amérique du Nord à l'heure actuelle comprennent l'argile calcinée, le schiste calciné et le méta kaolin. De la terre de diatomées est également utilisée en Californie. Les pouzzolanes naturelles, y compris le métakaolin, doivent satisfaire aux exigences de la norme CSA A 3001, Liants utilisés dans le béton (ASTM C 618). [DAHMANI.S, 2018]

b) Pouzzolane artificielle

Les pouzzolanes artificielles sont toute matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolanique. Elles sont des déchets de différentes industries. Soit des résidus de fabrication industrielle tel que le Mach fers, cendre de bois ou d'houille, soit des débris de brique et de tuile fabriquées avec des argiles pures à des températures modérées. On distingue aussi le schiste cuit, et les déchets de l'industrie à base de méta kaolinite. [DAHMANI.S, 2018]

I.A.2.2.5 La fumée de silice :

La fumée de silice est un sous-produit des usines de fabrication d'alliages de silicium (Si) et de Ferro silicium, obtenu dans un four à arc à partir de quartz de grande pureté et de charbon. Le SiO entraîne par le gaz depuis la zone de combustion des fours s'oxyde et se condense sous forme de particules de silice amorphe (SiO₂) sphériques extrêmement fines, cette finesse

accélère la réaction avec l'hydroxyde de calcium produit lors d'hydratation du ciment portland, la plus petite particule peuvent combler le vide entre les grains de ciment.

Lorsque le four comprend un système de récupération de chaleur, la majeure partie du carbone est brûlé et on va obtenir une fumée de silice sans carbone et de couleur clair. Autrement on va obtenir une fumée de silice de couleur foncée (grise). [KADRIA, 2014]

I.A.2.2.6 Le laitier de haut fourneau :

Est obtenu par refroidissement rapide (brusque) de la scorie fondue de composition convenable provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau. Pour convenir à son emploi en cimenterie, il doit présenter des propriétés hydrauliques latentes, c'est-à-dire qui se manifestent quand le laitier subit une activation convenable (par le clinker, la chaux ou des hydroxydes alcalins). Néanmoins, on le qualifie de matériau hydraulique latent, puisqu'en présence d'eau uniquement, il ne forme pas de matériau durci. Il se compose principalement de silice (SiO_2), chaux (CaO), alumine (Al_2O_3) et d'oxydes de magnésium (MgO). [BENIA.M, 2016]

I.A.2.2.7 Les colorants :

On peut donner la couleur au mortier par des granulats ou des pigments minéraux. Ces derniers devraient avoir la composition d'oxydes minéraux et ne pas représenter plus de 6% du poids du ciment portland. L'ajout d'une trop grande quantité de pigment diminuera la résistance et la durabilité. Le poids maximal de pigment ne devra pas dépasser, en poids, 1% du ciment, sauf dans le cas de noir de carbone qui ne devrait pas représenter plus de 2%. [BOUALI. K, 2014]

I.A.2.2.8 Les calcites :

Ce sont des ajouts incolores de couleur blanche, jaune, brune, rouge, et noire. Elles se composent que de CaCO_3 , leur densité varie entre 2,6 et 2,8, leur Indice de réfraction varie entre 1,48 et 1,65. Elles éclatent dans la flamme et libèrent CO_2 , le CaO naissant colore la flamme en orange, bouillonne dans HCl . [BOUALI. K, 2014]

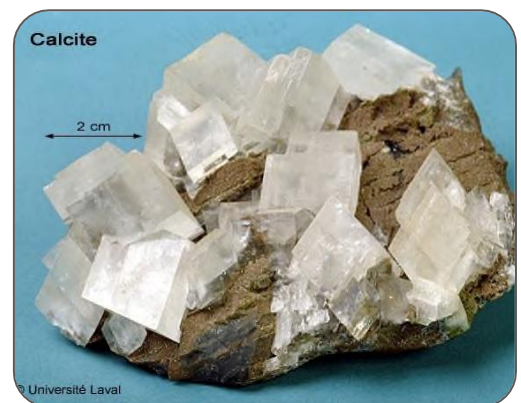


Figure I-1 : Une calcite dans le système rhomboédrique.
[BOUALI. K, 2014]

I.A.2.3 Classification des ajouts minéraux :

Ces matériaux proviennent principalement des sous-produits de l'industrie métallurgique, des centrales thermiques à charbon, de la nature et sont classés selon la norme NF EN 197 1 en ajouts minéraux inertes et actifs. [BELHOCINE, A et NAGOUDI, N.2014]

Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau (I-4) ci-dessous :

Tableau I- 4 : Classification des ajouts selon leur réactivité. [BELHOCINE, A et NAGOUDI, N.2014]

Type	Réactivité	Matériau
Hydraulique	Fortement réactif	Ciments spéciaux-chaux hydraulique
Hydraulique Latent		Laitier granulé-cendres volantes riche en calcium (calciques)
Pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement Réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, terres a diatomées
	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers (farine calcaire...) fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétique

I.A.3 Différents types des mortiers :

Les mortiers se partagent en différents types [GCI712, 2009]

I.A.3.1 Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1m³ de sable.

I.A.3.2 Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique.

I.A.3.3 Les mortiers bâtards :

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

I.A.3.4 Mortier réfractaire :

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues ...

I.A.3.5 Mortier rapide :

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements.

I.A.3.6 Mortier industriel :

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiment.
- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment...
- Mortier de réparation.

PARTIE B : La durabilité

I.B.1 Introduction :

La durabilité d'un béton dépend d'une multitude de caractéristiques du matériau, aussi de l'agressivité de son environnement. Un élément en béton qui subit des cycles de chargement et de déchargement ou de mouillage et de séchage, par exemple, peut se fissurer à cause de ces cycles. Des agents agressifs extérieurs pénétreront facilement dans sa matrice à travers les fissures et microfissures formées. Ces agents agressifs peuvent, par la suite, réagir avec les hydrates pour diminuer davantage la capacité portante de l'élément [BESSNOUCLIM, 2010]

I.B.2 Définition de la durabilité :

La durabilité d'un béton est de pouvoir conserver sa résistance et de continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile pas à une durée indéfinie. [KATHERINE, H.2017]

I.B.3 Les indicateurs de durabilité :

L'application de la démarche performantielle en phase de conception nécessite, en premier temps, un recensement des indicateurs de durabilité. Ces derniers sont choisis en fonction de leur importance vis-à-vis de la durabilité, des caractéristiques de l'ouvrage et de son environnement et des choix des dispositions constructives (enrobage, ...). Ces sont des paramètres simples mais pertinents pour quantifier les phénomènes et pour élaborer les outils prédictifs. [FISTA, J et DREUX, G.1998]

Les indicateurs de durabilité sont [AFGC, 2004] :

- la porosité accessible à l'eau.
- la porosité accessible au mercure.
- la perméabilité au gaz.
- la perméabilité à l'eau liquide.
- le coefficient de diffusion (apparent ou effectif) des ions chlorure.
- le coefficient de diffusion de l'O₂.
- la teneur en portlandite.
- le coefficient d'absorption capillaire et la résistivité électrique.

I.B.3.1 La porosité :

Le béton est un matériau poreux, en d'autres termes, il comporte des pores ou vides, ces pores sont déterminants pour la résistance et la durabilité du béton. En effet, une faible porosité constitue le meilleur moyen de défense des bétons contre tous les agents agressifs. [AMRAOUI,B et LAGHA,S. 2015]

I.B.3.2 La perméabilité :

I.B.3.2.1 Définition :

Dans de nombreux cas ce n'est pas uniquement l'étanchéité des éléments qui contrôle la durabilité des structures mais aussi la perméabilité du matériau béton. Plusieurs études et relevés sur le terrain montrent que les causes principales de la mauvaise performance du béton sont plus ou moins liées à la facilité avec laquelle un fluide ou un ion pénètre dans la porosité du béton. Cela implique que la perméabilité du béton est un autre paramètre fondamental contrôlant la durabilité des structures. La perméabilité d'un matériau se définit comme son aptitude à se laisser traverser par un fluide (eau ou gaz par exemple) sous l'effet d'un gradient de pression. [GAGNÉ, R.2000]

I.B.3.2.2 Perméabilité au gaz :

LAWRENCE mesure la perméabilité au gaz de trois béton formules à partir d'un ciment portland ordinaires d'un ciment contenant des cendres volantes et d'un ciment contenant des laitiers, en prenant soin de les comparer pour de mêmes valeurs de résistance mécanique développée, généralement, les additions minérales augmentent la compacité de la matrice cimentaire. [BEN MOSTEFA.F et BOUHAFS.K, 2010]

I.B.3.2.3 Perméabilité au l'eau :

La perméabilité à l'eau est très sensible à la microstructure puisque sa valeur peut varier jusqu' à quatre ordres de grandeur entre le jeune âge et une cure prolongée. La perméabilité à l'eau de matériaux cimentaires est diminuée de plus d'un ordre de grandeur par la simple perse d'additions minérales car elles développent une matrice de porosité plus fine comportant des chemins de percolation plus discontinus et tortueux. [ZEROUB.H, 2012]

I.B.4 Attaque chimique par différents milieux agressifs [FERHATI,T.2016]

Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en trois catégories :

- A- L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates.
- B- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.
- C- La formation de produits expansifs à l'intérieur du béton

➤ Différents types de Les attaques chimiques du béton

- 1) Les attaques sulfatiques.
- 2) Les dégradations dues à l'eau de mer.
- 3) Attaque par les ions chlorures.
- 4) L'alcali-réaction.
- 5) Attaque par les acides.
- 6) La carbonatation.

I.B.4.1 Les attaques sulfatiques :

I.B.4.1.1 Définition de l'attaque sulfatiques :

La résistance du béton aux attaques des sulfates est l'un des facteurs les plus importants pour sa durabilité. Le problème est aussi ancien que le béton et on a commencé à l'étudier il y a déjà près de 100 ans.

L'attaque sulfatiques est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits «secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimico-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de résistance et de cohésion). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé. [Saida,B.2004]

I.B.4.1.2 Mécanismes d'attaques :

Les sulfates peuvent détériorer le béton selon deux mécanismes physico-chimiques :

- Expansion ;
- Perte des propriétés liantes des C-S-H.

Les aluminates et la portlandite sont les deux produits les plus sensibles à l'attaque par les sulfates.

I.B.4.2 Les dégradations dues à l'eau de mer :

L'eau de mer est intrinsèquement un milieu modérément agressif chimiquement. Toutefois, dans les zones de marnage et d'aspersion, soumises aux cycles d'humidification/ séchage ainsi qu'aux effets mécaniques des vagues, le milieu doit être considéré comme fortement agressif. [OLIVIER, J P et al 2008]

I.B.4.3 Attaque par les ions chlorures :

I.B.4.3.1 Définition de l'attaque par les ions chlorures :

La corrosion des armatures générée par les ions chlorures est la principale cause de dégradation des structures en béton armé. Les chlorures agissent dans les mécanismes de corrosion en diminuant la résistivité de l'électrolyte et en permettant un amorçage plus rapide de la corrosion en dépassant la couche superficielle. La corrosion qui en résulte sous forme de piqûres à la surface de l'acier est une corrosion localisée. Les chlorures agissent aux zones anodiques, de surface bien plus petite que celles des zones cathodiques, et la vitesse de corrosion sur les zones anodiques s'en trouve fortement augmentée. [NDZANA, A G et TCHOUMI, S]

I.B.4.3.2 Source de l'attaque des ions chlorures :

Les chlorures présents dans le béton peuvent provenir de deux sources différentes. Soit ils sont présents au moment du gâchage : utilisation d'eau contenant des chlorures ou agrégats contaminés. Soit ils proviennent de l'environnement (atmosphère marine, sels de déverglaçage, produits chimiques) et ont diffusés dans le béton. Les chlorures existent sous deux formes dans le béton :

- Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle.

- Les chlorures piégés ou liés qui sont combinés à des hydrates du ciment et à des agrégats, ou absorbés physiquement sur les parois des pores.

On considère que seuls les chlorures libres peuvent diffuser et jouer un rôle actif dans le processus de dépassivation et de corrosion des armatures. [NDZANA, A G et TCHOUMI, S]



Figure I-2 : Agression du béton par activité des chlorures. [BOUALLEG,S.2004]

I.B.4.4 L'alcali-réaction :

I.B.4.4.1 Définition :

L'alcali-réaction, que l'on appelle aussi communément réaction alcali-granulat, désigne la réaction chimique entre la silice amorphe ou mal cristallisée contenue dans les granulats réactifs et certains ions de la solution interstitielle. Les conséquences macroscopiques de la réaction sont le gonflement des ouvrages atteints qui entraînent de la fissuration et la chute des caractéristiques mécaniques du béton [SENHADJI,Y.2006][STEPHANE,P]

I.B.4.4.2 Les différents types d'alcali-réaction :

Il est admis que les alcali-réactions se présentent sous trois types : réaction alcali-silice (les plus fréquentes), réaction alcali-silicate, réaction alcali-carbonate. [OLIVIER, J P et al 2008]

a- Réaction alcali-silice (RAS) :

Certains granulats siliceux, lorsqu'ils sont constitués de silice amorphe, mal cristallisée ou microcristalline (par exemple des verres, de l'opale, de la calcédoine...) sont attaqués par la solution interstitielle qui occupe les pores du béton. La silice libérée réagit ensuite avec les alcalins Na^+ , K^+ de cette solution interstitielle et l'on observe finalement, l'apparition de gels silico-alcalins s'ils renferment Si, Na (et ou K) ou calco-silico-alcalins s'ils contiennent, en plus, du calcium.

b- Réaction alcali-silicate :

La différence essentielle avec la réaction alcali-silice réside dans le fait que les granulats réactifs ne sont pas formés de silice libre mais sont des silicates variés (phyllo-silicates, tecto-silicates, sains ou altérés). En ce qui concerne les produits de la réaction, on admet qu'ils sont voisins de ceux apparus dans la réaction alcalisilice ; des études plus anciennes signalaient que l'on n'observe pas la production de gels siliceux.

c- Réaction alcali-carbonate :

On désigne par cette expression la réaction manifestée par des calcaires dolomitiques qui renferment des impuretés phylliteuses. Sur le plan pratique, on retiendra que les expansions causées par cette réaction sont moins importantes que celles dues aux réactions alcali-silice et alcali-silicate sauf si le béton est soumis à des ambiances hivernales rigoureuses.

I.B.4.4.3 Source de cette attaque :

Ces alcalins proviennent d'une part du ciment, et d'autre part, des autres constituants du béton (granulats, eau de gâchage, adjuvants...). Initialement, ils sont présents à l'état diffus dans les phases anhydres, et ils se dissolvent à l'état basique ($K+OH^-$, $Na+OH^-$) lors de l'hydratation. [RECOMMANDATION N°T1-96]

I.B.4.5 Attaques acides :

Le béton présente un caractère basique élevé induit par les composés hydratés de la pâte de ciment (la phase interstitielle contenue dans le béton a un pH très élevé).

Il peut donc présenter une certaine réactivité vis-à-vis des solutions acides telles que les pluies acides, les eaux naturelles chargées en dioxyde de carbone, les eaux résiduaires, les eaux des industries agroalimentaires ou industrielles contenant des acides organiques, les eaux chargées en acides minéraux, mais aussi les eaux pures.[COURS ONLINE.2016]

I.B.4.6 La carbonatation :

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel qui concerne tous les bétons et qui conduit à la formation de carbonates de calcium par réaction entre les composés des ciments (principalement la portlandite) et le dioxyde de carbone atmosphérique (CO_2), présent dans l'air à un taux moyen de 0,03 % en volume, Ce taux est plus important en milieu urbain qu'en milieu rural. Elle est un phénomène chimique présent dans l'épiderme du béton tout au long de sa vie. La combinaison de l'hydrate de chaux (contenu dans le ciment) et de

l'acide carbonique de l'air forme du calcaire en libérant de l'eau, le pH du béton baisse et la corrosion des aciers commence. [Saida,B.2004] [Dossier technique : Le LERM]

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons parlé en générale dans la première partie sur le mortier et leur constituant, connaître les différentes additions minérales sur le ciment (sable de dunes en poudre, la fumée de silice..). A la deuxième partie nous avons parlé sur la durabilité, ses indicateurs et les différents milieux agressives.



CHAPITRE II :
CARACTERISATION DES
MATERIAUX UTILISES



CHAPITRE II : Essais et caractérisation des matériaux utilisés

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous basons sur la caractérisation des différents constituants entrant dans la composition du mortier et les différents essais utilisés.

II.2 Méthodes expérimentales :

II.2.1 Equivalent de sable (la norme NF P 18 -598) :

a-But de l'essai :

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de détermination un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

b-Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et laisse reposer le tout. Au bout de 20minutes, on mesure les éléments suivants :

- **Hauteur h_1** : sable propre +éléments fins,
- **Hauteur h_2** : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est :

$$E_s = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (\text{II-1})$$

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine **ES_v** (équivalent de sable visuel) ou **ES_p** (équivalent de sable au piston).

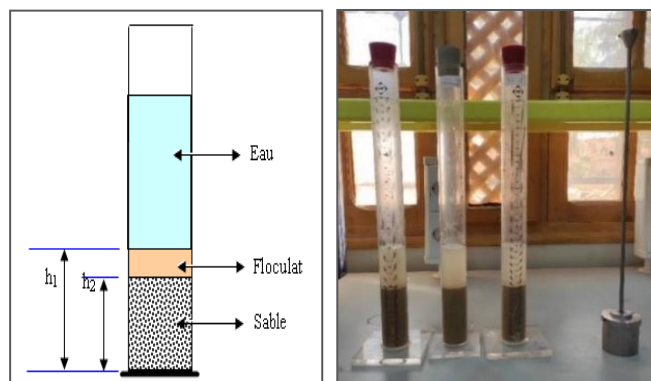


Figure II-1 : Essais d'équivalent de sable.

II.2.2 Analyse granulométrique par tamisage (NFP 18-560)

L'analyse Granulométrique par tamisage est une méthode d'essai qui consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. On trace ensuite la Courbe Granulométrique, courbe exprimant les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant dans les tamis successifs.

a. But de l'essai :

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

L'analyse granulométrique a trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral).
- En déduire le Module de finesse (M_F).



Figure II- 2 : Machine d'Analyse Granulométrique Par Tamisage.

b. Module de finesse M_F :

C'est un module qui nous permet de caractériser la finesse des différents types de sable par la somme des pourcentages des refus cumulés pour les tamis de série suivant (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5 mm).

$$M_F = \frac{\sum R_c}{100} \% \quad (\text{II-2})$$

c. Facteur d'uniformité C_u :

C'est un coefficient pour la classification des agrégats. On définit l'uniformité d'une granulométrie par le coefficient de HAZEN ou coefficient d'uniformité.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (\text{II-3})$$

D60 : Diamètre du tamis auquel passe 60% du poids des grains.

D10 : Diamètre du tamis auquel passe 10% du poids des grains.

Pour $C_U > 2$, la granulométrie est dite étalée. Et pour $C_U < 2$, la granulométrie est dite serrée.

d. Le pourcentage des fines (F) :

Le pourcentage des fines (F) passant à travers le tamis de 0.08 mm est égale à :

$$F(\%) = \frac{M_1 - M_2 + P}{M_1} \times 100 \quad (\text{II-4})$$

M₁ : masse de la prise d'essai, en Kg.

M₂ : masse séchée du refus à 0.08 mm, en Kg.

P : masse du tamisât dans le fond, en Kg.

II.2.3 La masse volumique (NF P18-301) :

II.2.3.1 La masse volumique absolue :

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse d'un mètre cube de ce matériau, déduction faite de tous les vides, aussi bien des vides entre les grains que des vides à l'intérieur des grains. La masse volumique absolue est :

$$M_{V \text{ abs}} = \frac{M_S}{(V_2 - V_1)} \quad (\text{II-5})$$

M_{V abs} : Masse volumique absolue.

M_s : Masse des grains solides

V₁ : volume de l'eau

V₂ : volume total (grains solides+ eau).

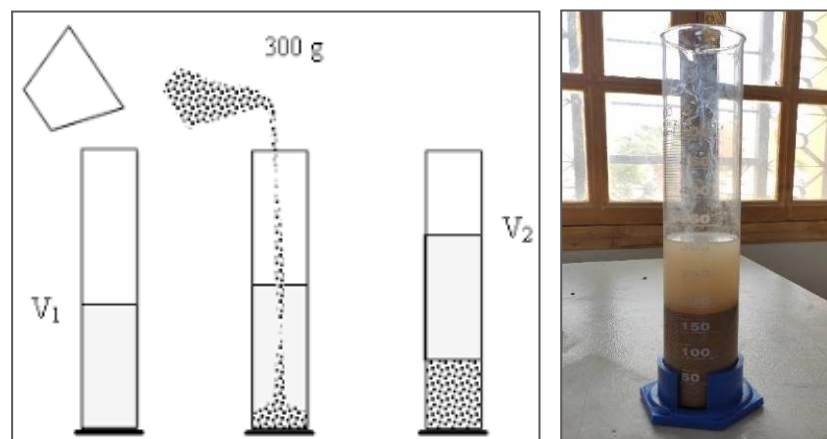


Figure II-3 : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau. [BOULIFA. M et al 2017]

II.2.3.2 La masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. La masse volumique apparente à partir de la formule suivante :

$$M_{V \text{ app}} = \frac{M_T - M_0}{V} \quad (\text{II-6})$$

Avec :

M_0 : La masse du récipient de mesure vide.

M_T : La masse du récipient avec l'échantillon.

V : Le volume du récipient de mesure.



Figure II- 4 : Essai la masse volumique apparente.

II.2.3.3 Masse volumique absolue pour les poudres (NF P18-558)

- **Objectif de l'essai**

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue du ciment anhydre qui varie en fonction de la composition du ciment, tout en restant comprise entre 2,9 et 3,20 g/cm³.

La masse volumique absolue est donnée par le rapport :

$$M_V = \frac{64}{(N_1 - N_0)} \quad (\text{II-7})$$

II.2.4 Essai au maniabilimètre B :

- **Objectif de l'essai**

C'est une mesure qui est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, ou super plastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. [DUPAIN. R et al, 2000]

- **Principe d'essai**

Dans ces essais la consistance est caractérisée par le temps que le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. [DUPAIN. R et al, 2000]

- **Mode d'opérateur**

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison son et mis en place en 4 couches, chaque couche étant soumise à 6 coups au moyen de la tige de piquage. 4 minutes après la fin du malaxage la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibreur et 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 opposée 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). [DUPAIN. R et al, 2000]

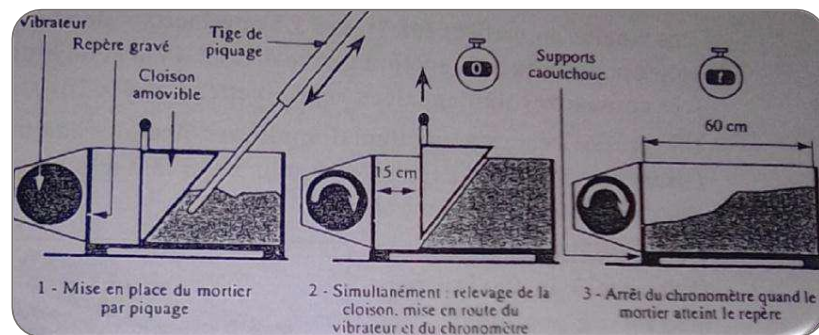


Figure II-5 : principe de fonctionnement du maniabilimètre B [DUPAIN. R et al, 2000]

Tableau II-1 : Classe de consistance selon la durée d'écoulement [BELHOCINE, A et NAGOUDI, N. 2014]

Classe de consistance	Durée (s)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$



Figure II-6 : machine de l'essai maniabilimètre B.

II.3 Les caractéristiques des matériaux :

II.3.1 Sable de construction :

Le sable de construction utilisé est de DJAMAA –EL OUED situé à 211 km au Nord de OUARGLA.

II.3.1.1 Résultats d'analyse granulométrique du sable DJAMAA –EL OUED :

Le courbe suivant représente les résultats d'essai sur le sable.

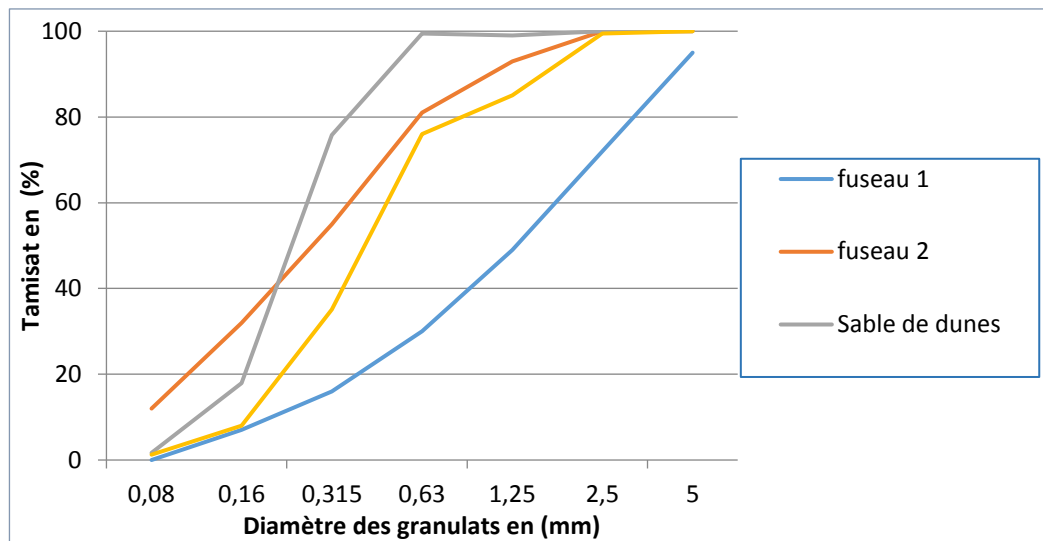


Figure II-7 : la courbe granulométrique du sable de DJAMAA –EL OUED.

II.3.1.2 Caractéristiques physiques du sable de construction utilisé :

Tableau II- 2 : Les caractéristiques de sable de construction

M_f	M_{app} (g/cm ³)	M_{abs} (g/cm ³)	ES_v (%)	ES_p (%)	F (%)	C_u	C_c
2.08	1.65	2.54	71.14	73.43	1.99	3.15	1.96

II.3.2 Sable de dune broyé :

Le sable est un produit de la désagrégation lente des roches sous l'action des agents d'érosion tels que l'air, la pluie...etc. ce matériau se trouve en grande quantité dans les régions sahariennes. Le sable de dune était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblais, de fondations et les travaux routiers.

II.3.2.1 Propriétés du sable de dune broyé :

On utilise un sable de dune de Daira sidi khouild Ouargla c'est un sable fine doré dont la dimension maximale des gros grains est de 2mm. Nous avons utilisé le sable sous forme de

poudre à travers un broyeur de l'université OUARGLA et tamisages au tamis de diamètre 0.08mm.



Figure II-8 : les étapes de broyage de sable de dune.

- **Les propriétés physiques :**

- Masse volumique apparente : $0,960 \text{ g/cm}^3$.
- Masse volumique absolue : $2,55 \text{ g/cm}^3$.
- Surface spécifique de Blaine : $5304 \text{ cm}^2/\text{g}$.

- **Les propriétés chimiques :**

L'analyse chimique du sable de dune en poudre qui effectue au niveau de LTPS Ouargla est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-3 : Analyse chimique de sable de dune en poudre. [GUEMMOUDA,K et ZOUZOU,L.2019]

	NaCl %	CaSO ₄ %	SO ₃ ⁻² %	SO ₄ ⁻² %	CaCO ₃ %	Insoluble%
SDP	0.418	6.263	1.166	1.400	0.00	102.2

II.3.3 Fumé de silice :

Les études sur le lien entre la granulométrie d'un béton et sa résistance mécanique ont conduit à proposer l'introduction d'une petite fraction d'éléments de taille plus réduite que celle des particules du ciment afin d'augmenter la résistance. Parmi les matériaux pouvant constituer ces éléments « fins », la fumée de silice qui présente un intérêt particulier car elle réagit chimiquement dans les mortiers et bétons en améliorant certaines propriétés telles que la maniabilité, la perméabilité, l'adhérence, et la résistance mécanique.

- **Les propriétés physiques :**

- Masse volumique apparente : $0,603 \text{ g/cm}^3$
- Masse volumique absolue : $2,12 \text{ g/cm}^3$
- Surface spécifique de Blaine : $8100 \text{ cm}^2/\text{g}$

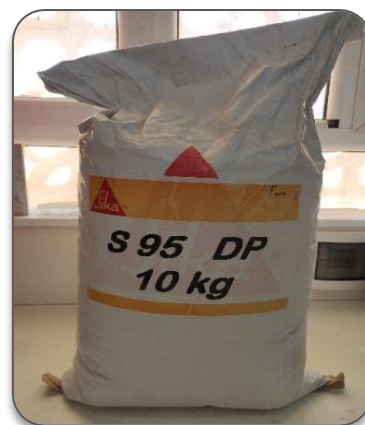


Figure II-9 : Fumé de silice utilisé.

- **Les propriétés chimiques :**

L'analyse chimique du fumé de silice qui effectuée au niveau de LTPS Ouargla est représentée dans le tableau ci-dessous [GUEMMOUDA,K et ZOUZOU,L.2019] :

Tableau II-4 : Les analyses chimiques de fumée de silice. [GUEMMOUDA,K et ZOUZOU,L.2019]

	NaCl %	CaSO ₄ %	SO ₃ ⁻² %	SO ₄ ⁻² %	CaCO ₃ %	Insoluble%
FS	0.865	2.763	0.514	0.618	0.00	95.7

II.3.4 Eau de gâchage (robinet) :

C'est la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de mortier. Elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du mortier. Pour notre cas on utilise « eau de robinet » fournie au laboratoire génie civil d'Ouargla.

Tableau II-5 : Composition chimique de l'eau de gâchage (robinet) .

Composants	Unité	Eau de robinet
Ph	-	7.5
K ⁺	mg/l	25
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	795.2
NaCl	mg/l	1310.4
Sulfates (SO ₄ ⁻²)	mg/l	818.57
CO ₃ ⁻²	mg/l	-
HCO ₃ ⁻	mg/l	97
Calcium (Ca ⁺²)	mg/l	264.53
Magnésium (Mg ⁺²)	mg/l	106.92
Oxyde de Carbone	mg/l	-
Conductivité	ms/cm	4.56
NO ₃ ⁻	mg/l	13

Remarque : l'analyse chimique de l'eau de gâchage est effectuée au sein de laboratoire de LTPS. [BELHOCINE, A et NAGOUDI, N.2014]

II.3.5 Ciment (NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3):

Le ciment utilisé est celui de la cimenterie de M'sila est un ciment gris résistant aux sulfates, le clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.



Figure II- 10 : le ciment utilisé.

La composition chimique du ciment utilisé est représentée dans le tableau ci-dessous :

- **Les propriétés physiques :**

Tableau II-6 : Propriétés physique de ciment.

Consistance normale (%)	Finesse suivant la méthode de Blaine(cm ² /g) (NA231)	Masse volumique absolue g/cm ³	Masse volumique apparente g/cm ³	Temps de début de prise (min)	Temps de fin de prise (min)
27.5	3454	3.14	1.0374	180	285

- **Les propriétés chimiques :**

Tableau II-7 : Analyse chimique de ciment [fiche technique].

Perte au feu(%) (NA5042)	Teneur en sulfates (SO ₃) (%)	Teneur en Oxyde de magnésium MgO (%)	Teneur en chlorures (NA5042) (%)
0.5 à 3%	1.8 à 3	1.2 à 3	0.01 à 0.05

- **Résistance à la compression de ciment :**

Tableau II-8 : Résistance à la compression de ciment [fiche technique].

2 jours (MPa)	28 jours (MPa)
≥ 10	≥ 42.5

II.4 Les compositions utilisées :

Dans notre travail, nous avons préparé environ 144 éprouvettes pour la caractérisation physique et mécaniques des mortiers confectionnés en différent pourcentage de fumée de silice et de sable de dunes en poudre. On donne les nomenclatures nommées dans le travail :

- **C** : Ciment.
- **SDP** : Sable de Dunes en Poudre.
- **FS** : Fumée de silice.
- **E** : Eau de gâchage.
- **SC** : sable de construction.

Remarque : d'après les études effectuées par GUEMOUDA K et ZOUZOU L ont constitués que les compositions suivantes donnent les meilleurs résultats de point de vue résistance.

Tableau II-9 : compositions utilisées pour le mortier.

Composition	E/L	C %	SDP %	FS %
C1	0.48	100	0.0	0.0
C2	0.5	93	5	2
C3	0.5	88	10	2

Le tableau suivant présent les quantités des compositions en mètre cube (m³) de mortier :

Tableau II- 10 : Les des quantités compositions de mortier en (m³).

Composition	C (kg)	SC (Kg)	E (Kg)	FS (Kg)	SDP (Kg)
C1	491.07	1473.21	235.71	0	0
C2	454.68	1466.70	244.44	9.78	24.44
C3	430.22	1466.70	244.44	9.78	48.88

II.5 Préparation des éprouvettes :

Les éprouvettes sont de forme prismatique de section carré (40 x 40 x 160) mm. Elles doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier. Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à la table à choc, on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément en utilisant la grande spatule puis serrée par 60 chocs. La deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveau par 60 chocs.

Le moule est enlevé de la table à choc, et après avoir retiré la hausse, on enlève l'excédent de mortier par arasage. La surface des éprouvettes est ensuite lissée.

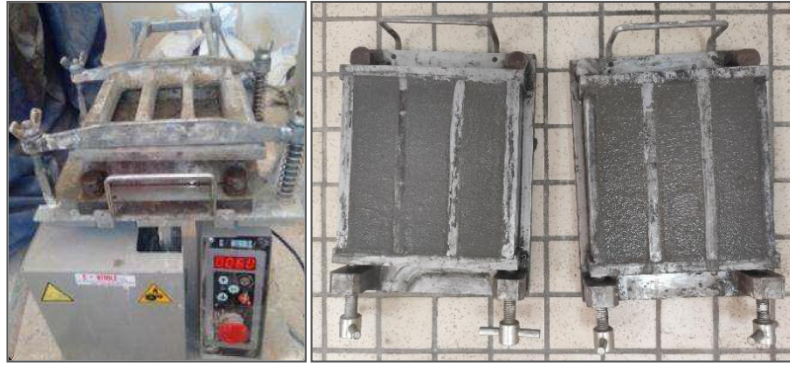


Figure II- 11 : table de choc et moules des éprouvettes (40x40x160) mm.

II.6 Les milieux de conservation des éprouvettes :

Après le démoulage d'échantillons après 24 heures, ont conservé les échantillons (40x40x160) mm dans les différents milieux « l'air libre, les films plastiques, l'eau de robinet, et l'eau de la nappe phréatique » pendant 7, 28, 90 et 120 jours.

II.6.1 L'air libre :

Les éprouvettes sont conservées à l'aire libre de laboratoire de génie civil.

$$T = 25 \text{ à } 31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h = 18 \text{ à } 40 \%$$



Figure II- 12 : Les éprouvettes à l'aire libre.

II.6.2 Les films plastiques :

Après démoulage les éprouvettes sont conservées dans les films de plastique pour l'isolation.



Figure II- 13 : Film de plastique.

II.6.3 l'eau de robinet :

Après démoulage des éprouvettes sont conservées dans de l'eau de robinet de laboratoire de génie civile.



Figure II- 14 : Les éprouvettes dans l'eau de robinet.

II.6.4 l'eau de nappe phréatique :

Nous utilisons cette eau pour examiner la résistance du mortier conservé dans l'eau de la nappe phréatique contenant des différents types des sels tels que les sels minéraux.



Figure II- 15 : Les éprouvettes dans l'eau de nappe phréatique.



Figure II- 16 : Eau de la nappe phréatique de (cité NASRE-Ouargla).

Remarque : l'analyse chimique suivante de l'eau de nappe phréatique est effectuée au sein de laboratoire de LTPS. [BELHOCINE ,A et NAGOUDI,N.2014]

Tableau II.11 : Composition chimique de l'eau de la nappe phréatique (cité NASRE-Ouargla).
[BELHOCINE ,A et NAGOUDI,N.2014]

Composants	Unité	Eau de N P
PH	-	7.8
K ⁺	Mg/l	170
Chlorures (Cl ⁻)	Mg/l	5786.5
Nacl	Mg/l	9535.5
Sulfates (SO ₄ ⁻²)	Mg/l	5791.33
CO ₃ ⁻²	Mg/l	00
HCO ₃ ⁻²	Mg/l	150
Calcium (Ca ⁺²)	Mg/l	801
Magnésium (Mg ⁺²)	Mg/l	972
Oxyde de Carbone	Mg/l	00
Conductivité	Mg/l	29.1
NO ₃ ⁻	Mg/l	00

II.7 Conclusion :

Les essais physiques effectués dans laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des mortiers qui seront étudiés au chapitre suivant du point de vue mécanique et durabilité.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.



CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION



CHAPITRE III : Résultats et discussion

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre on présente et analysé les résultats des essais de la résistance mécanique (à la flexion et compression), ont été exécuter sur les mortiers à l'état sec à l'aide des appareils disponible au sein de laboratoire de département de génie civil et hydraulique.

On a utilisé les abréviations suivantes :

AL : le milieu de conservation des éprouvettes « aire libre ».

FP : le milieu de conservation des éprouvettes « film de plastique ».

ER : le milieu de conservation des éprouvettes « eau de robinet ».

ENP : le milieu de conservation des éprouvettes « eau de la nappe phréatique ».

MC : mortier classique

5SDP 2FS : mortier avec 5% de sable de dunes en poudre plus 2% de fumée de silice

10SDP 2FS : mortier avec 10 % de sable de dunes en poudre plus 2% de fumée de silice

III.2 Essai des résistances mécaniques (EN 196-1)

III.2.1 Résistance en flexion :

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques de côté a et de longueur $4a$, reposant sur deux appuis sous charge concentrée unique appliqué au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre). [BOUDINA,F et TERDJMANE,K.2017]

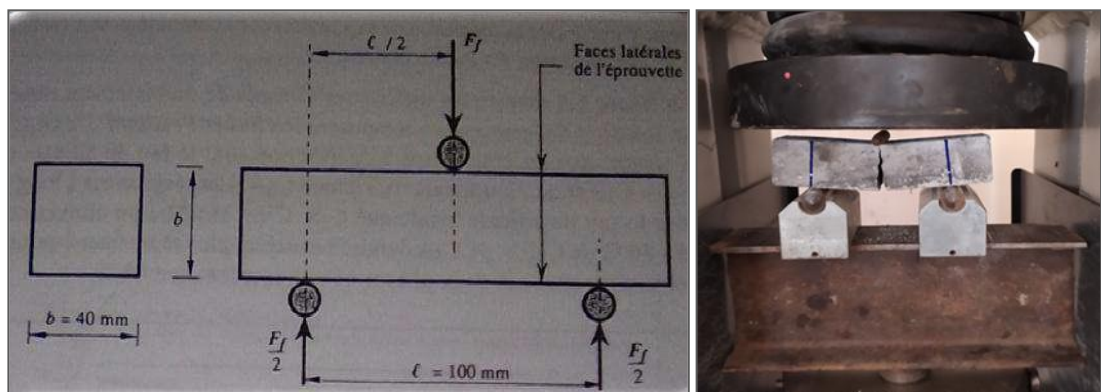


Figure III-1 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion. [DUPAIN. R et al, 2000]

La résistance en flexion R_f (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{1.5 F_f \times L}{b^3} \quad (III-1)$$

Où :

R_f : est la résistance en flexion, en newtons par millimètre carré ou en MPa.

b : est le côté de la section carrée du prisme, en millimètres.

F_f : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture, en newtons.

L : est la distance entre les appuis, en millimètres.

Tableau III-1 : Résultats de la résistance à la flexion.

Milieu de conservation	Composition	Résistance à la flexion (MPa)			
		7 jours	28 jours	90 jours	120 jours
AIR LIBRE	M C	6.01	6.95	5.94	5.41
	5SDP 2FS	5.39	5.86	5.39	5.39
	10SDP 2FS	4.53	4.61	5.24	4.69
FILM DE PLASTIQUE	M C	5.24	5.78	6.80	7.11
	5SDP 2FS	4.45	6.10	6.10	7.26
	10SDP 2FS	3.44	5.47	5.63	7.34
EAU DE ROBINET	M C	6.95	10.00	9.14	8.44
	5SDP 2FS	6.25	7.73	7.81	8.67
	10SDP 2FS	6.09	7.5	8.70	8.70
EAU DE LA NAPPE PHREATIQUE	M C	6.80	10.92	10.94	9.38
	5SDP 2FS	5.94	9.22	10.55	8.83
	10SDP 2FS	6.64	10.08	10.94	8.99

III.2.1.1 La résistance selon le milieu de conservation :

- **Résistance à la flexion des éprouvettes conservées à l'aire libre :**

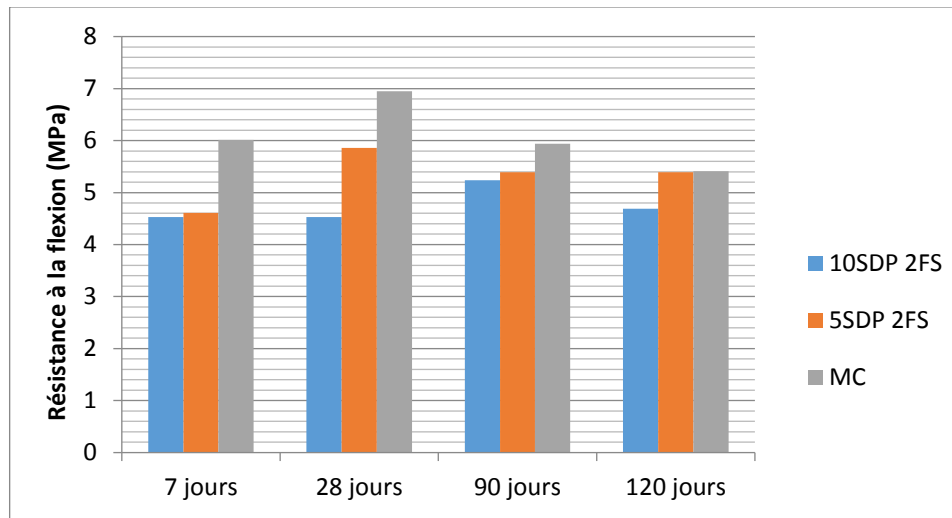


Figure III-2 : Résistance à la flexion des éprouvettes conservées à l'aire libre.

D'après la figure III-1, nous remarquons qu'il y a une évolution positive de tous les mortiers dans la 7 à 28 jours, mais on remarque une chute de contrainte du MC et 5SDP 2FS après 28 jours. Quoique le mortier 10SDP 2FS présenté une amélioration de la résistance mécanique à 90 jours, dans a 120 jours nous remarquons une chute de résistance mécanique de tous les mortiers cela peut être due à la sécheresse du mortier due à l'élévation de température au mois de juillet, quoique le mortier 5SDP2FS présente une stabilité de résistance.

- **Résistance à la flexion des éprouvettes conservées dans le film de plastique :**

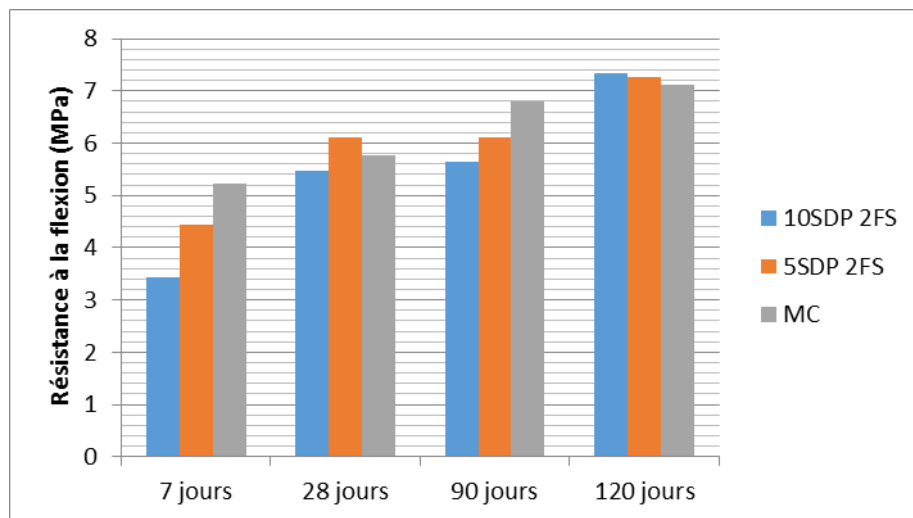


Figure III-3 : Résistance à la flexion des éprouvettes conservées dans le film de plastique.

D'après la figure III-2, nous remarquons qu'il y a un évolution positive de contrainte de tous les mortiers dans la période 7-28 jours et 90-120 jours. Tandis que on observe une stabilité de résistance des mortiers avec 5SDP 2FS et 10SDP 2FS dans la période 28-90 jours, et pour le mortier classique on remarque un évolution positive de la contrainte à la période 28-90 jours.

- **Résistance à la flexion des éprouvettes conservées dans l'eau de robinet :**

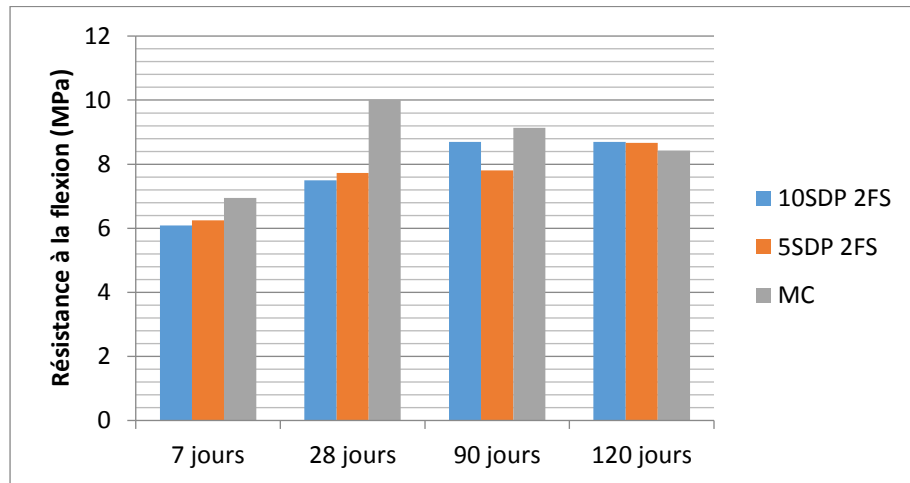


Figure III-4 : Résistance à la flexion des éprouvettes conservées dans l'eau de robinet.

D'après la figure III-3, on remarque qu'il y a évolution positive de résistance mécanique de tous les mortiers dans la période de 7-28 jours, mais après 28 jours nous observons qu'il y a une chute de contrainte pour MC par contre 5SDP2FS présente une amélioration de résistance et 10SDP2FS présente une stabilité de résistance mécanique.

- **Résistance à la flexion des éprouvettes conservées dans l'eau de la nappe phréatique :**

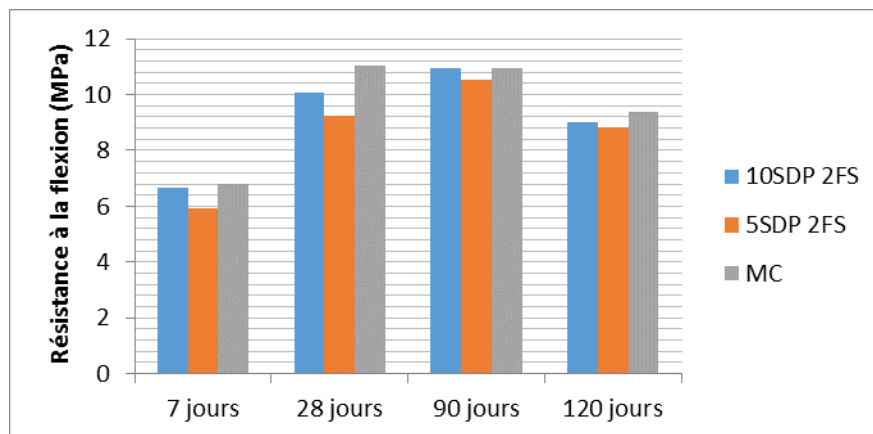


Figure III-5 : Résistance à la flexion des éprouvettes conservées dans l'eau de la nappe phréatique.

D'après la figure III-4, nous observons à la période 7-90 jours une évolution positive de tous les mortiers au-delà de 90 jours on remarque une chute de résistance de tous les mortiers.

III.2.1.2 La résistance selon la composition :

- **Résistance à la flexion des éprouvettes de mortier classique :**

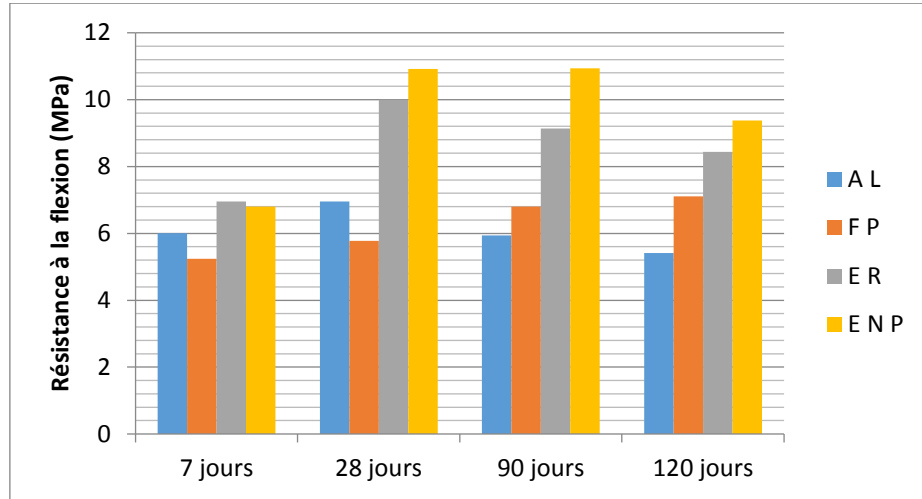


Figure III-6 : Résistance à la flexion des éprouvettes de mortier classique aux différents milieux.

D'après la figure III-5, on remarque que les éprouvettes de mortier classique conservés dans le milieu de la nappe phréatique à 28 et 90 jours donnent le meilleur résultat de point de vue résistance.

Nous observons que les éprouvettes dans ER et AL donnent une amélioration de résistance à la période 7-28 jours, mais il y a une chute de contrainte après 28 jours.

- **Résistance à la flexion des éprouvettes de mortier avec 5% SDP et 2% FS :**

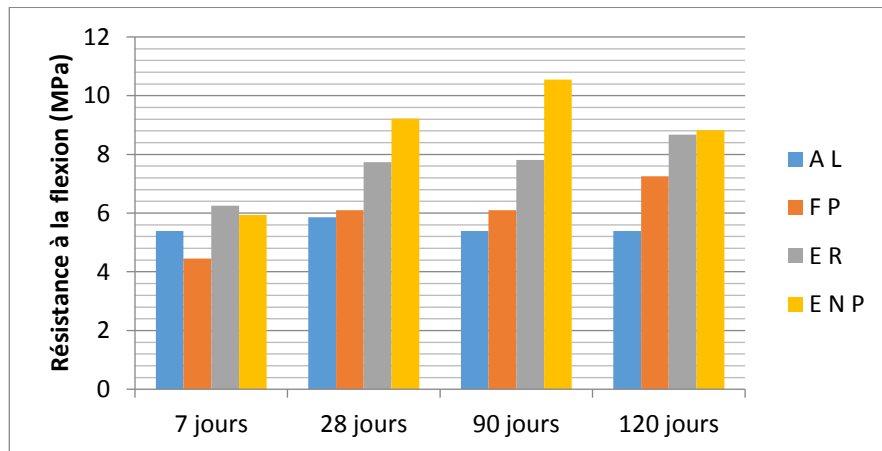


Figure III-7 : Résistance à la flexion des éprouvettes de mortier avec 5% SDP et 2% FS aux différents milieux.

D'après la figure III-6, nous remarquons que les éprouvettes de mortier avec 5% SDP et 2% FS dans le milieu ENP à 90 jours donnent le meilleur résultat de point de vue résistance, mais il y a une chute de contrainte après 90 jours. Tandis que les éprouvettes dans ER ou FP présentent une évolution positive de la résistance mécanique à tous âges. Quand les éprouvettes à AL donnent les plus faibles valeurs des contraintes mais ils sont presque stables après 28 jours.

- **Résistance à la flexion des éprouvettes de mortier avec 10% SDP et 2% FS :**

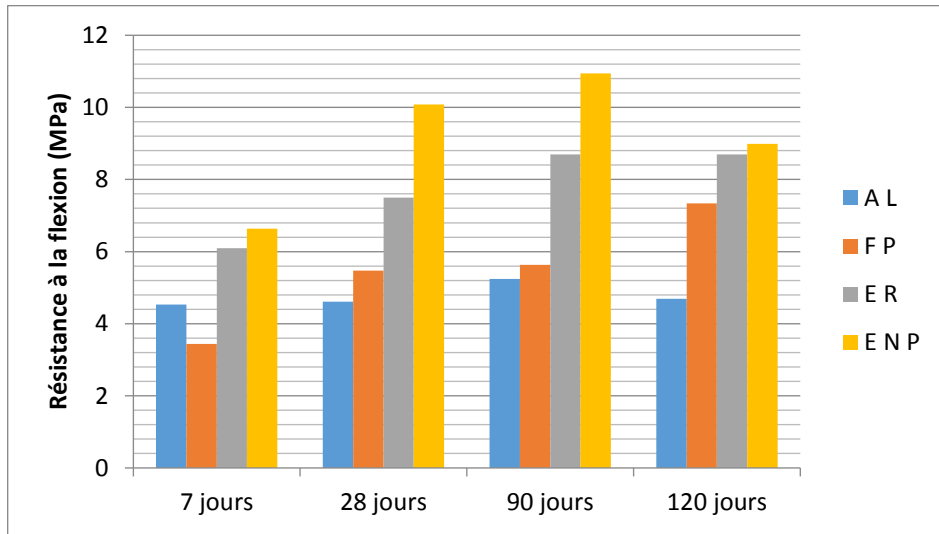


Figure III-8 : Résistance à la flexion des éprouvettes de mortier avec 10% SDP et 2% FS aux différents milieux.

D'après la figure III-7, nous observons qu'il y a une évolution positive des éprouvettes dans ER à la période 7-90 jours, après 90 jours il y a une stabilisation de la contrainte. Quoique les éprouvettes conservées dans ENP présentent le bon résultat par rapport les autres, nous remarquons une chute de contrainte à la période 90-120 jours.

Les éprouvettes dans le milieu de conservation FP donnent une amélioration de la résistance mécanique à tous âges.

On remarque que les éprouvettes à AL donnent les plus faibles valeurs des contraintes.

- **Conclusion :**

On remarque que le mortier classique et le mortier avec 10SDP 2FS donne le meilleur résultat de résistance à la flexion, mais on remarque une chute de résistance de tous les mortiers quoique les mortiers avec 5SDP 2FS et 10SDP 2FS présentent une stabilité de résistance à 90-120 jours.

III.2.2 Essai de compression :

Les demi-échantillons provenant de l'essai de flexion vont subir l'essai de compression sur leurs faces de moulage, sous une section de 40×40 mm, entre deux plaques de métal dur d'au moins 10± 1mm d'épaisseur, de 40±1mm de largeur et de longueur et dont la tolérance de plénitude est de 0.01mm.

Le demi-prisme est placé entre elles de manière que son extrémité intacte dépasse d'environ 1cm. [BOUDINA,F et TERDJMANE,K.2017]

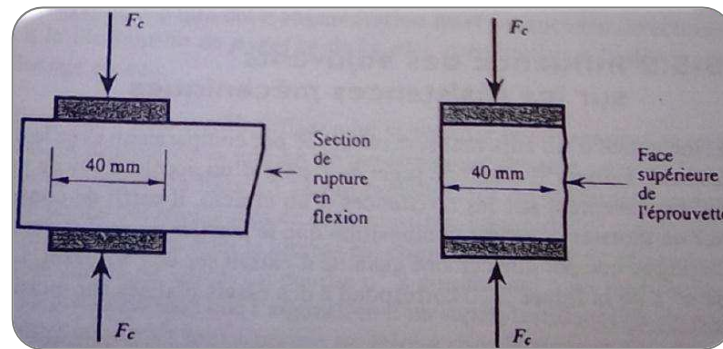


Figure III-9 : dispositif de rupture en compression [DUPAIN. R et al, 2000]

La résistance en compression R_c (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \quad (III-2)$$

R_c : Résistance à la compression en (MPa).

F_c : Charge de rupture en (N).

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

Tableau III-2 : Résultats de la résistance à la compression.

Milieu de conservation	Composition	Résistance à la compression (MPa)			
		7 jours	28 jours	90 jours	120 jours
AIR LIBRE	M C	21.25	22.06	17.52	16.46
	5SDP 2FS	16.20	18.91	21.86	23.09
	10SDP 2FS	16.65	18.33	22.39	17.79
FILM DE PLASTIQUE	M C	20.51	22.29	15.48	12.70
	5SDP 2FS	15.31	15.42	20.48	20.65
	10SDP 2FS	16.29	17.36	18.76	27.89
EAU DE ROBINET	M C	28.50	31.66	32.76	30.90
	5SDP 2FS	29.47	30.52	34.48	34.48
	10SDP 2FS	25.78	34.24	37	36.98
EAU DE LA NAPPE PHREATIQUE	M C	31.26	41.99	36.11	35.79
	5SDP 2FS	26.36	37.67	36.76	36.76
	10SDP 2FS	24.36	41.59	37.58	37.52

III.2.2.1 La résistance selon le milieu de conservation :

- **Résistance à la compression des éprouvettes conservées à l'aire libre :**

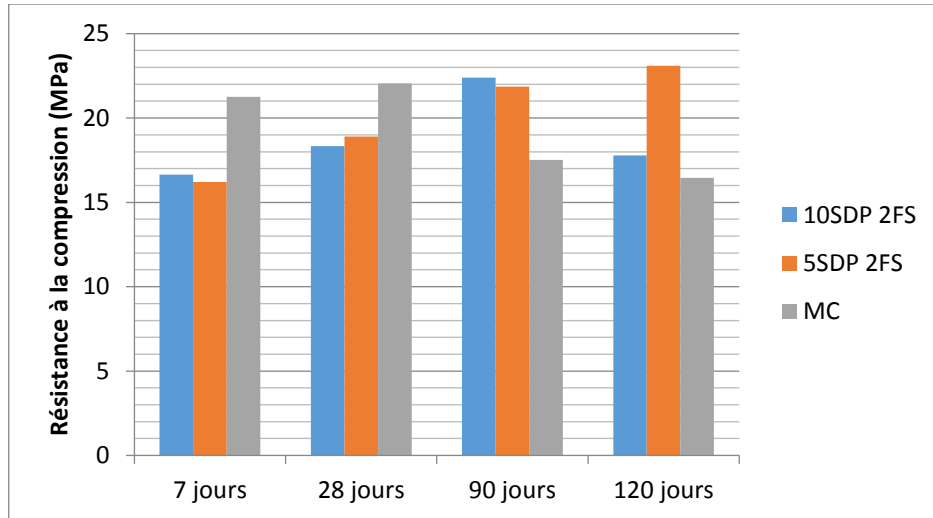


Figure III-10 : Résistance à la compression des éprouvettes conservées à l'aire libre.

D'après la figure III-8, nous remarquons qu'il y a un évolution positive de résistance pour tous les mortiers à la période 7- 28 jours, mais on remarque une chute de contrainte du MC après 28 jours et on remarque une chute de contrainte du mortier 10SDP2FS après 90 jours, par contre le mortier 5SDP 2FS présenté une évolution positive de contrainte à la période 90-120 jours.

- **Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans le film de plastique :**

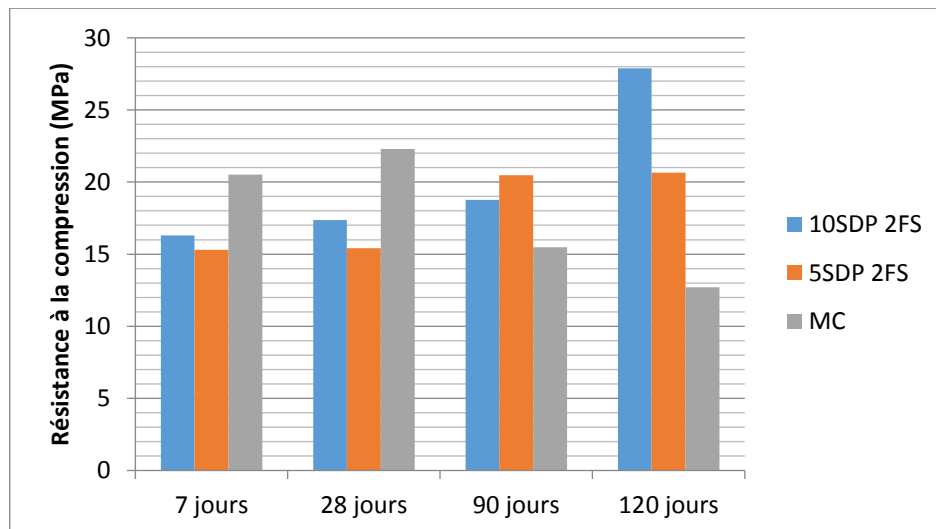


Figure III-11 : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans le film de plastique.

D'après la figure III-9, nous remarquons que le mortier avec 5% SDP+2% FS et 10% SDP+2%FS donne une évolution positive de résistance à tous âges.

On remarque une amélioration de la résistance mécanique de M C, mais il y a une chute de contrainte après 28 jours.

- **Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans l'eau de robinet :**

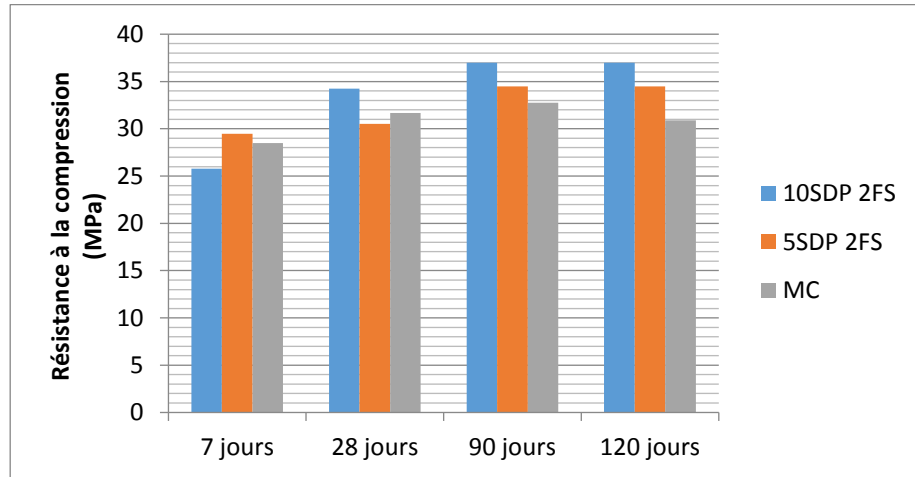


Figure III-12 : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans l'eau de robinet.

D'après figure III-10, nous remarquons qu'il y a un évolution positive de résistance de tous les mortiers à la période 7- 90 jours. Après 90 jours on remarque qu'il y a une chute de contrainte de MC, et pour les mortiers 5SDP2FS et 10SDP2FS, nous observons qu'il y a une stabilité de contrainte à cette période.

- **Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans l'eau de la nappe phréatique :**

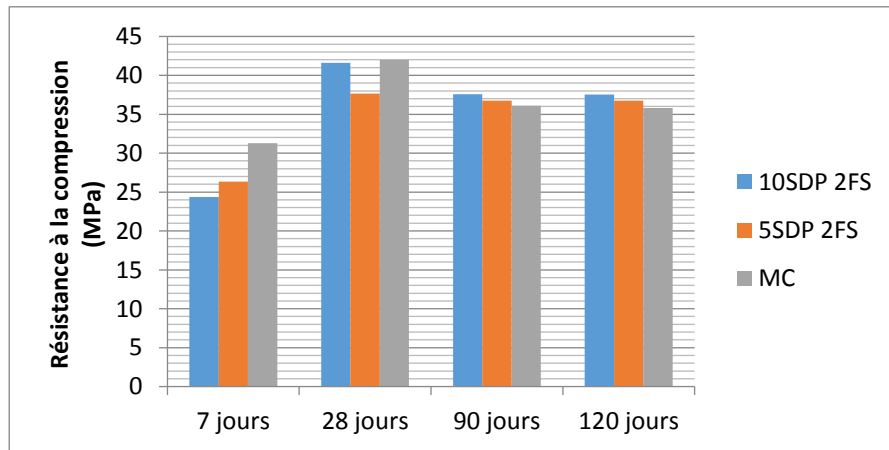


Figure III-13 : Résistance à la compression des éprouvettes conservées dans l'eau de la nappe phréatique.

D'après la figure III-11, nous observons qu'il y a une évolution positive de résistance mécanique de tous les mortiers dans la période 7-28 jours, mais il y a une chute de contrainte après 28 jours.

On remarque une stabilité de résistance de tous les mortiers à la période 90-120 jours avec des meilleurs résultats de contrainte des mortiers 5SDP+2FS et 10SDP+2FS par rapport le mortier classique.

III.2.2.2 La résistance selon la composition :

- **Résistance à la compression des éprouvettes de mortier classique :**

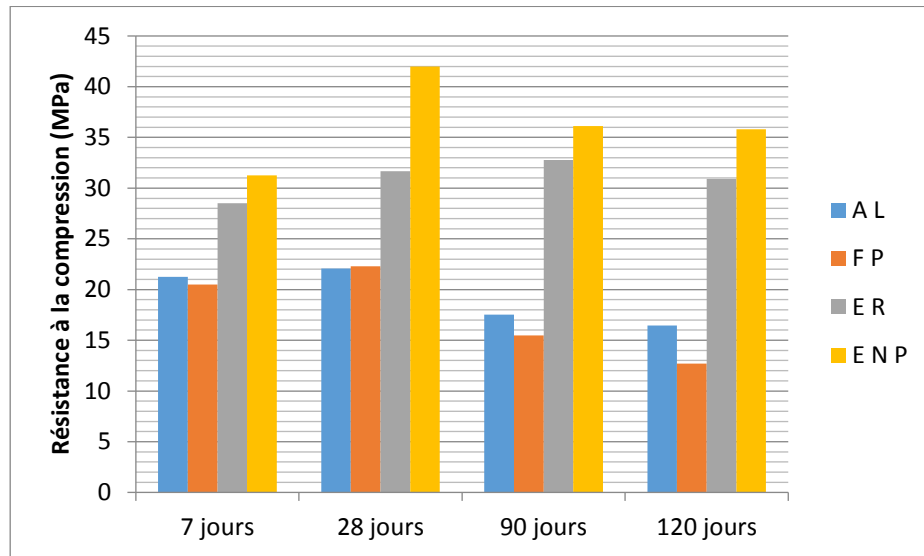


Figure III-14 : Résistance à la compression des éprouvettes de mortier classique aux différents milieux.

D'après la figure III-12, on remarque que les éprouvette de mortier classique dans le milieu de la nappe la phréatique à 28 jours donnent la meilleure résultat de point de vue résistance, mais il y a une chute de contrainte après 28 jours avec un stabilisation de la contrainte dans la période 90-120 jours ,tandis que les éprouvettes dans la milieu l'eau robinet présentent évolution positive de résistance dans la période 7-90 jours ,mais il y a une chute de contrainte après 90 jours ,pour l'éprouvette conserver dans l'aire libre et film de plastique nous remarquons évolutions positive de résistance dans la période 7 à 28 jours , mais il y a une chuté de contrainte dans la période 28 à 120jours .

- **Résistance à la compression des éprouvettes de mortier avec 5% SDP et 2% FS :**

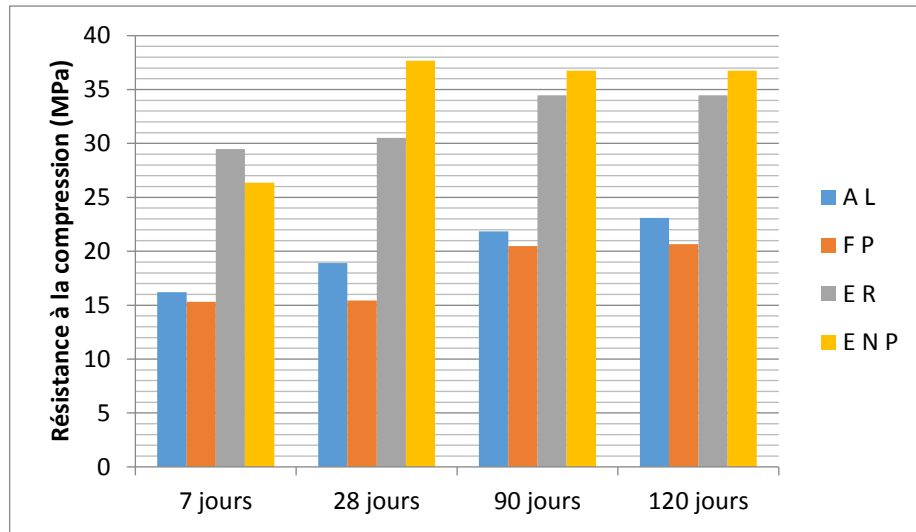


Figure III-15 : Résistance à la compression des éprouvettes de mortier avec 5% SDP et 2% FS aux différents milieux .

D’après la figure III-13, nous observons que les éprouvettes conservées à A L, F P, et E R donnent une évolution positive de la résistance mécanique à tous âges, sauf les éprouvettes dans ENP qui donnent une amélioration de la résistance à 28 jours, mais on remarque une chute de contrainte après 28 jours avec une stabilité de contrainte à la période 90-120 jours.

Nous remarquons que le milieu ENP donne les meilleurs résultats de la résistance mécanique à tous âges.

- **Résistance à la compression des éprouvettes de mortier avec 10% SDP et 2% FS :**

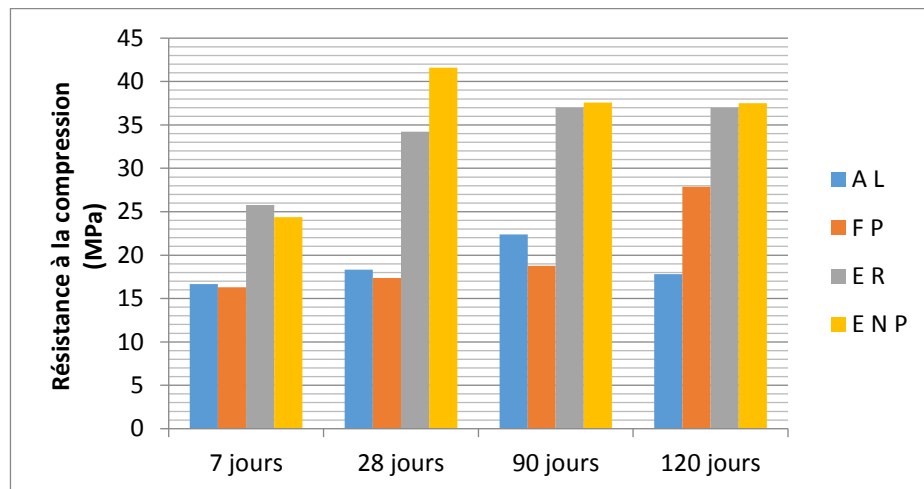


Figure III-16 : Résistance à la compression des éprouvettes de mortier avec 10% SDP et 2% FS aux différents milieux.

D'après la figure III-14, nous remarquons que les éprouvettes dans FP et ER donnent une évolution positive de la résistance mécanique à tous âges avec une stable contrainte pour les éprouvettes dans ER à la période 90-120 jours.

Quoique les éprouvettes dans ENP présentent les plus grandes valeurs de résistance mécanique à 28 jours, nous observons une chute de contrainte après 28 jours avec une stabilité de contrainte à la période 90-120 jours.

Nous remarquons que les éprouvettes à AL présentent une amélioration de contrainte à la période 7-90 jours, mais après 90 jours il y a une chute de résistance mécanique.

Nous remarquons que le milieu ENP donne les meilleurs résultats de la résistance mécanique à tous âges.

- **Conclusion :**

Les mortiers avec 5SDP 2FS ou 10SDP 2FS présentent une stabilité de résistance à la compression après 90 jours dans les milieux « eau de robinet et eau de la nappe phréatique ». Ces mortiers donnent une amélioration positive de résistance à tous périodes dans le milieu de conservation « film de plastique ».

Le mortier classique et le mortier avec 10SDP 2FS donne le meilleur résultat de résistance à la compression.



CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS



Conclusion générale :

Ce travail expérimental est une contribution à l'amélioration de durabilité de mortier par l'ajout minérale, nous avons utilisé quatre milieux de conservation et deux compositions avec la fumée de silice et sable de dunes en poudre. L'objectif de ce travail est d'étudier expérimentalement l'influence de l'utilisation des produits naturelles existant dans le pays sur la durabilité pour confectionner un durable ciment composé localement.

Les essais de traction par flexion et compression ont été réalisés afin, d'étudier l'effet de ces additions minérales (fumée de silice, sable de dunes broyé) sur les caractéristiques mécaniques des mortiers étudiés.

Dans ce travail nous avons donné un concept général sur Contribution à l'étude de durabilité de mortier à base des additions minérales.

Cette étude a été effectuée en trois chapitres, une étude bibliographique, une caractérisation des matériaux utilisés, et une analyse et discussion des résultats trouvés à l'aide de l'expérimentale.

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Les mortiers avec 5SDP 2FS et 10SDP 2FS présentent une stabilité de résistance à 90-120 jours.
- ✓ L'addition de sable de dune en poudre et la fumée de silice améliorent la durabilité du mortier.
- ✓ Les mortiers conservés dans le milieu (eau de la nappe phréatique) présentent les meilleurs résultats mécaniques par rapport autres milieux utilisés.
- ✓ Les mortiers conservés dans le milieu (aire libre) présentent les pires résultats mécaniques par rapport autres milieux utilisés.
- ✓ Au milieu de conservation (film de plastique), les mortiers avec 5SDP 2FS et 10SDP 2FS montrent une évolution positive de résistance mécanique à long terme.

Recommandations :

A la lumière des conclusions rapportées précédemment, nous recommandons quelques perspectives et axes de recherches suivants :

- Change les milieux de conservations.
- L'influence des ajouts minéraux sur la durabilité des mortiers et bétons dans les milieux chimiques.
- Utilise le cycle séchage-mouillage.
- Faire autres essais, par exemple (DRX).
- Utiliser d'autre pourcentage (5%SDP ; 10%SDP ; 4%FS+5%SDP ; 4%FS+15%SDP).



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES



Références bibliographiques :

- ABIMOULOUD, Y.** Contribution à l'étude de l'effet de la remontée des eaux de la nappe phréatique de Ouargla sur le béton à base de matériaux locaux. 2017. Doctorat : génie civil: université. Ouargla.
- AMRAOUI, B et LAGHA S.** durabilité des mortiers à base de fibres. 2015. master : génie civil : Centre université. Ain témouchent.
- ANRH.** (Agence nationale des ressources hydraulique), Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la Wilaya de Ouargla. Janvier 2005. Ouargla, Algérie.
- AFGC.** (association française de génie civil) , CONCEPTION DES BÉTONS POUR UNEDURÉE DE VIE DONNÉE DES OUVRAGES. 2004. france.
- BELHOCINE , A et NAGOUDI, N.** Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux. 2014. master : génie civil: université. Ouargla.
- BENACHOUR Y.** Analyse de l'influence de l'ajout de taux élevé de fillers calcaires sur les propriétés physiques, mécaniques, microstructurales, de transfert et de durabilité des mortiers. 2009. Doctorat : Génie Civil: université. constantine.
- BOUALLEG, S.** Effet des milieux agressifs sur les caractéristiques de durabilité des bétons et des matrices cimentaires. 2004. Magister : génie civil : université. M'sila.
- BOUALI K.** Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires. 2014. Magister : génie civil : université .Boumerdes.
- BOUDINA F et TERDJMENE K.** la durabilité chimique des mortiers a base de poudre de verre et ciment CPA. 2017. master : génie civil : université. Bouira.
- C T SIA,** le cahier technique SIA 2049:2014 .Holcim ,Suisse.
- CHHAOUI R.** Durabilité des matériaux cimentaires vis-à-vis d'un environnement chimiquement agressif. 2008. Magister : génie civil : université. Oran.
- CIMBETON, c.t.,** Guide de prescription des ciments POUR DES CONSTRUCTIONS DURABLES. 2009, Paris: DBG Saudios.
- DAHMANI, S.** contribution à la production d'un ciment pétrolier à base de poudre de sable de dunes et d'autres minéraux. 2018. Doctorat : génie civil : université. Ouargla.
- DUPAIN, R ; LAHCHAN, R ; et SAINT AROMAN, J.C** .Granulats, sols, ciment et bétons. 2ème édition. Paris : CASTEILLA, 2000, 236 p.
- FERHATI, T,** Durabilité d'un béton exposé à un milieu Agressive (acide sulfurique) influence du rapport G/S. 2016. Master : génie civil : université. M'sila.
- FISTA, J et DREUX, G.** nouveau guide du béton et de ses constituants. 8^{ème} édition. EYROLLES, 1998, 406.

- GAGNÉ, R.** GCI 714 - Durabilité et réparations du béton. Université de Sherbrooke, Centre de Longueuil. Québec. 2000. 338 p.
- GCI712** « Durabilité ET réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 2009.
- GIRARD D ST** – Technical Facilities Management (ST/TFM) CERN, Genève,Suisse.
- GUETTALA, S.** contribution à l'étude de l'influence de l'ajout du sable de dunes finement broyé au ciment, sur les performances physico-mécaniques, la déformabilité et la durabilité du béton. 2012. Doctorat : génie civil : université.Ouargla.
- J. P OLIVIER.** livre de " Durabilité des bétons ." (A.NONAT :chapitre2 ; V. BAROGHELBOUNY, B. CAPRA, S. LAURENS : chapitre9 ; A. CARLES GIBERGUES, H.HORNAIN :chapitre11 ; G. ESCADEILLAS, H. HORNAIN: chapitre 12) .(Edition :Presse de l'école nationales des ponts et chaussées -2008).
- KADRI,A.** contribution à l'amélioration de la durabilité du béton dans les zones enterrée de la wilaya d'Ouargla par l'ajout des minéraux locaux.2014.Magister :génie civil :université. Ouargla.
- KATHERINE, H.** Cyclic Wetting and Drying and its Effects on Chloride Ingress in Concrete--Katherine Hong University of Toronto.2017.
- Le LERM** .Dossier technique,laboratoire et société d'études et de conseil en matériaux de construction.BTP/génie Civil, Patrimoine Bâti, Environnement.
- MEZARI,N.**Durabilité d'un mortier a base d'un ciment portland composé à la pouzzolane CPJ _CEM2 A vis-à-vis d'un milieu agressif.2013. master :génie civil :université.Telemcen.
- NDZANA,G et TCHOUMI S.** Réhabilitation des ouvrages en béton armé dégradés par la corrosion des armatures.2007. Professeurs des lycées d'Enseignement Technique 2ème grade :université. Douala.
- POYET,S.** Etude de la dégradation des ouvrages en béton atteints par la réaction alcali-silice : Approche expérimentale et modélisation numérique multi-échelles des dégradations dans un environnement hydro-chemo-mécanique variable.
- RECOMMANDATION N°T1-96** aux maîtres d'ouvrage publics relative aux études pour la construction ou la réparation des ouvrages de stockage et de transport de l'eau-NOTE N°3.
- SENHADJI,Y.** L'influence de la nature du ciment sur le comportement des mortiers vis-à-vis des attaques chimiques (acides et sulfatiques).2006.Magister :génie civile :université.Oran.
- TAHAR,I.** Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. Sécheresse n°3 vol 18, pp.161-167, Juillet-Aout-Septembre, 2007.
- ZEROUB,H.** valorisation du veer dans l'élaboration de béton durable(Approche expérimentale).2012. magister :génie civil :université.Boumerdes.