



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

N°d'enregistrement

.....

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: ST

Filière: Génie Civile

Spécialité: Structures

Thème :

Etude comparative de l'efficacité des méthodes de protection des bétons hydrauliques contre l'agressivité du sol (cas de l'agressivité par sulfates)

Déposé le : 17/06/2023

Par :

LALIA ABDELOUAHED & KAOUTER BRAHIMI

Évalué Par le jury composé de :

Daheur Elhadj Gusmia

M.C.A

Univ Ghardaia

Président

Nessil. Hamid

M.A.A

Univ Ghardaia

Examineur

AMIEURAbdenacer

Directeur
Technique

L.T.P.Sud

Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

A decorative floral element consisting of a stylized flower with multiple petals and a central stem with leaves, positioned to the left of the calligraphic text.



Remerciement

Le premier à être remercié par ses lounges pendant les heures de la nuit et les fins de journée Est le Très-Haut, le Dominateur, qui nous a comblés de ses innombrables benedictions.

IL Est grandement loué ET loué

Touts les lounges ET tous les Remerciement soient rendus à Dieu, si nous Avon's réussi ET nous ont inspires à être patients avec les difficultés que nous Avon's reencounters pour accomplir ce travail.

Nous adressons également nos sincères Remerciement, Notre appréciation et Notre respect au Stade

Amaier Abdel Nasser

, qui ne nous a pas epergne touts les informations don't IL disposait et les conseils et orientations qu'il nous a prodigués tout au long de la réalisation de cette etude.

Des Remerciement sont addresses à tous les professeurs ET doctor's en genie civil, University de Ghardaïa, chacun en son nom

En fin de compete, nous ne pouvons que prier Dieu Tout-Puissant de nous accorder paiement et conseils





Dédicace

A l'âme pure de mon père, que Dieu lui fasse miséricorde

Je dédie le fruit de mes efforts à mes biens les plus chers et les plus précieux, à celle qui a éclairé mon chemin de ses conseils, à celle qui m'a donné force et détermination et qui a été la raison de poursuivre mes études après la douleur et le choc de ma la séparation de mon père, à ma chère Mère

A mess frères qui soutiennent Mon père, (Safaa, iman, Nour Al-Huda), à Mon frère Salah Al-Din

À tous les honorables membres de la famille ET camarades de classes, génie civile (structure) 2023 qu'ils soient bénis

A mess Amis, Hayat Hafsa, Fatima Rumisa, la célèbre Sarah, waHiba iman 1, et2 Fatna, Mariam

A ceux qui m'ont aidé dans cette étude, les ingénieurs jekaoua ET Baaziz

A tous les laborantins LTPS

À tous ceux qui ont été oubliés par ma plume ET sauvés par Mon cœur

KAOUTER



Dédicace

A ma très chère mère **MESSOUDA**

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couve, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père **ABDERRAHMANE**

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mes très chers frère et sœur **ABDEL KADER** et **Imad Eddine** et
ISLAM et **GHZLAN**

A mes très chères amies et à l'ensemble des étudiants de la promotion
master génie civile (structure) 2023



A mes amis proches, toute ma famille, sans oublier tous les enseignants, que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou du supérieur.

Puisse Dieu vous donner santé, bonheur, courage et surtout réussite

Lalia



Résumé

ملخص :

من بين المشاكل التي تؤثر على الأعمال في الخرسانة نقتبس من الهجوم الكيميائي بالأرض على وجه الخصوص. فالهدف من هذا البحث المقدم هو دراسة بعض طرق الحماية ضد عدوانية التربة المحملة بالكبريتات ومقارنة فعالية الطرق من بين المشاكل التي تؤثر على الهياكل الخرسانية ، نذكر على وجه الخصوص الهجوم الكيميائي للتربة. هذا العمل هو مساهمة في دراسة فعالية الأساليب لحماية الهياكل من عدوانية التربة ؛ يتكون من التحقق من بعض الخصائص الميكانيكية مثل مقاومة الانضغاط والشد لعينات الملاط المعرضة للهجوم بواسطة الكبريتات والمحمية بعدة طرق ، وقد مكنت هذه الدراسة من تقييم فعالية كل طريقة.

الكلمات المفتاحية : هجوم كيميائي ؛ الخرسانة ؛ الوسط العدواني ؛ الملاط ؛ الحماية ؛ الرمل

ABSTRACT

Among the problems affecting concrete structures, we cite in particular the chemical attack of the soil. This work is a contribution to the study of the effectiveness of methods for protecting structures against the aggressiveness of the soil; it consisted in the verification of certain mechanical characteristics such as the resistance to compression and traction of a mortar subjected to attack by sulphates and protected by several methods, this study made it possible to evaluate the effectiveness of each method

Keywords:Chemical attack ; concrete ; aggressive environment; mortar; protection; the Sand

Résumé

Parmi les problèmes affectant les ouvrages en béton, nous citons notamment l'attaque chimique du sol. Ce travail est une contribution à l'étude de l'efficacité des méthodes de protection des ouvrages contre l'agressivité du sol ; elle a consisté à la vérification de certaines caractéristiques mécaniques tel que la résistance à la compression et à la traction d'un mortier soumis à l'attaque par sulfates et protégé par plusieurs méthodes, cette étude a permis d'évaluer l'efficacité de chaque méthode.

Mots clé: Attaque chimique, béton; milieu agressive; mortier; protection ; le sable

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

| | |
|-----------------------------|------|
| Résumé..... | V |
| Abstract | V |
| المخلص..... | V |
| Table de matières | VI |
| Liste des Tableaux..... | XII |
| Liste des Figures..... | XIII |
| Introduction Générale | 1 |

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES BETONS HYDRAULIQUE

| | |
|---|----|
| I-INTRODUCTION : | 5 |
| I-COMPOSITION DU BETON : | 6 |
| I-2 LES COMPOSANTES : | 6 |
| I-2.1 Sable : | 6 |
| I-2.2 Gravier : | 6 |
| I-2.3 Ciment :..... | 7 |
| I-2.4 Eau : | 7 |
| I-2.5 Adjuvant :..... | 7 |
| II-2 LES METHODES DE CALCUL DE LA COMPOSITION DU BETON: | 8 |
| II-2.1 facteurs essentiels de composition : | 10 |
| A-La pâte de ciment : | 10 |
| B-Composition granulaire : | 11 |

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| III- CARACTIRESTIQUE DU BETON: | 11 |
| III-1 Le Béton frais : | 11 |
| III-2 Le Béton durci : | 12 |
| IV-LES PROBLEME DU BETON : | 13 |
| IV-1 Qualité de matériaux : | 13 |
| IV-2 Les attaque chimique : | 15 |
| IV-3 Le défaut de mise en œuvre : | 15 |
| V- LES MALDES DE BETON : | 23 |

CHAPITRE II : L'AGRISSIVITE SUR LES BETONS

| | |
|--|----|
| II-1 INTRODUCTION : | 26 |
| II-2 LES ATTAQUES CHIMIQUES : | 26 |
| II-2.1 Attaque sulfatiques : | 29 |
| II-2.1.1 Définition de l'attaque sulfatiques : | 29 |
| II-2 .1.2 Sources des sulfates : | 30 |
| II-2.1.3 Mécanisme d'attaque : | 31 |
| II-2.1.4 Processus d'attaque par les sulfates internes : | 32 |
| II-2.1.5 Processus d'attaque par les sulfates externes : | 33 |
| II-2.2 Attaque par les acides : | 34 |
| II-2.2.1 Définition : | 35 |
| II-2.2.2 Sources des acides : | 35 |

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| II-2.2.3 Mécanisme d'attaque : | 34 |
| II.2.3 La carbonatation : | 35 |
| II-2.3.1 Définition de la carbonatation : | 35 |
| II-2.3.2 Mécanisme de carbonatation : | 36 |
| II-2.3.3 Facteurs affectant la carbonatation : | 36 |
| II-2.4 L'alcali-réaction : | 36 |
| II-2.4.1 Définition de L'alcali-réaction : | 36 |
| II-2.4.2 Source de cette attaque : | 36 |
| II-2.4.3 Les différents types d'alcali-réaction : | 37 |
| II-2.5 La lixiviation en eau douce | 37 |
| II-2.5.1 Définition : | 37 |
| II-2.5.2 mécanismes de la lixiviation : | 37 |
| II-2.6 Les dégradations dues à l'eau de mer : | 38 |
| II-2.6.1 Définition de l'attaque marine : | 38 |
| II-2.7 Attaque par les ions chlorures : | 39 |
| II-2.7.1 Définition de l'attaque par les ions chlorures : | 39 |
| II-2.7.2 Source de l'attaque des ions chlorures : | 39 |

CHAPITRE III: ETUDE AU LABORATOIRE

| | |
|---|----|
| III-1 INTRODUCTION : | 41 |
| III-2 PROTOCOLE EXPERIMENTALE : | 41 |
| III-2-1 Préparations des éprouvettes des mortiers : | 41 |

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| III-2-2 Préparation du milieu agressif : | 45 |
| III-2-3 Conservation des éprouvettes dans milieu agressif : | 45 |
| III-2-4 Essai de résistance à la traction : | 48 |
| III-2.5 Essai de résistance à la compression : | 49 |
| III-3 : MATERIAUX UTILISE : | 51 |
| III-3-1 Introduction | 51 |
| III-3-2 le milieu agressif , Encroutement calcaro-gypseux (tuf) : | 51 |
| III-3-3 Bitume de type 400/600 : | 52 |
| III-3-4 Sable de dune (El Meniaa) : | 53 |
| III-3-5 Sable: | 54 |
| III-3-6 L'eau : | 57 |
| III-3-7 Ciment | 57 |
| III-3-7-1 Ciment CRS : | 57 |
| III-3-7-2 Ciment CPJ : | 58 |
| III-3.8 MOULE PRISMAATIQUE : | 59 |
| III-4 : ETUDE DE FORMULATION DE MORTIER : | 60 |
| III-4-1 : Préparation d'essai : | 62 |
| III-4-2 : Mode d'opération : | 63 |
| III-4-3 : Objet d'étude : | 66 |
| IV-DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS : | 70 |

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| IV-1 INTRODUCTIONS : | 70 |
| IV-1.1 mortier a base de ciment (cpj) conservée dans le milieu sain M1 : | 71 |
| IV-1.1.1 résistance à la compression :..... | 71 |
| IV-1.1.2 Résistance à la traction : | 72 |
| IV-1.1.3 densités :..... | 73 |
| IV-1.2 mortier a bas de ciment (cpj) embles dans le film da plastique conservée dans le milieu agressif M2 : | 74 |
| IV- 1.2.1 résistance à la compression :..... | 74 |
| IV-1.2.2 Résistance à la traction : | 75 |
| IV-1.2.3 Densités :..... | 76 |
| IV-1.3 mortier a bas de ciment (cpj) badigeonnées de bitume conservée dans le milieu agressif M3 : | 77 |
| IV-1.3.1 résistance à la compression | 77 |
| IV-1.3.2 résistance à la traction | 78 |
| IV-1.3. 3 densités | 79 |
| IV-1.4 mortier a bas de ciment (cpj) isolé à sable propre protège conserve dans le milieu agressif M4:..... | 80 |
| IV-1.4.1 résistance à la compression: | 80 |
| IV-1.4.2 résistance à la traction | 81 |
| IV-1.4.3 densités :..... | 82 |
| IV-1.5 mortier a basde ciment (cpj) conservée direct au milieu agressif M5 :..... | 83 |
| IV1.5.1 résistance à la compression : | 83 |

SOMMAIRE

| | |
|--|------------|
| IV-1.5.2 résistance à la traction :..... | 84 |
| IV-1.5.3 densités :..... | 85 |
| IV-1.6. mortier a bas de ciment (crs) conservée dans le milieu sain (témoin) M6: | 86 |
| IV-1.6.1 résistance à la compression :..... | 86 |
| IV-1.6.2 résistance à la traction :..... | 87 |
| IV-1.6.3 densités :..... | 88 |
| IV-1.7 mortier a bas de ciment (crs) conservée direct au milieu agressif M7:..... | 89 |
| IV-1.7.1 résistance à la compression :..... | 89 |
| IV-1.7.2 résistance à la traction :..... | 90 |
| IV-1.7.3 densités :..... | 91 |
| IV-1.8 une étude comparative de tous les échantillons étudié : | 92 |
| IV-1.8.1 résistance à la compression : | 92 |
| IV-1.8.2 résistance à la traction :..... | 95 |
| IV-1.8.3 densité :..... | 98 |
| CONCLUSION GENERAL : | 102 |
| References bibliographiques:..... | 105 |
| Annexes | 111 |

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II : L'AGRISSIVITE SUR LES BETONS

| | |
|---|----|
| Tableau II-1 : Valeurs limites pour les classes d'exposition correspondant aux attaques des sols naturels et eaux souterraines..... | 25 |
|---|----|

CHAPITRE III: ETUDE AU LABORATOIRE

| | |
|--|----|
| Tableau III-1: Les compositions des mortiers étudiés. | 39 |
| Tableau III-2: montre les modalités de placement des échantillons | 45 |
| Tableau III-3 : Tableau des caractéristiques mécaniques et chimiques | 50 |
| Tableau III-4 : Tableau de classes du bitume fluidifié..... | 51 |
| Tableau III-5 : Tableau de granulométrie de sable de dune | 52 |
| Tableau III-6: Tableau d'analyse chimique. | 52 |
| Tableau III-7 : Tableau de classification de sable..... | 53 |
| Tableau III-8 : Tableau d'analyse granulométrie. | 53 |
| Tableau III-9: Tableau de résultats équivalant de sable | 54 |
| Tableau III-10 : Formulations des mortiers..... | 68 |

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES BETONS HYDRAULIQUE

| | |
|---|----|
| Figure I.1 : présentation d'utilisation de béton au différent domaine. | 5 |
| Figure I-2 : cône d'Abrams. | 12 |

CHAPITRE II : L'AGRISSIVITE SUR LES BETONS

| | |
|--|----|
| Figure II-1 : Cas pathologiques d'éléments en béton en contact avec des sulfates | 27 |
| Figure II-2: L'origine des sulfates (interne ou externe) | 28 |
| Figure II-3 : L'attaque par les sulfates. | 29 |
| Figure II-4 : Attaque par les acides | 31 |
| Figure II-5 : Mécanisme de carbonatation | 34 |
| Figure II-6 : Représentation schématique d'un cylindre en béton armé exposés d'eau .. | 37 |

CHAPITRE III: ETUDE AU LABORATOIRE

| | |
|--|----|
| FigureIII-1: Malaxeur de mortier..... | 40 |
| Figure III-2 : Lubrification du moule | 41 |
| Figure III-3 :appareil vibrant..... | 41 |
| Figure III-4 : Démoulage des éprouvettes des mortiers..... | 42 |
| Figure III-5 : Rédiger des informations sur les moules à mortier | 42 |
| Figure III-6 : Le milieu agressif (tuf)..... | 43 |
| Figure III-7 : montre le mécanisme de résistance à la flexion..... | 46 |
| Figure III-8 : Démontrer la résistance à la flexion..... | 46 |
| Figure III-9 : Démontre le mécanisme d'écrasement de la pression. | 47 |
| FigureIII-10 : Démonstration d'une machine à casser les presses. | 48 |

LISTE DES FIGURIES

| | |
|--|----|
| Figure III-11:la courbe granulaire de référence sable de dune. | 52 |
| Figure III-12 :la courbe granulaire de référence sable Zelfana. | 54 |
| Figure III-13 : ciment CRS | 55 |
| Figure III-14 : ciment CPJ. | 56 |
| Figure III-15: moule de mortier..... | 57 |
| Figure III-16 : Tamisage du sable | 59 |
| Figure III-17 : Préparation du moule. | 59 |
| Figure III-18 : Préparez le moule et installez-le sur la machine | 60 |
| Figure III-19 : Préparer le malaxeur à mortier électrique..... | 61 |
| Figure III-20 : Mettre le mortier plus de la moitié du moule..... | 62 |
| Figure III-21 : Remplir le moule de mortier..... | 62 |
| Figure III-22 : Nivellement de la surface du moule pour donner une surface lisse..... | 63 |
| Figure III-23 : Démoulage Après séchage, enregistrez les informations dessus. | 63 |
| Figure III-24: Préparation de l'éprouvet avec un autre type de ciment CRS..... | 64 |
| Figure III-25: tamis le tuf. | 64 |
| Figure III-26: Recouvrez les éprouvettes par un filme de plastique et placez-les dans le milieu agressif | 65 |
| Figure III-27 : Peignez les épreuves avec bitume et lorsqu'ils sont secs, | 66 |
| Figure III-28: Entourez et protégez les éprouvettes avec du sable à l'intérieur du milieu | 66 |

LISTE DES FIGURIES

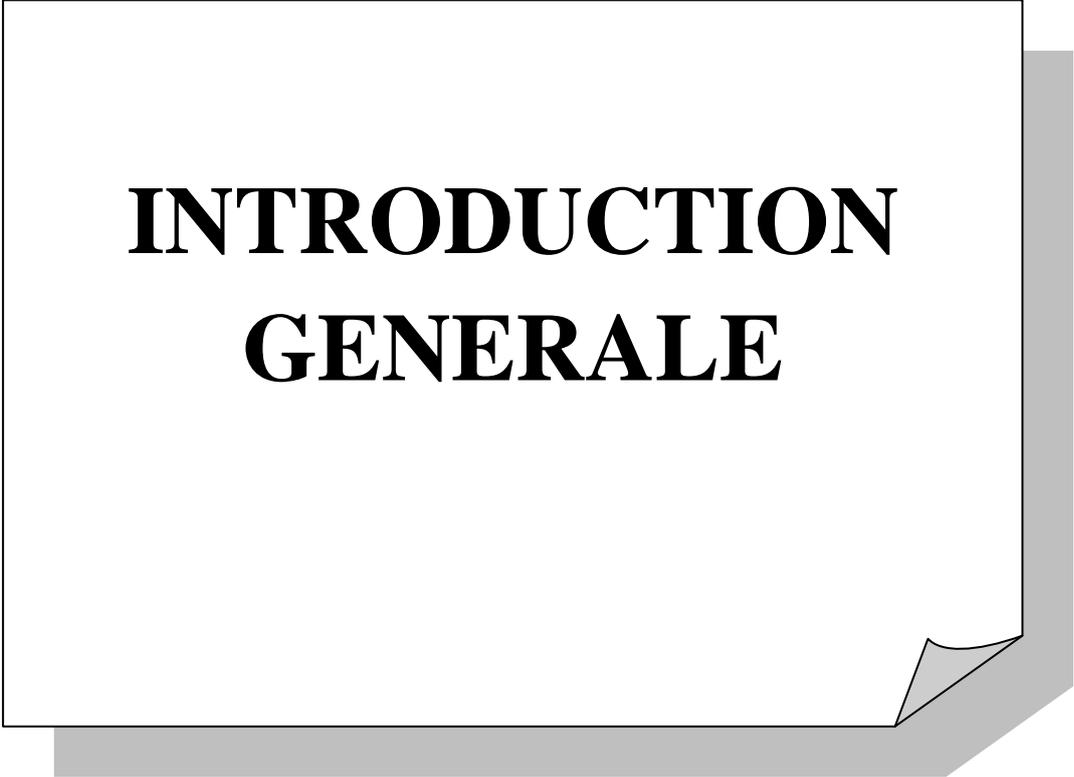
| | |
|---|----|
| Figure III-29: Immerger les moules avec de l'eau et les placer dans la salle de conservation..... | 67 |
| Figure III-30: montre les résultats du test de résistance à la compression du M1 (type de ciment CPJ non protection dans milieu sain). | 69 |
| Figure III-31 : montre les résultats du test de résistance à la traction du M1 (type de ciment CPJ non protection dans milieu sain) | 70 |
| Figure III-32 : montre les résultats du test de résistance à la traction du M1 (type de ciment CPJ non protection dans milieu sain) | 71 |
| Figure III-33 : les résultats de la densité du M1 (type de ciment CPJ non protection dans milieu sain). | 72 |
| Figure III-34: les résultats du test de résistance à la compression du M2 (type de ciment CPJ emballé dans un film en plastique conservée dans le milieu agressif). | 73 |
| Figure III-35 : les résultats du test de résistance à la traction M2 (type de ciment CPJ emballé dans un film en plastique conservée dans le milieu agressif). | 74 |
| Figure III-36 : les résultats de la densité du M2 (type de ciment CPJ emballé dans un film en plastique conservée dans le milieu agressif). | 75 |
| Figure III-37: les résultats du test de résistance à la compression du M3 (type de ciment CPJ badigeonnées de bitume, conservée dans le milieu agressif). | 76 |
| Figure III-38: les résultats du test de résistance à la traction du M3 (type de ciment CPJ badigeonnées de bitume, conservée dans le milieu agressif). | 77 |
| Figure III-39 : les résultats de la densité du M3 (type de ciment CPJ badigeonnées de bitume, conservée dans le milieu agressif). | 78 |
| Figure III-40: les résultats du test de résistance à la compression du M4 (type de ciment CPJ isolé par une couche sable propre le tout conservé dans le milieu agressif). | 79 |

LISTE DES FIGURIES

| | |
|---|----|
| Figure III-41 : les résultats du test de résistance à la traction du M4 (type de ciment CPJ isolé par une couche sable propre le tout conservé dans le milieu agressif). | 80 |
| Figure III-42 : les résultats de la densité du M4 (type de ciment CPJ isolé par une couche sable propre le tout conservé dans le milieu agressif). | 81 |
| Figure III-43 : les résultats du test de résistance à la compression du M5 (Type de ciment CPJ conservée direct au milieu agressif). | 82 |
| Figure III-44 : les résultats du test de résistance à la traction du M5 (type de ciment CPJ conservée direct au milieu agressif). | 83 |
| Figure III-45 : les résultats de la densité du M5 (type de ciment CPJ conservée direct au milieu agressif). | 84 |
| Figure III-46 : les résultats du test de résistance à la compression du M6. (type de ciment CRS conservée dans le milieu sain (témoin)) | 85 |
| Figure III-47 : les résultats du test de résistance à la traction du M6. (type de ciment CRS conservée dans le milieu sain (témoin)) | 86 |
| Figure III-48: les résultats de la densité du M6 (type de ciment CRS conservée dans le milieu sain (témoin))..... | 87 |
| Figure III-49 : les résultats du test de résistance à la compressionM7 (type de ciment CRS conservé direct au milieu agressif). | 88 |
| Figure III-50 : les résultats du test de résistance à la traction du M7 (type de ciment CRS conservé direct au milieu agressif). | 89 |
| Figure III-51 : les résultats de la densité du M7 (type de ciment CRS conservé direct au milieu agressif). | 90 |
| Figure III-52: Résultats de résistance à la compression des échantillons étudiés..... | 91 |
| Figure III-53: Résultats de résistance à la compression pour les échantillons étudiés en 56 jours | 92 |

LISTE DES FIGURIES

| | |
|--|----|
| Figure III-54 : Résultats de résistance à la compression pour les échantillons étudiés en 90 jours | 93 |
| Figure III-55 : Résultats de résistance à la traction pour les échantillons étudiés en 28 jours. | 94 |
| Figure III-56: Résultats de résistance à la traction pour les échantillons étudiés en 56jours.. | 95 |
| Figure III-57 : Résultats de résistance à la traction pour les échantillons étudiés en 90 jours. | 96 |
| Figure III-58: Les résultats de la densité des échantillons étudiés en de 28 jours..... | 97 |
| Figure III-59 : Les résultats de la densité des échantillons étudiés pour de 56 jours. ... | 98 |
| Figure III-60 : Les résultats de la densité des échantillons étudiés pour de 90jours. | 99 |



**INTRODUCTION
GENERALE**

Introduction Générale

I-INTRODUCTION:

Aujourd'hui, la durabilité des structures en béton est un des facteurs importants dans les domaines du génie civil et du génie industriel. C'est une préoccupation de plus en plus mise en avant par les gestionnaires d'ouvrages. Ces derniers exigent des durées de vie de plus en plus longues avec un minimum d'entretien. Par exemple, les ponts, les tunnels, les réseaux d'assainissement ou le patrimoine bâti doivent avoir une longue durée dans le temps. Or la durabilité des ouvrages en béton est étroitement liée à celle du béton lui-même. Ce dernier est un matériau hétérogène et poreux en équilibre chimique réagissant avec son environnement (marin, gel - dégel, pluie ...).

L'environnement des ouvrages en béton, en particulier dans les milieux agressifs, ainsi que la nature des constituants du ciment jouent un rôle prépondérant sur les propriétés mécaniques des ciments. Pour cela, les laboratoires de recherche sur les matériaux travaillent sur le développement de nouveaux composites cimentaires, dans le but d'améliorer les propriétés mécaniques et physiques des ciments et de réduire la consommation d'énergie, qui se traduit par la diminution du taux de gaz carbonique dégagé par les fours industriels.

Une grande partie des problèmes de durabilités rencontrés dans les régions chaudes (région de Sud : Ghardaïa, Ouargla, El Meniaa, Timimoune, Adrar...) résulte de la présence des chlorures et des sulfates (dans le sol ou dans les agrégats...) avec l'aggravation additionnelle de l'effet du climat chaud et aride. Ce manque de durabilité a directement une influence sur la structure de la construction et peut conduire à la détérioration totale d'un grand nombre des constructions.

Toutefois l'attaque chimique des bétons s'effectue principalement sur la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$, contenue dans la pâte de ciment, mais l'attaque des silicates d'aluminates de chaux hydratées n'est pas négligeable, si les produits de réaction sont solubles, la matrice devient de plus en plus ouverte. C'est pourquoi, dans ces cas, des bétons élaborés avec des ciments composés ou contenant des additions consommatrices de chaux (laitier, cendres volantes, fumées de silice,

Introduction Générale

Pouzzolane ...), sont souvent préconisés. La teneur potentielle en hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 est considérée comme un indicateur majeur de durabilité. [1]

L'attaque sulfatique externe est définie par la pénétration d'ions sulfates en solution dans un matériau cimentaire. La modification des équilibres chimiques entraîne la dissolution des phases hydratées de la pâte de ciment et la précipitation de nouvelles phases dont la nature dépend des ions en solution [2]. La précipitation de minéraux dans la pâte de ciment durcie peut causer des pressions de cristallisation allant jusqu'à la fissuration du matériau [3]. L'ettringite est considérée comme le produit principal de l'attaque sulfatique externe et aussi considérée comme la phase cristalline dont la précipitation entraînera des dégâts irréversibles dans le matériau. La précipitation de nouvelles phases s'accompagne de la lixiviation des C-S-H et de la portlandite [4], fournissant des ions calcium pour la formation du gypse et de l'ettringite secondaire.

L'Algérie est un pays en voie de développement et ses besoins en infrastructure sont importants. De grands projets de logements et d'infrastructures sont lancés. Ces projets exigent la disponibilité, la qualité et la durabilité des matériaux cimentaires. L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour ce pays. Il existe quatorze cimenteries avec une capacité de production annuelle d'environ 16 millions de tonnes. L'utilisation des ajouts est très efficace pour augmenter la production du ciment. Actuellement, les travaux de recherche servent à améliorer la résistance mécanique et la durabilité du ciment Portland par l'incorporation des ajouts cimentaires.

L'attaque chimique constitue un sujet d'importance croissante, en raison de la propagation des dommages des structures en béton dans les zones urbaines et industrielles. Bien que le ciment Portland ordinaire est le plus couramment utilisé dans la construction d'infrastructures, sa résistance aux attaques chimiques, tels que les sulfates est un sujet préoccupant de plus en plus à travers tout le monde. Aux plans nationaux et internationaux, de nombreux chercheurs se sont intéressés à cette problématique en vue de comprendre le comportement des bétons soumis aux différentes agressions précitées.

II-PROBLÉMATIQUE :

Le problème d'agressivité des sols contre les bétons est un phénomène très répété dans le domaine de Génie Civil, plusieurs méthodes ont été utilisées pour contraindre ce problème.

Notre objectif c'est : **Quelle est la meilleure méthode des protections de béton hydraulique contre l'agressivité du sol (cas de l'agressivité par sulfate) par ses l'effet?**

**CHAPITRE I :
GENERALITE SUR
LES BETONS
HYDRAULIQUE**

I- INTRODUCTION :

Le béton est un matériau de construction composé d'un mélange de granulats, de sable, et d'eau aggloméré par un liant hydraulique (le plus souvent du ciment) qui sert de « colle ». On y ajoute éventuellement des adjuvants et d'autres ingrédients pour modifier sa caractéristique. [5]

Les premiers bétons remontent à plus de 3.000 ans avant J. C. Ils étaient alors composés d'argile, de sable, de gravier et d'eau et appelés béton de terre ou torchis. L'invention du « ciment romain » en 1796 puis du béton précontraint vont sceller le succès du béton. C'est aujourd'hui le matériau de construction le plus utilisé au monde : on estime sa production à environ une tonne par habitant sur la planète.

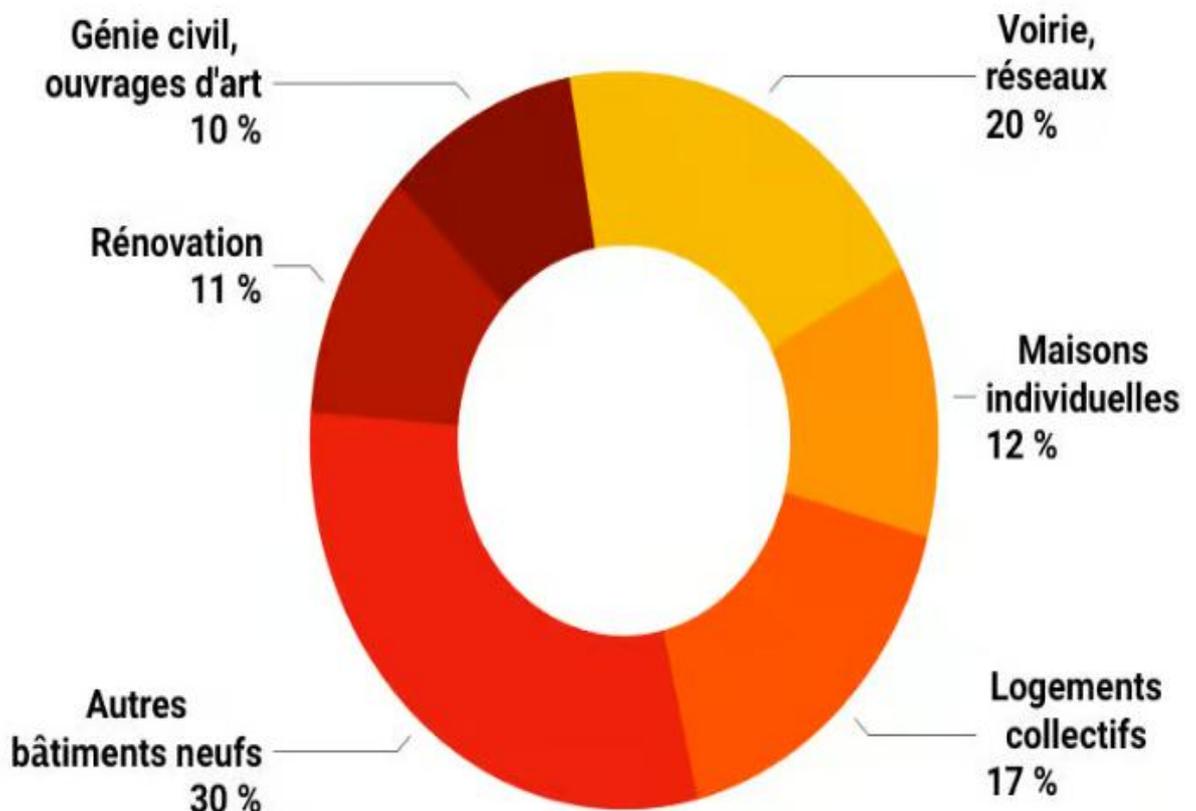


Figure I.1 : présentation d'utilisation de béton au différent domaine.

Date : 26 août 2018 par céline deluzarche

L'impact écologique du béton est particulièrement élevé : chaque tonne produite émet en moyenne 575 kg de CO₂. Au niveau mondial, la fabrication de ciment compte ainsi pour 5 % des émissions de CO₂. Elle consomme aussi de grandes quantités d'eau et de sable. [6]

II- COMPOSITION DU BETON :

II-1 LES COMPOSANTES :

II-1.1 Sable :

Le sable provient de l'altération et la désagrégation naturelle des roches et autres matériaux de la surface terrestre, sous l'effet du climat. Les matériaux fragmentés peuvent ensuite être transportés par l'eau et le vent, ultimement jusque dans les océans qui bordent les continents. Des accumulations exploitables de sable peuvent se former durant leur long transport vers les océans.

En général, les gros granulats sont des constitués de fragments de roches tandis que les sables fins sont plutôt constitués de minéraux détachés de leur roche d'origine. Les grains de sable aussi être des débris d'origine organique et même synthétique pour les sables récents. En plus de fragments de coquillages, on trouve maintenant sur les plages marines actuelles une certaine proportion de débris d'origine synthétique comme le verre, la terre cuite, la porcelaine et certains plastiques, cependant, les débris d'origine synthétique ne sont présents que dans les sables de plages et de delta marins actuels en formation et les débris d'origine organique ne sont abondants que dans les sables marins. Les sables d'origine glaciaire ou fluvioglaciaire ne contiennent jamais de débris synthétiques et très rarement des débris organiques [7].

II-2.2 Gravier :

Le gravier est un granulat composé d'un mélange de sable et de gravillons. Il est utilisé principalement dans l'exécution des corps de chaussées (routes et autoroutes), de plateformes (parcs de stationnement, aires de stockage...), de pistes d'aérodromes. Dans toutes ces réalisations, quelques décimètres d'épaisseur de gravier sont utilisés sous la couche de finition (enrobé bitumineux de couverture, dallage béton, enduit superficiel d'usure...). Les graviers peuvent être naturels, reconstitués en centrale, traités aux liants hydrauliques (ciment, laitier...), à la chaux, ou aux liants hydrocarbonés (bitume).

Les graviers sont des granulats dont la granulométrie est de type d/D (d étant le diamètre du plus petit grain et D du plus gros), traditionnellement en France (repris par les normes NF),

les granulométries typiques des graviers sont : 0/14 mm, 0/20 mm, 0/31.5 mm et 0/63 mm, voire 0/80 et 0/150 mm [8].

II-1.3 Ciment :

Le ciment est un liant hydraulique (qui durcit sous l'action de l'eau), utilisé dans la préparation du béton, et aujourd'hui le plus souvent employé dans la confection des dallages, des parpaings, des enduits et des mortiers. Les ciments sont actuellement classés sous la dénomination « CEM » suivi d'un chiffre romain allant de I à V suivi d'une lettre majuscule en fonction de leur teneur en clinker et d'autres composants (chaux, fumées de silice, pouzzolane, laitier de hauts fourneaux, etc.). Le terme « ciment Portland » est tombé en désuétude depuis la fin des années 1970, remplacé par les termes « CPA » (ciment Portland pur) et « CPJ » (ciment Portland composé), abandonnés à leur tour lors du passage à la norme européenne, mais qu'on trouve encore dans plusieurs pays. Le mortier de chaux existe depuis l'Antiquité mais le ciment et ses nombreuses applications est une invention du XIX^e siècle.

Il est le résultat, à l'origine, de la réaction endothermique entre du calcaire et de l'argile qui, mélangés à de l'eau, font prise et permettent d'agglomérer entre eux des sables et des granulats. Depuis, de nombreux autres éléments sont incorporés en fonction de l'utilisation du ciment, permettant ainsi de constituer de véritables roches artificielles, les bétons et les mortiers. [9]

II-1.4 Eau :

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Élément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, votre béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées. [10]

II-1.5 Adjuvant :

L'adjuvant est un produit ajouté en très faible quantité aux bétons, mortiers ou coulis, avant ou pendant le malaxage. La dose est inférieure à 5 % du poids du ciment.

Le but est d'améliorer certaines propriétés du béton, qu'il soit à l'état frais pendant la prise et le durcissement, ou à l'état durci.

Les adjuvants font l'objet de la norme NF EN 934, partie 2 (Adjuvants pour béton, mortier et coulis. Définition – exigences – conformité – marquage et étiquetage)

. Chaque adjuvant, même s'il a plusieurs actions secondaires, est défini par sa fonction principale : la ou les modifications majeures apportées aux bétons, comme l'état frais et/ou durci.

Techniquement parlant, ce sont des substances chimiques organiques ou inorganiques qui, ajoutées aux bétons, mortiers ou coulis, modifient :

- La rhéologie ;
- La cinétique d'hydratation (temps de prise et de durcissement) ;
- Les performances mécaniques.

L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier selon son dosage et sa compatibilité avec les matériaux utilisés. [11]

II-2 LES METHODES DE CALCUL DE LA COMPOSITION DU BETON:

Les méthodes de calcul de la composition du béton sont nombreuses et il n'existe pas de méthode qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. Une composition de béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires.

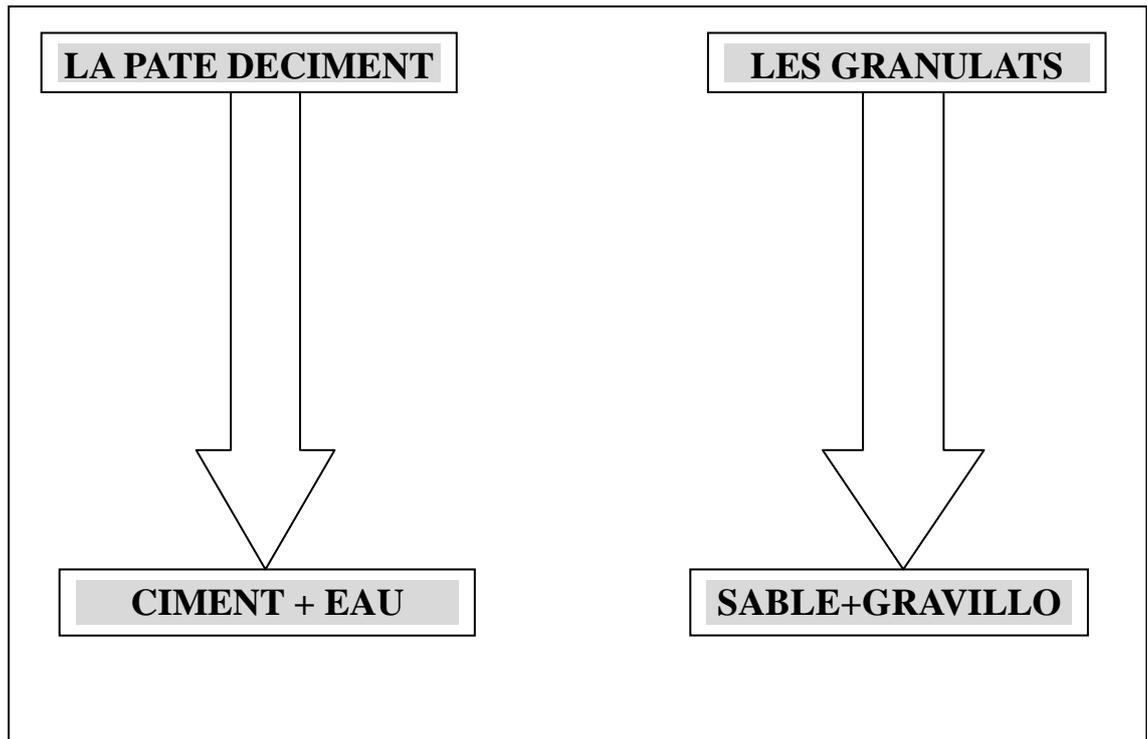
Parmi les méthodes de composition les plus connues on peut citer celles de Bolomey, Dreux, Faury, Joisel et Valette. Les différences principales entre ces méthodes résident entre autres dans la définition de la courbe granulométrique de référence, selon que l'on inclue ou non le ciment dans les matières fines. Pourtant, toutes ont un point commun, elles dépendent de paramètres qui sont intimement reliés aux caractéristiques morphologiques.

Des matériaux utilisés (nature et qualité des granulats, type de liant, etc.). C'est pourquoi, connaissant la nature éminemment variable des composants du béton et surtout des granulats, il est absolument nécessaire lors de la définition d'une composition de béton de compléter le calcul théorique des quantités des divers composants par un essai de gâchage et par des essais de résistance après durcissement. Pour le béton frais, l'essai de gâchage permet de contrôler

que les propriétés du béton frais sont conformes aux exigences, ou sinon d'effectuer les corrections nécessaires (soit en agissant sur la composition, soit au moyen d'adjuvants).

Il faut noter aussi qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier.

Le béton est constitué de deux parties essentielles :



L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange de ces différents constituants pour obtenir un béton dont les qualités soient celles recherchées pour la construction de l'ouvrage à réaliser.

Presque toujours, il s'agit de rechercher deux qualités essentielles:

- L'OUVRABILITE : affaissement au cône d'Abrams : **A** ;
- LA RESISTANCE : résistance en compression du béton à 28 jours : f_{c28} ;

Mais il faudra, en fonction de l'utilisation du béton, rechercher d'autres qualités: Etanchéité, résistance au gel, etc...

Il n'existe pas une composition type, mais des méthodes de composition (FAURY, BOLOMEY, VALLETTE, DREUX-GORISSE, ...). Elles sont toutes basées sur une adaptation de résultats expérimentaux. [12]

II-2.1 facteurs essentiels de composition :

A-La pâte de ciment :

Dans le béton frais, la pâte de ciment permet à la fois d'assurer la fluidité du béton et la cohésion du mélange (plasticité). Ces deux caractéristiques sont liées à la viscosité de la pâte de ciment et à sa proportion dans le mélange.

Dans le béton durci, après la réaction d'hydratation du ciment, la pâte de ciment se transforme en un enchevêtrement de cristaux qui assure le collage " des granulats et la résistance du béton. Cette fois, c'est la nature de la pâte qui est fondamentale (nature du ciment et quantité d'eau).

Des expériences ont montré que:

- La résistance d'un béton ne dépend que du rapport ciment/eau (C/E) et de la classe du ciment, (Il faut tout de même une quantité suffisante de pâte de ciment correspondant à environ 200 kg de ciment / m³).
- La quantité d'eau nécessaire à la réaction d'hydratation du ciment correspond à un rapport C/E compris entre 1,5 et 2,5. Si on réduit ce rapport, on introduit une quantité d'eau non liée assimilable à du vide.

Avec un dosage en ciment C constant, l'ouvrabilité augmente quand le rapport C/E diminue l'augmentation de la quantité d'eau E dans le mélange diminue la viscosité de la pâte de ciment et augmente la fluidité du béton frais.

Le rapport C/E étant constant, l'ouvrabilité croît avec le dosage en ciment, l'augmentation du dosage C en ciment implique une augmentation de la quantité de pâte de ciment et donc une plus grande plasticité du béton frais.

Plus la proportion de pâte de ciment est importante, plus les risques de retrait et de fluage sont importants.[13]

B-Composition granulaire :

Il s'agit avant tout d'un problème économique: Le ciment étant le constituant le plus coûteux du béton, on a intérêt à en limiter la proportion.

Le principe retenu est donc de déterminer une composition granulaire (rapport G/S) conduisant à un mélange laissant un minimum de vides, qui seront comblés par la pâte de ciment. [12]

III- CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON:

Nous distinguons également deux cas importants, qui sont les suivants :

III-1 Le Béton frais :

On peut dire frais lorsque le béton n'a pas entamé son processus de prise et de durcissement. Le béton frais a la capacité de se déformer et de s'écouler ; ce qui permet de le transporter ou de le pomper et de remplir les moules ou les coffrages.

Propriétés :

Il présente deux propriétés fondamentales :

- **L'aptitude au moulage :**

Elle lui permet de prendre toutes les formes possibles.

- **La maniabilité ou l'ouvrabilité :**

Les caractéristiques de l'ouvrage et les moyens de mise en œuvre du béton déterminent une composition dont la consistance est ajustée par l'essai au cône d'Abrams

- **La porosité et la compacité :**

Ces propriétés conditionnent les deux premières. Plus un béton est compact (ou moins, il est poreux), plus ses performances seront élevées et sa durabilité importante

. On améliore la compacité du béton en optimisant la dimension et l'empilement des granulats et en réduisant la quantité d'eau. [16]



Figure I-2 : cône d'Abrams [14].

Cette propriété est indispensable pour garantir un parfait remplissage des moules et des coffrages dont les formes sont parfois complexes et un bon enrobage des armatures [14].

III-2 Le Béton durci :

Est un matériau hétérogène : un 'squelette' de granulats gros et fins est enveloppé et lié par un 'tissu' de fibres d'hydrates de ciment. La qualité du béton à l'état durci dépend des Caractéristiques du squelette pierreux, de la pâte de ciment durcie, et de l'adhérence entre les deux. [15]

Propriétés :

Il se caractérise par plusieurs propriétés, en particulier :

- **La résistance mécanique (résistance à la compression) :**

Les bétons usuels présentent des résistances comprises entre 25 et 40 MPa. Au-delà de 50 MPa, on parle de bétons hauts performances (50 MPa correspondent à une force de 50 tonnes agissant sur un carré de 10 cm de côté).

- **La durabilité :**

Le béton offre une grande pérennité face aux agressions physico-chimiques du milieu environnant (gel, pluie et pollution atmosphérique...). Il est particulièrement adapté pour la réalisation d'ouvrages devant résister à des conditions difficiles et extrêmes.

IV-LES PROBLEME DU BETON :

Un béton trop riche en eau devient poreux et perd de sa résistance. C'est pourquoi le premier facteur à risque du retrait de béton est constitué par l'excès d'eau dans le béton frais. On parle de retrait de ressuage ou de retrait plastique : fragilisé, le matériau se fissure et est moins durable, autre chose les causes des dommages au béton sont nombreuses. Dans certains cas, la durée de vie théorique de la structure en béton a été dépassée, la conception, l'exécution et l'utilisation des matériaux étaient inadéquates en termes de durabilité ou l'entretien était insuffisant ou inexistant. [17]

Où la majorité des problèmes de béton se résument en plusieurs titres qui sont les suivants :

IV-1 Qualité de matériaux :

Le béton est composé de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants. Sa formulation est réalisée en fonction de son utilisation et tient compte des caractéristiques des constituants.

-Ciment : Le choix du ciment conditionne les qualités du béton ainsi que sa résistance à court et long terme et lui apporte sa durabilité

- Certains ciments ont des propriétés spécifiques, qui leur permettent de s'adapter à des environnements particuliers (prise en mer, eaux à haute teneur en sulfates...).
- D'autres ciments répondent à des conditions d'utilisation spéciales (durcissement très rapide, résistance aux fortes chaleurs ou aux agressions chimiques), comme par exemple le ciment alumineux fondu, très résistant aux milieux acides.

On peut classer les ciments en **5 grandes catégories** selon la proportion des constituants qui entrent dans leur composition. [18]

-Les granulats : (sables et gravillons) sont caractérisés par :

- Des propriétés intrinsèques (coloration, caractéristiques mécaniques et physico-chimiques) découlant de la nature de la roche, qui influencent directement les caractéristiques du béton obtenu : rendu visuel, propriétés mécaniques, durabilité...
- Des propriétés de fabrication (forme, granulométrie, propreté), résultant du processus de traitement, qui influencent les propriétés du béton : demande en eau, ouvrabilité, propriétés mécaniques. [19]

-**Les adjuvants** : Ces constituants, incorporés au béton en faible quantité (moins de 10 kg/m³), améliorent les propriétés du béton.

- Les plastifiants réducteurs d'eau améliorent l'ouvrabilité ou réduisent la quantité d'eau de gâchage (et améliorent donc les performances mécaniques).
- Les super plastifiants (ou fluidifiants) ont des propriétés du même type, avec une efficacité accrue, et permettent d'obtenir des fluidités extrêmes (bétons autoplacants et autonivelants).
- Les accélérateurs de prise raccourcissent le temps de prise du béton : ils sont utilisés pour les bétonnages par temps froid ou pour décoffrer rapidement
- Les retardateurs de prise permettent à l'inverse d'allonger le temps de prise du béton : ils sont utilisés par temps chaud et pour maintenir une ouvrabilité du béton.
- Les hydrofuges de masse réduisent l'absorption capillaire du béton, qui devient plus imperméable aux liquides : ils sont utilisés pour des ouvrages tels que les réservoirs.
- Les entraîneurs d'air provoquent la formation de microbulles d'air stables et uniformément réparties dans la masse du béton, lui conférant une résistance aux actions combinées du gel et des sels de déverglaçage.
- L'eau de gâchage : Nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité du béton, elle doit être propre et utilisée en quantité précise : l'excès d'eau augmente la porosité du béton et altère ses résistances mécaniques et sa durabilité. [20]

IV-2 Les attaque chimique :

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton. Cette propriété est définie (dans un cadre très général) par la capacité du matériau à maintenir ses caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée.

Pour évaluer la durabilité « potentielle » d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation, et la résistance du matériau vis-à-vis de ces dégradations.

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.

A- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif. [21]

IV-3 Le défaut de mise en œuvre :

De la sortie de la centrale à béton à l'ouvrage fini, le béton passe par différentes phases : transport, pompage, coulage dans un coffrage, vibration, maturation, décoffrage, cure. Le Béton est acheminé à son emplacement définitif par goulotte, par bande transporteuse, par benne ou par pompage.

Confection du béton : Les moyens de confection du béton doivent être tels que le produit obtenu soit homogène et que les granulats soient bien enrobés de liant.

Approvisionnement du malaxeur : Les matériaux constitutifs du béton doivent être introduits dans l'ordre suivant : gravier, ciment, sable. L'eau ne peut être ajoutée qu'après un premier malaxage à sec du mélange gravier ciment sable.

Transport du béton : Le béton doit être transporté dans des conditions ne donnant lieu ni à ségrégation ni à un début de prise avant mise en œuvre. Le délai séparant la fabrication de la mise en place complète du béton transporté ne doit pas excéder le début de prise estimé suivant les cas de figure de 1 h à 1 h30 mn.

Mise en œuvre du béton : Le béton doit être mis en place avant tout commencement de prise par des procédés lui conservant son homogénéité, particulièrement dans le cas de béton pompé (Voir Annexe pour plus de détail). Si le ferrailage est dense sur une hauteur importante, il faut prévoir des goulottes pour conduire le béton jusqu'au fond de moule et éviter ainsi qu'il "cascade" à travers les armatures (risque grave de ségrégation). Le bétonnage ne doit pas se faire à partir d'une hauteur supérieure à 3.00 mètre. Dans le cas des éléments horizontaux de grandes surfaces (planchers radier. etc.), il est recommandé à ce que la hauteur de chute ne dépasse pas 80 cm. Pour la mise en place du béton par déversement de benne dans les murs et les poteaux de plus de 3.00 mètre de hauteur, la benne doit être prolongée par un tube afin de limiter la chute libre du béton.

Vibration du béton : Sauf justification spéciale. Tous les bétons doivent être mis en place par vibration. La vibration doit se poursuivre jusqu'à la cessation de l'apparition des bulles d'air. Le béton doit être vibré par couches successives d'épaisseur maximum de 50 cm.

Interruption et reprise de bétonnage : Les interruptions de bétonnages d'un élément de structure doivent être évitées autant que possible. S'il ne peut en être ainsi, des précautions doivent être prises pour assurer une bonne adhérence du béton nouveau sur le béton ancien ; il faut notamment repiquer et nettoyer à vif la surface de reprise pour y faire saillir les graviers, mouiller longuement et abondamment cette surface afin de saturer d'eau le béton ancien et, enfin éliminer l'eau en excès à l'air comprimé avant de reprendre le bétonnage. Il est contre indiqué de couler préalablement sur la surface de reprise, une barbotine de ciment. **Cure de béton** : La cure doit commencer dès le début de la prise du béton, elle doit être poursuivie pendant une semaine dans les cas normaux et pendant dix jours en cas de temps très sec et chaud. La cure peut être effectuée, soit par humidification soit par enduit temporaire imperméable. [22]

Les différents défauts existent sur les bétons [23] :

Bullage (ou soufflures)

TYPE DE DEFAUT : Bullage (ou soufflures)

SITUATION : Dans le cas présent, situé sur une pile Peut affecter différentes parties d'ouvrage

LA CAUSE : Les causes peuvent être regroupées en 3 catégories :

- défectuosité du béton
- inadaptation des coffrages
- négligence dans la mise en œuvre

CRITERE DE CLASSEMENT : Pose essentiellement un problème d'esthétique des parements : classe 1

Taches

TYPE DE DEFAUT : Taches sur les parements

SITUATION : Dans le cas présent, situées sur un mur en aile Peut affecter toutes les parties d'un ouvrage

LA CAUSE : Les causes sont variées (ségrégation, revibration...) Dans le cas présent, il s'agit de ragréages avec un ciment de teinte différente

CRITERE DE CLASSEMENT : Ne pose qu'un problème esthétique : classe 1

Ressuage

TYPE DE DEFAUT : Ressuage et petits nids de cailloux (aspect délavé du parement)

SITUATION : Dans le cas présent, sur une pile Le ressuage affecte les parements verticaux

LA CAUSE : La cause principale est l'excès d'eau qui entraîne une remontée des grains les plus fins lors du bétonnage et de la vibration

CRITERE DE CLASSEMENT : Pose essentiellement un problème d'esthétique des parements : classe 1

Lacune de bétonnage

TYPE DE DEFAULT : Lacune de bétonnage avec gaines de précontrainte apparentes et rouillées

SITUATION : Sous le talon d'une poutre précontrainte

LA CAUSE : Défaut de mise en œuvre du béton (vibration insuffisante, béton trop sec)

CRITERE DE CLASSEMENT : Peut faciliter la corrosion des câbles de précontrainte, surtout si ceux-ci sont mal injectés et que l'ouvrage se situe dans un environnement agressif : classe 2E
Nota : Ce défaut est en réalité intermédiaire entre un défaut de parement et un défaut de structure

Décollement d'enduit

TYPE DE DEFAULT : Ressuage et petits nids de cailloux (aspect délavé du parement)

SITUATION : Situé en partie supérieure de l'arc d'un bow-string

LA CAUSE : Les causes peuvent être diverses : vieillissement, sollicitations thermiques, cycles gel-dégel...

CRITERE DE CLASSEMENT : Facilite la pénétration de l'eau dans un béton relativement poreux ; ce défaut nécessite un entretien relativement urgent pour réduire le risque d'apparition de désordres graves : classe 2^E

Écaillage

TYPE DE DEFAULT : Écaillage de la peau du béton

SITUATION : Face latérale du tablier d'un bow-string

LA CAUSE : Les causes peuvent être d'origines diverses : vieillissement, cycles gel-dégel accompagnés ou non de l'utilisation de sels de déverglaçage

CRITERE DE CLASSEMENT : L'importance de l'écaillage nécessite une reconstitution du béton dégradé sur une surface importante : classe 2E à 3

Désagrégation

TYPE DE DEFAULT : Désagrégation très localisée du béton (environ 30 cm²)

SITUATION : Dégradation interne du béton par réaction sulfatique (sulfates provenant du sol utilisé pour le remblai en pied de mur)

LA CAUSE : Peut encore être considéré comme un défaut mineur de structure, bien que ce défaut laisse présager une étendue de la pathologie si des réparations assez lourdes ne sont pas faites : classe 2

CRITERE DE CLASSEMENT : Peut encore être considéré comme un défaut mineur de structure, bien que ce défaut laisse présager une étendue de la pathologie si des réparations assez lourdes ne sont pas faites : classe 2

Réaction sulfatique

TYPE DE DEFAULT : Désagrégation relativement localisée du béton

SITUATION : En pied de poteau

LA CAUSE : Dégradation interne du béton par réaction sulfatique (sulfates provenant du sol remblayé)

CRITERE DE CLASSEMENT : Est à considérer comme défaut majeur nécessitant une intervention rapide : classe 3U

Alcali-réaction

TYPE DE DEFAULT : Faiencage superficiel irrégulier souligné par l'humidité

SITUATION : Mur en aile d'un portique

LA CAUSE : Symptôme d'une probable alcali-réaction

CRITERE DE CLASSEMENT : Nécessitera probablement une intervention lourde Sans risque immédiat pour les usagers : classe 3

Alcali-réaction

TYPE DE DEFAULT : Maillage régulier de fissures accompagné d'épaufrures avec armatures apparentes

SITUATION : Culée supportant un ouvrage métallique

LA CAUSE : Dans le cas présent, dégradation interne du matériau (les analyses chimiques montrent la présence d'une alcali-réaction combinée à une réaction sulfatique)

CRITERE DE CLASSEMENT : Bien que la stabilité de la culée ne soit pas en cause, une intervention doit être envisagée : classe 2^E

Alcali-réaction

TYPE DE DEFAUT : Fissuration perpendiculaire à la direction des contraintes principales ; soulignée par l'humidité, elle a la même direction qu'une fissuration de diffusion des efforts de précontrainte

SITUATION : About d'un pont-caisson en béton précontraint

LA CAUSE : Résulte de la superposition d'un gonflement interne du béton par alcaliréaction et de la diffusion des efforts de précontrainte

CRITERE DE CLASSEMENT : La structure est altérée et elle est susceptible de présenter des défauts à long terme qui nécessiteront une intervention assez lourde : classe 3

V- LES MALDES DE BETON :

Le béton est certes un corps inerte, mais il n'en évolue pas moins dans le temps, c'est un composé vivant subissant des changements constants : dilatations, fissures, maladies, ruptures et d'autres encore ! Le béton ne peut donc être simplement abandonné après avoir été coulé, il est comme nous, il va falloir en prendre soin et faire attention à ce qu'il ne tombe pas malade, auquel cas il faudra envisager des cures pour le soigner.

Voici une liste, non exhaustive, des pathologies habituelles du béton armé ainsi que les traitements éventuels pour les soigner :

- **Réaction alcali-granulat**

La réaction alcali-granulats est une réaction chimique à évolution lente entre certains granulats dits « réactifs » et les alcalins normalement présents dans la solution interstitielle du béton ou introduits par des agents extérieurs. Cette réaction conduit à la formation d'un gel de silicate suivie d'un gonflement du béton qui provoque une fissuration importante et une perte de résistance considérable.

Afin qu'une réaction alcali-granulats ait lieu, les trois conditions suivantes doivent être réunies mais ne donnent pas forcément lieu à la réaction :

- Présence de granulats réactifs (silice mal cristallisée)
- Milieu ambiant humide
- Teneur suffisante en alcalins dans le béton (calcium, sodium)

- **La réaction sulfatique interne**

La réaction sulfatique interne résulte d'une remobilisation des sulfates initialement contenus dans la matrice cimentaire qui, normalement, se transforme en ettringite primaire lors de la prise du béton. Si cette réaction ne peut avoir lieu, l'ettringite secondaire (également dite différée) expansive peut se former ultérieurement dans le béton durci et provoque son gonflement et sa désorganisation.

Cette remobilisation des sulfates nécessite une élévation de température notable et durable du béton pendant sa prise (par exemple, $> 75^{\circ}\text{C}$ pendant plus de 4 heures), la réaction se produit donc essentiellement dans des bétons étuvés ou des pièces massives (piles de pont de section importante par exemple).

D'autres paramètres de la réaction sulfatique interne :

- Teneur en alcalins du béton,
- Teneur en SO_3 et Al_2O_3 (C3A) du ciment,
- Formulation du béton (dosage en ciment, E/C, granulats),
- Humidité relative du milieu.
- **Corrosion du béton armé due à la pénétration de O_2 et H_2O**

L'action des chlorures est spécifique à certains environnements dans lesquels peut se trouver le béton comme les ouvrages soumis aux sels de déverglaçage ou situés en site maritime. Les ions chlorures sont les plus agressifs, vis-à-vis des armatures. Une teneur élevée en ion chlore provoque la corrosion si le béton est dans un environnement humide (une présence suffisante de O_2 et H_2O pour soutenir la réaction). Dans les bétons carbonatés, même une très faible teneur en chlorures peut provoquer la dépassement des aciers d'armature.

- **Attaque due aux acides**

Le principal milieu externe d'agression chimique pour le béton, c'est le milieu acide. Lorsque les acides entrent en contact avec le béton, ils dissolvent la chaux produite par l'hydratation du ciment, faisant alors progressivement diminuer le pH et ils annihilent ainsi la passivation des aciers mais aussi la résistance du béton. Plus le pH est faible, plus l'attaque est importante

- **Attaque sulfatique externe**

Les sulfates, source de cette attaque, ont des origines naturelles mais aussi accidentelles, notamment la pollution industrielle:

- Les sols peuvent contenir naturellement une quantité de sulfates (de 0.01 à 0.05%).

Dans le cas des sols constitués de roches gypseuses, cette teneur peut être supérieure à 5%.

- Les eaux souterraines séléniteuses proviennent de la dissolution de nappes de gypse. Elles peuvent aussi provenir de la dissolution de tous les sulfates alcalins

- **Liquéfaction du sol**

Le phénomène de liquéfaction des sols meubles lors d'un séisme, plus généralement de vibrations, est un évènement catastrophique. De nombreux et importants sinistres sont ainsi rencontrés. Il est décrit comme le fait que le sol se comporte pendant un court instant à la manière d'un fluide visqueux. Ce phénomène est principalement rencontré dans les milieux côtiers et des sols sableux, ainsi que les argiles sensibles. Il se produit si le sol est saturé et soumis à des sollicitations rapides, telles que les séismes, les raz-de marée, les explosions

[24]

CHAPITRE II :
L'AGRISSIVITE SUR
LES BETONS

II-1 INTRODUCTION :

Lorsqu'une structure en béton est sujette à des actions chimiques, sa durabilité est affectée. Les produits chimiques peuvent provoquer une fissuration du béton, un changement de volume et une détérioration de la structure. La durée de vie de la structure se réduit et cela peut entraîner une défaillance des structures. [25]

Là où une petite partie des installations en béton est parfois exposée à l'influence des produits chimiques, et il faut s'éloigner le plus possible de ces effets, car la résistance du béton aux produits chimiques est souvent inférieure à sa résistance aux autres influences. Les effets les plus courants sont les attaques de sulfate, les attaques d'acide ...Etc., dans ce chapitre, nous expliquerons brièvement l'effet des produits chimiques courants les plus importants. [26]

II-2 LES ATTAQUES CHIMIQUES :

La durabilité est la capacité du béton à supporter les conditions pour lesquelles il a été conçu et à fonctionner dans son environnement pendant une longue période de temps (durée de vie par défaut) sans dommage ni fragmentation.

En d'autres termes, la durabilité est la résistance du béton à la détérioration, qu'elle soit due à des facteurs externes ou de facteurs internes. Les facteurs internes comprennent l'apparition de réactions nocives entre les matériaux en béton et l'apparition de changements volumétriques.

Ainsi que la pénétration de liquides dans celui-ci. Quant aux facteurs externes, ils comprennent les conditions de fonctionnement, le chargement, et l'influence de l'atmosphère entourant l'installation.

Il existe de nombreuses causes qui conduisent à la détérioration du béton, et elles peuvent être classées dans les groupes suivants :

- Hydrolyse ou lessivage (dissolution) des hydrates ;
- Echange ionique entre l'hydrate et le milieu agressif ;
- Formation de produits gonflants dans le béton ; [27]

Lorsque le béton est exposé aux attaques chimiques, se produisant dans les sols naturels, les eaux de surface, les eaux, comme indiqué au Tableau1, les classes d'exposition doivent être données ci-après. la classification de l'eau de mer dépend de la localisation géographique, par conséquent la classification valide sur le lieu d'utilisation du béton s'applique

Note : une étude particulière peut nécessaire pour déterminer la classe d'exposition adéquate dans les environnements tels que :

- n'entrant pas dans les limites du Tableau1 ;
- contenant d'autres substances chimiques agressives ;
- sol ou eau polluée chimiquement ;
- présentant une vitesse d'écoulement de l'eau élevée, en combinaison avec certaines substances chimiques du Tableau1

XA1 : environnement à faible agressivité chimique, selon le tableau 1

XA2 : environnement d'agressivité chimique modérée, selon le tableau 1

XA3 : environnement à fort agressivité chimique, selon le tableau 1

| | | | | |
|---|---------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------|
| <p>Les environnements chimiques agressifs classés ci-dessous sont fondés sur des sols et eaux souterraines naturels à une température eau/sol comprise entre 5 °C et 25 °C et où la vitesse d'écoulement de l'eau est suffisamment faible pour être assimilée à des conditions statiques. Le choix de la classe se fait par rapport à la caractéristique chimique conduisant à l'agression la plus élevée. Lorsqu'au moins deux caractéristiques agressives conduisent à une même classe, l'environnement doit être classé dans la classe immédiatement supérieure, sauf si une étude spécifique démontre que ce n'est pas nécessaire.</p> | | | | |
| Caractéristique chimique de | Méthode d'essai référence | XA1 | XA2 | XA3 |
| Eaux de surfaces et souterraines | | | | |
| SO₄²⁻ en mg/l | EN 196 - 2 | ≥ 200 et ≤ 600 | > 600 et ≤ 3000 | > 3000 et ≤ 6000 |
| pH | ISO 4316 | ≤ 6.5 et ≥ 5.5 | < 5.5 et ≥ 4.5 | < 4.5 et ≥ 4.0 |
| CO₂ agressif, en mg/l | PrEN 13577 : 1999 | ≥ 15 et ≤ 40 | > 40 et ≤ 100 | > 100 Jusqu'à saturation |

| | | | | |
|--|---|------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| | ISO 7150- 1 ou ISO 7150- 2 | ≥ 15 et ≤ 30 | > 30 et ≤ 60 | > 60 et ≤ 100 |
| NH₄⁺, en mg/l | | | | |
| | ISO 7980 | ≥ 300 et ≤ 1000 | > 1000 et ≤ 3000 | > 3000 Jusqu'à saturation |
| Mg₂⁺ en mg/l | | | | |
| Sol | | | | |
| | EN 196- 2 ^b | ≥ 2000 et $\leq 3000^c$ | $> 3000^c$ et ≤ 12000 | > 12000 et ≤ 24000 |
| SO₄²⁻ mg/kg^a total | | | | |
| | DIN 4030- 2 | > 200 Baumann Gully | N'est pas rencontré dans la pratique | |
| Acidité ml/kg | | | | |
| <p>a Les sols argileux dont la perméabilité est inférieure à 10-5 m/s peuvent être classés dans une classe inférieure.</p> <p>b La méthode d'essai prescrit l'extraction du SO₄²⁻ à l'acide chlorhydrique; alternativement il est possible de procéder à cette extraction à l'eau si c'est l'usage sur le lieu d'utilisation du béton.</p> <p>c La limite doit être ramenée de 3 000 mg/kg à 2000 mg/kg, en cas de risque d'accumulation d'ions sulfate dans le béton due à l'alternance de périodes sèches et de périodes humides, ou par remontée capillaire</p> | | | | |

Tableau II-1 : Valeurs limites pour les classes d'exposition correspondant aux attaques des sols naturels et eaux souterraines. [28]

II-2.1 Attaque sulfatiques :

II-2.1.1 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. [29]



Figure II-1 : Cas pathologiques d'éléments en béton en contact avec des sulfates [30]

II-2 .1.2 Sources des sulfates :

Les sources de sulfate responsables de l'attaque des sulfates comprennent deux sources :

Sources internes : Il est rare, mais provient des matériaux de fabrication du béton tels que le ciment hydraulique, les cendres volantes, les granulats et les adjuvants. Le ciment Portland peut être persulfate. Présence de gypse naturel dans l'agrégat. Les adjuvants peuvent également contenir de petites quantités de sulfates. [31]

Sources externes : Les sources externes de sulfates sont plus courantes et sont généralement le résultat de sols ou d'eaux souterraines à forte teneur en sulfates, ou peuvent être le résultat de la pollution de l'air ou de l'eau industrielle. Peut contenir du gypse ou d'autres sulfates. Les

eaux souterraines doivent être transportées vers des fondations en béton, des murs de soutènement et d'autres structures souterraines. [32]

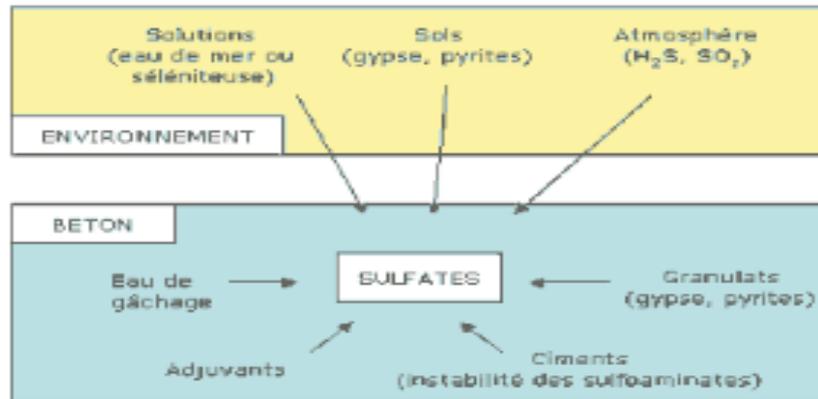


Figure II-2: L'origine des sulfates (interne ou externe) [33].

II-2.1.3 Mécanisme d'attaque :

Le mécanisme d'action du dioxyde de soufre sur le béton s'effectue selon les étapes suivantes :

- Le dioxyde de soufre gazeux, SO_2 pénètre dans les pores des vides de béton ;
- Il se transforme en H_3SO_3 sous l'influence de l'hydratation et de la présence d'eau ;
- Il réagit avec les composés de ciment durcissant et forme du sulfate de calcium C_aSO_3 ;
- Le C_aSO_3 s'oxyde sous l'effet de l'oxygène de l'air et se transforme en $CaSO_4$;
- En raison de la présence d'eau, $2H_2O$ et C_aSO_4 se forment ;

L'oxydation des cercles de soufre n'est pas seulement à la surface du béton, mais aussi à l'intérieur de celui-ci, et cela résulte de la présence d'eau à l'intérieur des vides. Dans ce cas, des acides sulfuriques se forment à l'intérieur du béton, qui apparaissent sur le surface sous forme de pointes acides [34]

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 ont les deux produits les plus sensibles à l'attaque par les sulfates.[35]

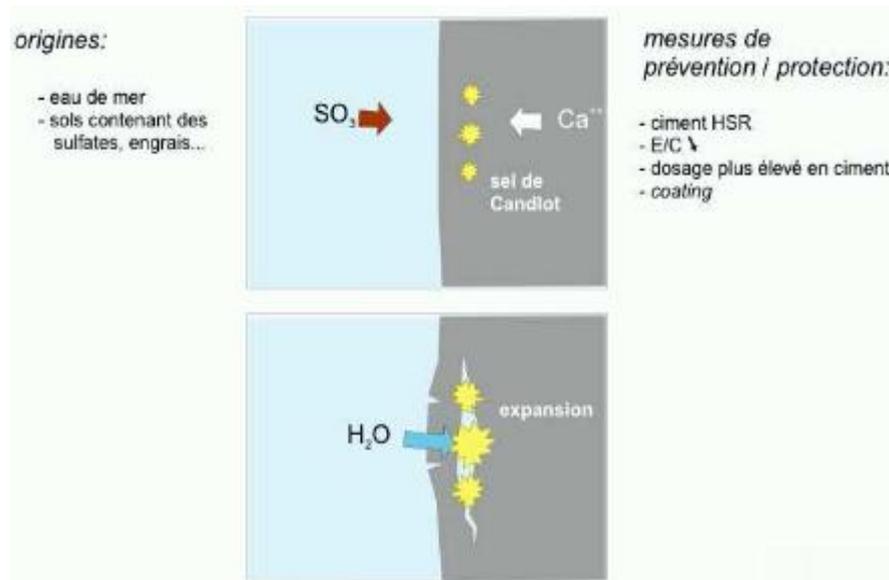


Figure II-3 : L'attaque par les sulfates[36].

II-2.1.4 Processus d'attaque par les sulfates internes :

L'attaque interne du sulfate est produite en raison de la réaction entre le sulfate présent dans les matières premières du béton (telles que les pierres, le ciment, l'eau, Et d'autres matériaux) à une certaine température. Grâce à une série de ces réactions, ce qu'on appelle : L'étrangéité est produite, responsable de la détérioration du béton. [37]

Il existe différentes classes d'étrangéité trouvées dans le béton, notamment:

-L'étringite primaire : Il se forme dans les premiers instants de la réaction d'hydratation du ciment sous l'action des sulfates présents dans les composés cimentaires (matériau de gypse - $C_aSO_4 \cdot 2H_2O$). Le gypse réagit avec l'aluminate tricalcique C_3A en présence d'eau pour produire de l'étringite primaire - $C_3A \cdot 3CSO_4 \cdot 32H_2O$ - qui est l'une des les types les plus communs Sa forme est comme une aiguille et sa présence est ordonnée. Normal car ce n'est pas un des problèmes du béton et ne provoque pas sa dilatation.

-L'éthingite secondaire : Il se forme lorsque le béton durcit. Si les sulfates sont d'origine interne, alors l'éthingite secondaire est stable et n'a pas d'augmentation de volume significative, mais si les sulfates sont d'origine externe, cette ettringite forme un volume supplémentaire dans le corps de béton qui conduit à sa destruction. [38]

II-2.1.5 Processus d'attaque par les sulfates externes :

L'attaque externe du sulfate est un mécanisme de dégradation chimique par lequel les ions sulfate d'une source externe attaquent les composants de la pâte de ciment. Cette attaque peut se produire lorsque le béton entre en contact avec de l'eau contenant des sulfates, par exemple. Eau de mer, eau de marécage, eau souterraine ou eaux usées. La formation massive de gypse et d'ettringite formée lors de l'attaque externe des sulfates peut provoquer la fissuration et l'écaillage du béton. Cependant, les études en laboratoire et les examens du béton sur le terrain montrent que l'attaque externe des sulfates se manifeste souvent, non par une expansion ou une fissuration, mais par une perte de cohésion et de résistance. [39]

Au travers du développement qui suit, ce type de dégradation sera abordée autant par son aspect phénoménologique que par les conséquences et les moyens de s'en prémunir en agissant sur des paramètres de formulation. Les études en laboratoire ont conduit à mieux définir les différentes étapes du processus qui entraîne la dégradation du béton :

- Mise en contact de la surface du béton avec la solution agressive.
- Pénétration des anions SO_4 , par diffusion limitée à une zone superficielle.
- Réaction ponctuelle des ions sulfates avec les aluminates anhydres (C_3A) ou hydraté ($C_3ACSO_4H_{12}$).
- Fissuration par effet de coin due aux pressions de cristallisation de l'ettringite.
- Accentuation de la pénétration des sulfates à la faveur des fissures.
- Progression de l'attaque suivant un front de dégradation, dont l'épaisseur a tendance à s'élargir au cours du temps.
- Destruction plus au moins complète du béton. [40]

II-2.2 Attaque par les acides :

II-2.2.1 Définition :

Le béton, matériau basique par excellence, est très sensible aux milieux acides avec lesquels il réagit suivant la réaction bien connue : Base + Acide \rightarrow Sel + Eau. [41]

L'attaque acide est la dissolution et la lixiviation des constituants sensibles aux acides, principalement l'hydroxyde de calcium, de la pâte de ciment du béton durci. Cette action se

Traduit par une augmentation de la porosité capillaire, une perte de cohésion et éventuellement une perte de résistance. [42]



Figure II-4 : Attaque par les acides [43].

II-2.2.2 Sources des acides :

Les milieux acides les plus courants sont:

- Les eaux naturelles dans les tourbières et les marécages, où le pH peut s'abaisser jusqu'à 4.
- Les milieux industriels : dans les industries chimiques ainsi que les industries agroalimentaires.
- Les réseaux d'égouts : l'activité bactérienne conduit au dégagement d'hydrogène sulfuré par la transformation des produits soufrés qui, combiné à l'humidité atmosphérique se condensent sous forme d'acide sulfurique qui va attaquer le béton.
- Les pluies acides, qui contiennent principalement de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ayant un pH entre 4.0 et 4.5, peuvent provoquer la dégradation de la surface exposée du béton.
- Calciques, aluminiques ou ferriques, ainsi que des acides siliciques colloïdaux (gels de silice). [44]

II-2.2.3 Mécanisme d'attaque :

De nature fortement alcaline, le béton est extrêmement sensible aux attaques acides. Le mécanisme de ce processus est très simple. Les produits d'hydratation du ciment sont présentés ci-dessous.

Silicate de calcium + Eau \longrightarrow Silicate de calcium hydraté + Hydroxyde de calcium

L'attaque acide est causée par la réaction d'un acide et de la portion d'hydroxyde de calcium de la pâte de ciment qui produit un sel de calcium hautement soluble. Ces sels de calcium solubles sont facilement éliminés de la pâte de ciment affaiblissant ainsi la structure de la pâte dans son ensemble. Cette réaction de base est illustrée ci-dessous.

Acide + Hydroxyde de Calcium \longrightarrow Sel de calcium + eau

Des acides plus agressifs tels que les acides chlorhydrique, acétique, nitrique et sulfurique produisent des sels de calcium très solubles. Les acides moins agressifs tels que les acides phosphorique et humique produisent des sels de calcium avec une solubilité plus faible. Ces sels peu solubles peuvent agir comme un inhibiteur partiel du processus global en bloquant un minuscule passage dans la pâte de ciment à travers lequel l'eau s'écoule. Cela réduit la quantité de sels de calcium qui entrent en solution et retardent le processus global.

Un cas d'attaque acide plus agressif et destructeur se produit lorsque le béton est exposé à l'acide sulfurique. Le sel de calcium produit par la réaction de l'acide sulfurique et de l'hydroxyde de calcium est le sulfate de calcium qui à son tour provoque une dégradation accrue due à l'attaque du sulfate. Ce processus est illustré ci-dessous.

Acide + Hydroxyde de Calcium \longrightarrow Sulfate + Water (le produit à base de sulfate de calcium contribue à l'attaque des sulfates)

La dissolution de l'hydroxyde de calcium provoquée par une attaque acide se déroule en deux phases. La première phase étant la réaction acide avec l'hydroxyde de calcium dans la pâte de ciment. La deuxième phase étant la réaction acide avec le silicate de calcium hydraté. Comme on pouvait s'y attendre, la deuxième phase ne commencera pas tant que tout l'hydroxyde de calcium n'aura pas été consommé. La dissolution du silicate de calcium hydraté, dans les cas les plus avancés d'attaque acide, peut causer de graves dommages structuraux au béton. [45]

II.2.3 La carbonation:

II-2.3.1 Définition de la carbonatation :

La carbonatation du béton est la réaction de la pâte de ciment soit avec le CO_2 atmosphérique, soit avec le CO_2 dissous dans l'eau, provoquant la conversion des hydroxydes alcalins du béton en carbonates. La carbonatation ou la neutralisation réduit le pH de l'eau interstitielle du béton de 12-13 à 8-9 par la réaction chimique du CO_2 atmosphérique avec le $C_a(OH)_2$ et le silicate de calcium hydraté du béton et provoque une réduction de la protection des armatures en acier. Le processus de carbonatation commence à partir de la surface du béton et se propage vers l'intérieur. [46]

II-2.3.2 Mécanisme de carbonatation :

Lors de la fabrication du béton, la quantité d'eau introduite pour l'hydratation de son ciment est toujours supérieure à la quantité nécessaire. De ce fait, le ciment hydraté est toujours un milieu poreux dont les pores sont d'abord remplis d'eau qui se chargent en ions pour respecter l'équilibre chimique avec les hydrates du ciment. Lorsque le matériau cimentaire sèche à l'air libre, il se désature en eau et les pores se remplissent partiellement d'air. Le CO_2 naturellement présent dans l'atmosphère est alors susceptible de diffuser à travers la phase gazeuse du ciment. Le CO_2 présent dans la phase gazeuse des pores se dissout dans la solution interstitielle pour former des ions carbonates qui réagissent principalement avec les ions calcium Ca^{2+} libérés par le ciment : $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$ [47]

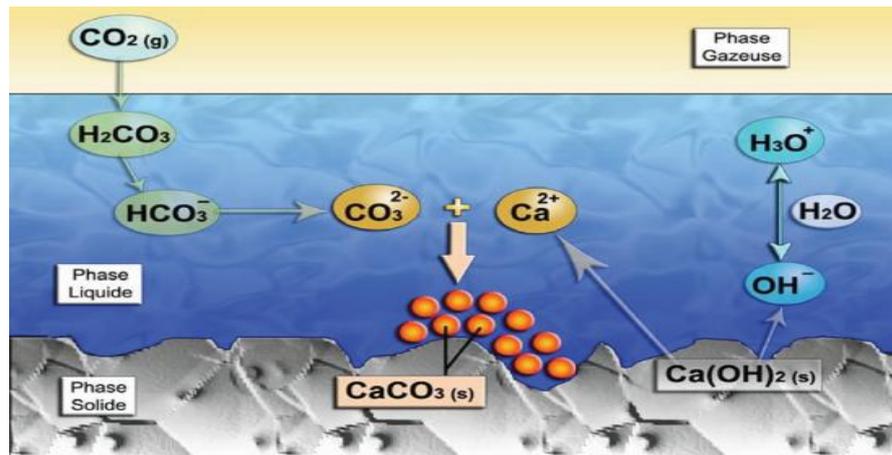


Figure II-5 : Mécanisme de carbonation [48]

II-2.3.3 Facteurs affectant la carbonatation :

Les facteurs suivants peuvent affecter la réaction de carbonatation dans le béton :

- Température ;
- Modification du pH ;
- Concentration de gaz CO_2 ;

II-2.4 L'alcali-réaction :

II-2.4.1 Définition de L'alcali-réaction :

L'alcali-réaction est une réaction chimique entre certaines formes de silice et de silicate, pouvant être présentes dans les granulats et les alcalins du béton. Elle correspond à une attaque du granulat par le milieu basique du béton et provoque la formation d'un gel de réaction (silicate alcalin), dont l'expansion engendre, sous certaines conditions, des gonflements. [49]

II-2.4.2 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. [50]

II-2.4.3 Les différents types d'alcali-réaction :

Il existe trois types de réactions alcalines sont :

- Réaction alcali-silice (RAS) ;
- Réaction alcali-silicate ;
- Réaction alcali-carbonate ;

II-2.5 La lixiviation en eau douce**II-2.5.1 Définition :**

Le phénomène de lixiviation des bétons correspond dans les grandes lignes à un lessivage des hydrates de la pâte de ciment au contact de milieux fluides. Les constituants hydratés de la pâte de ciment des bétons forment un milieu basique, le pH de leur solution interstitielle étant de l'ordre de 13. Dans ces conditions, la majorité des milieux fluides présente un caractère acide vis-à-vis du béton, entraînant ainsi des déséquilibres chimiques susceptibles d'aboutir notamment à une mise en solution des hydrates. Les milieux, naturels ou pas, pouvant conduire à des phénomènes de lixiviation correspondent aux eaux pures, aux eaux douces, aux pluies acides, et aux milieux plus franchement acides (acides minéraux et organiques, eaux résiduaires). Le pouvoir lixiviation d'un milieu est proportionnel à son acidité vis-à-vis du béton. Les recherches conduites sur ce sujet au cours des deux dernières décennies concernaient essentiellement la durabilité des bétons constitutifs des conteneurs de déchets radioactifs pouvant, au cours de leur histoire, être soumis au ruissellement des eaux de pluie et d'infiltration. [51]

II-2.5.2 mécanismes de la lixiviation :

La dégradation du béton due à l'exposition à des milieux liquides comprend :

- Phénomènes mécaniques liés aux effets d'érosion dus à la circulation du béton.
- Phénomènes physiques permettant le transport d'espèces ioniques l'effet de concentration (diffusion) ou de gradient de pression (perméation),

Phénomènes chimiques associés à des fluctuations de concentration conduisant à une sursaturation ou une instauration entraînant une dissolution ou une précipitation. Le phénomène de lessivage n'est donc qu'un facteur de décomposition du béton. À travers un

Milieu liquide. Cependant, il semble difficile de séparer lessivage et sédimentation. Les composés peuvent gonfler, ce dernier résultat étant souvent le lessivage. [52]

II-2.6 Les dégradations dues à l'eau de mer :

II-2.6.1 Définition de l'attaque marine :

La plupart des eaux de mer sont assez uniforme dans leur composition chimique, qui se caractérise par la présence d'environ 3,5 % des sels solubles en masse. Les concentrations ioniques de Na^+ et Cl^- sont les plus élevés, généralement 11 000 et 20 000 mg / respectivement.

Un béton exposé en site maritime peut être l'objet de plusieurs types d'agressions :

- a. Agressions mécaniques dues à l'action des vagues et des marées, abrasion due aux chocs des matériaux flottants et érosion due aux effets des vagues.
- b. Agressions chimiques dues à l'action des chlorures présents dans l'eau de mer et des sulfates – agressions climatiques dues aux variations de température et éventuellement à des phénomènes de gel-dégel.

Les structures situées en site maritime sont exposées à trois types de configurations. Selon les variations du niveau de la mer, elles peuvent être :

- c. Continuellement immergées (béton situé sous le niveau de la mer à marée basse), les bétons situés dans cette zone sont rarement l'objet de dégradations importantes ;
- d. Continuellement émergées et soumises aux embruns et brouillards marins contenant des chlorures, les bétons situés dans cette zone peuvent subir de légères agressions ;
- e. Alternativement émergées ou immergées en fonction du niveau de la mer (zones de marnage déterminées par les niveaux de marée haute et basse) ou soumises aux éclaboussures provoquées par les vagues,

Les bétons situés dans cette zone sont les plus agressés. [53]

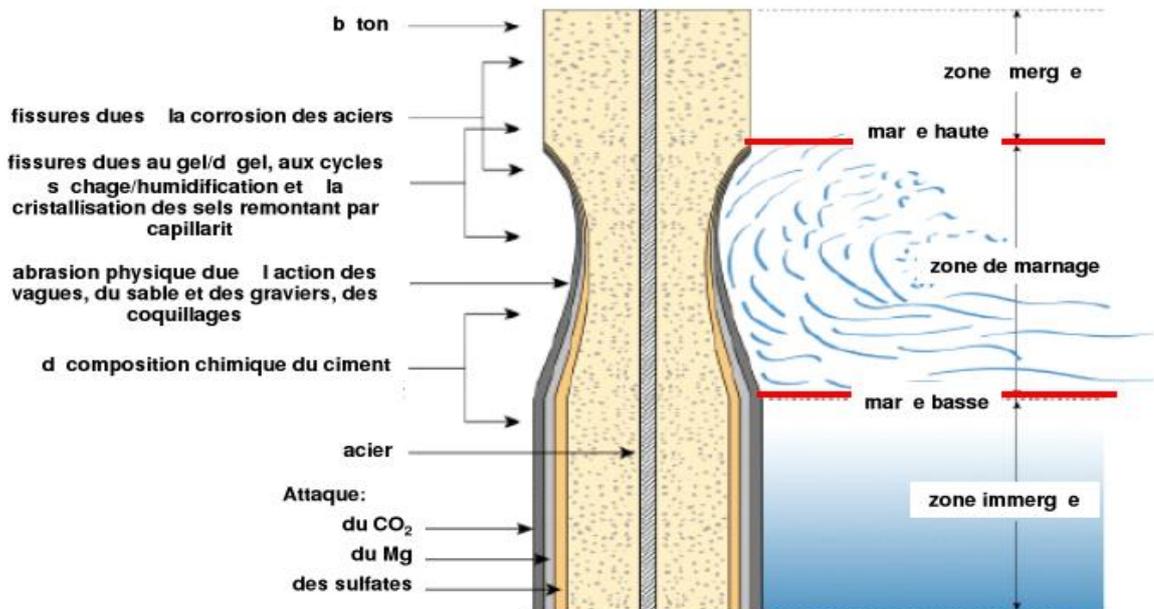


Figure II-6 : Représentation schématique d'un cylindre en béton armé exposés d'eauDe mer [54]

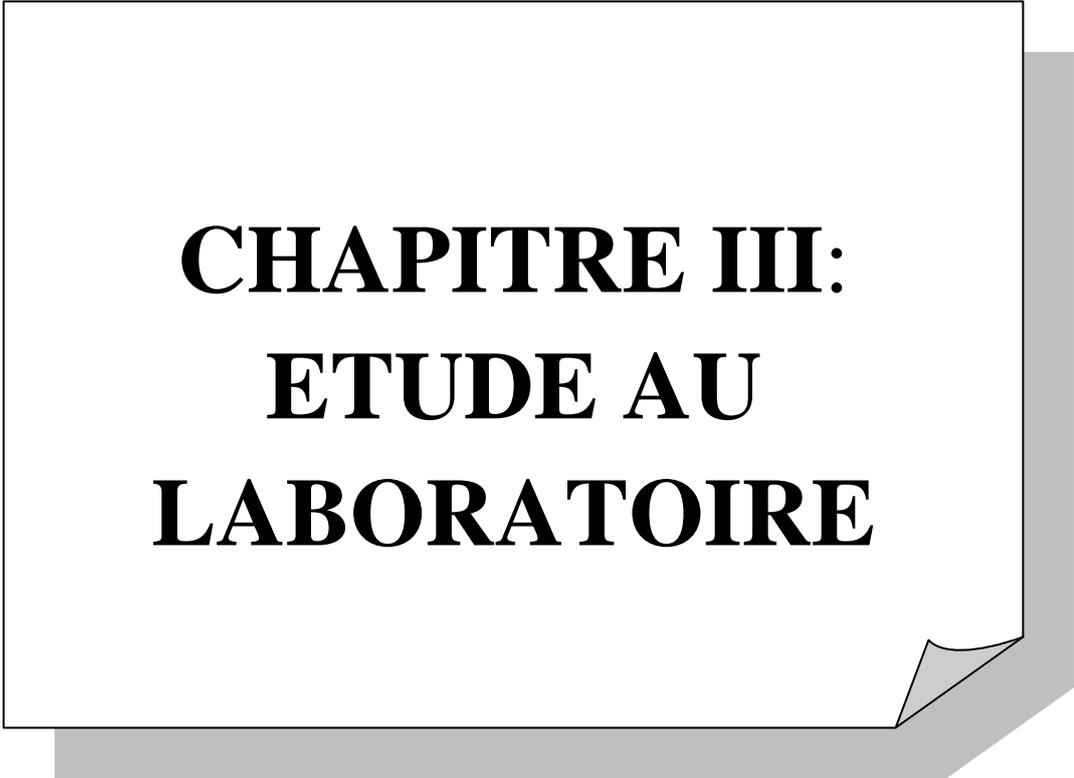
II-2.7 Attaque par les ions chlorures :

II-2.7.1 Définition de l'attaque par les ions chlorures :

Les ions chlorures qui pénètrent dans le béton se combinent chimiquement avec l'aluminate tricalcique C_3 (composant du ciment) et forment des monochloroaluminates hydratés ($C_3 \cdot C_a CL_2 \cdot 10H_2O$), relativement stable dans le béton. [55]

II-2.7.2 Source de l'attaque des ions chlorures :

Il existe deux sources principales d'ions chlorure; l'un provient des composants du mélange de béton et l'autre du milieu environnant. Le premier pourrait provenir des granulats et du sable non lavé, des adjuvants, et même de l'utilisation de l'eau de mer dans le traitement du béton. Le second provient principalement de l'exposition au milieu marin tel que les embruns salins, l'humidification directe par l'eau de mer, lorsque le béton est en contact avec des sols riches en dépôts de chlorures, ou peut provenir des sels de déverglaçage et de l'utilisation de produits chimiques. C'est par le processus de diffusion que le chlorure pénètre dans le béton. [56]



**CHAPITRE III:
ETUDE AU
LABORATOIRE**

III- 1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, nous présentons la méthode expérimentale utilisée dans ce projet. L'expérience comprend les parties suivantes :

Les matériaux et compositions utilisés dans cette expérience, et nous présentons les étapes utilisées pour préparer les échantillons de mortier, la méthode de mélange, la formule du mélange et le milieu agressif utilisé dans l'étude.

III-2 PROTOCOLE EXPERIMENTALE :

III-2.1 Préparations des éprouvettes des mortiers :

Le processus de préparation du mortier se déroule selon les étapes suivantes :

- Préparer tout le matériel nécessaire pour effectuer les tests
- Avant de commencer à mélanger, le mélangeur doit être nettoyé
- Préparer et peser des quantités d'ingrédients (ciment, eau et sable) à l'aide d'une balance.

La composition du mortier :

- Sable= 1350g ;
- Ciment 450g CPJ (El aouted) ;
- Ciment 450g CRS (EL Assas) ;
- Eau =225g ;

| | Sable(g) | Ciment(g) | Eau(g) |
|---|----------|-----------|--------|
| éprouvettes de mortier de type ciment CPJ | 1350 | 450 | 225 |
| éprouvettes de mortier de type ciment CRS | 1350 | 450 | 225 |

Tableau III-1: Les compositions des mortiers étudiés.

➤ Malaxage de mortier

Le processus de mélange est effectué au moyen d'un mélangeur électrique. Le processus de mélange est effectué selon les étapes suivantes :

-Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur, y verser ensuite le ciment, aussitôt après, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.

-après 30 secondes de malaxage introduire régulièrement le sable pendant les 30s suivantes. Mettre alors le malaxeur à sa vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires

-Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s pendant les 15 premières secondes enlever au moyen repoussant vers le milieu de celui-ci.

-reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60s



FigureIII-1: Malaxeur de mortier

➤ Moulage des éprouvettes :

-Lubrification des moules (il est recommandé de lubrifier les moules avant le processus de préparation du mortier).



Figure III-2 : Lubrification du moule.

-après le mortier préparé pour chaque série d'éprouvette, Chaque moule en métal avec trois cellules. On remplit le moule 4x4x16

-Une fois le moule préparé, il est fixé sur la table d'impact, une petite partie du mortier est insérée dans chacune des trois sections (03) et la machine d'impact à 60 chocs est démarrée.

On répète les mêmes opérations lors de la pose de la deuxième couche, après 60 nouveaux chocs, le moule est entièrement rempli de mortier

Une fois le moule retiré de la machine et le super est retiré, la pâte est aplatie avec le bord d'une règle métallique plate jusqu'à l'obtention d'une surface plane et lisse.



Figure III-3 : appareil vibrant

- Démoulage des éprouvettes des mortiers :
- Le démoulage est exécuté entre 20 et 24 heures après la mise en moule
- Le démoulage doit être effectué avec précaution



Figure III-4 : Démoulage des éprouvettes des mortiers.

Écrire les informations (date, type) des moules à mortier :

Où sont inscrites les informations (date, numéro, etc.) de chacune des éprouvettes des mortiers



Figure III-5 : Rédiger des informations sur les moules à mortier.

III-2.2 Préparation du milieu agressif :

Le milieu agressif utilisé dans notre étude correspond à encroutement calcaro-gypseux ramené de la région de Zelfana dans la Wilaya de Ghardaia.

Nous avons tamisé le tuf sur un tamis de diamètre 40, puis le mettre dans trois boîtes.



Figure III-6 : Le milieu agressif (tuf).

III-2.3 Conservation des éprouvettes dans milieu agressif :

Nous avons confectionné 63 éprouvettes d'essai de mortiers par la méthode susmentionnée, dont 45 étaient du ciment CPJ et 18 étaient du ciment CRS.

9 éprouvettes préparées à base de ciment CPJ et 09 éprouvettes à base de ciment CRS ont été considérées comme des éprouvettes témoins, elles sont conservées dans un milieu sain (chambre humide) pour nous permettre de faire la comparaison des résultats.

9 éprouvettes à base de ciment CPJ ont été placées dans le milieu agressif sans aucune protection : pour confirmer l'attaque du milieu agressif sur le ciment ordinaire ;

La 1^{er} méthode de protection considérée dans cette étude c'est l'utilisation du ciment spéciale (ciment résistant aux sulfates CRS) : 09 éprouvettes à base de ciment CRS ont été placés dans le milieu agressif

La 2^{eme} Méthode de protection consiste à protéger les éprouvettes par un film de plastique : 09 éprouvettes à base de ciment CPJ ont été bien emballées dans un film de plastique et placées dans le milieu agressif ;

La 3eme méthode de protection consiste à badigeonner les éprouvette par liant hydrocarboné (bitume fluidifié) : 09 éprouvettes à base de ciment CPJ ont été badigeonnées par bitume fluidifié de classe 400/600 et placé dans le milieu agressif ;

La 4eme méthode de protection consiste à isoler les éprouvettes par un couche de sable propre ; 09éprouvettes à base d ciment CPJ ont été placées dans le milieu agressif mais avec une isolation au moyen d'un sable propre (sable de dune)

Le tableau suivant montre les modalités de placement des échantillons

| Type de ciment | conservation | Nombre | Date de coulage | Caisse° | Date d'écrasement 3eprouvette | | |
|----------------|------------------|--------|-----------------|---------|-------------------------------|------------|------------|
| | | | | | 28 | 56 | 90 |
| CPJ | Témoin | 6 | 06/02/2023 | 4 | 06/03/2023 | 03/04/2023 | 07/05/2023 |
| | | 3 | 08/02/2023 | 4 | 08/03/2023 | 05/04/23 | 09/05/2023 |
| | En plastique | 9 | 06/02/2023 | 1 | 06/03/2023 | 04/04/2023 | 07/05/2023 |
| | Bitume | 9 | 07/02/2023 | 2 | 07/03/2023 | 04/04/2023 | 08/05/2023 |
| | Sable | 9 | 08/02/2023 | 3 | 08/03/2023 | 05/04/2023 | 09/05/2023 |
| | Direct au milieu | 9 | 08/02/2023 | 1 | 07/03/2023 | 04/04/2023 | 08/05/2023 |
| CRS | témoin | 9 | 13/02/2023 | 4 | 13/03/2023 | 10/05/2023 | 14/05/2023 |
| | Direct au milieu | 9 | 08/02/2023 | 2 | 08/03/2023 | 05/04/2023 | 09/05/2023 |

Tableau III-2: montre les modalités de placement des échantillons

III-2.4 Essai de résistance à la traction :

L'expérience de pliage est réalisée sur des échantillons de section carrée de 4 x 4 cm et d'une longueur de 16 cm. La distance entre les deux supports est de 10 cm. Le pliage est effectué par une cintreuse à trois points. La machine est équipée de deux supports cylindriques par les bas fixés sur lesquels repose l'échantillon, et d'un support supérieur cylindrique également. La force est appliquée à l'échantillon et la charge est lue directement sur la machine. Cette expérience est stipulée selon la règle [62 EN 196-1].

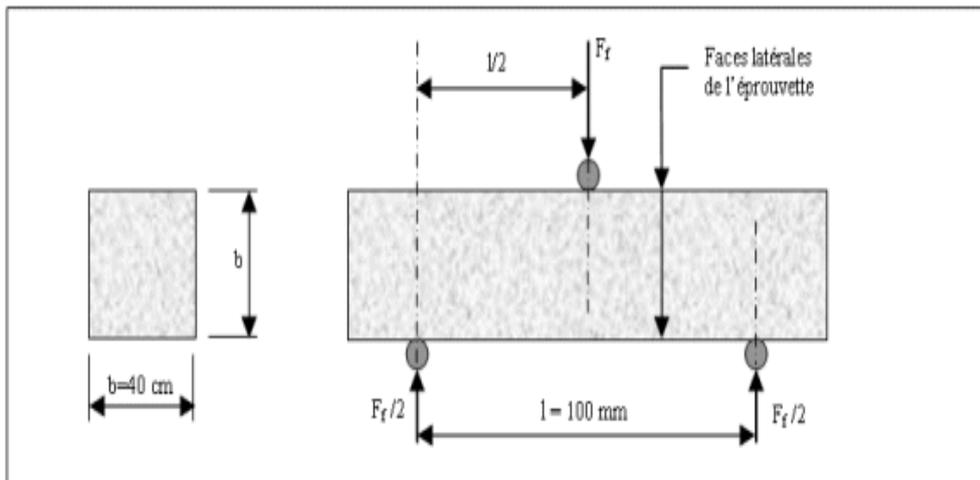


Figure III-7 : montre le mécanisme de résistance à la flexion. [57]

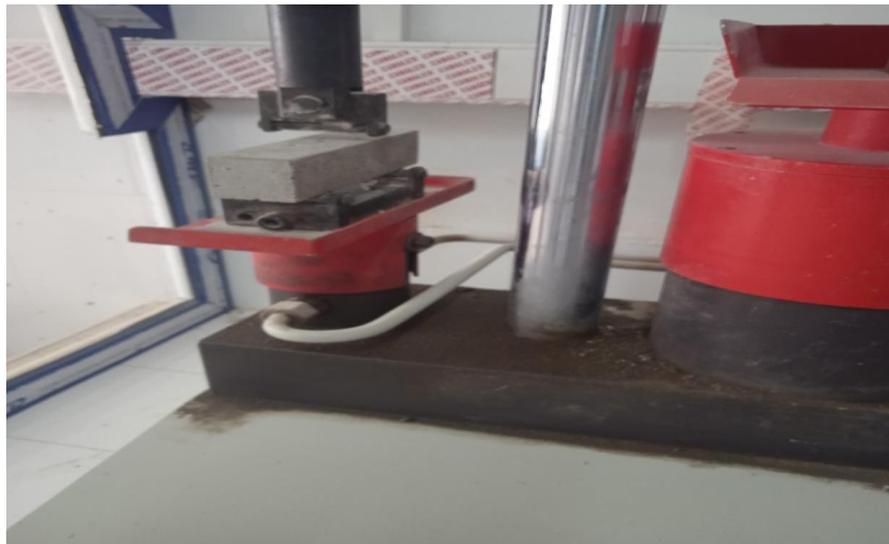


Figure III-8 : Démontrer la résistance à la flexion.

La résistance à la flexion est calculée par la relation suivante :

$$R_f = \frac{150 fl}{b^3}$$

R : résistance à la flexion (MPa)

R_f : la force de rupture de l'échantillon lors de la flexion

L : la distance entre les deux supports en (mm)

b : pièce échantillon égale à 40 mm

L : longueur totale de l'échantillon

III-2.5 Essai de résistance à la compression :

Cette expérience stipulée conformément à la règle [62 EN 196-1]. Elle est réalisée au moyen d'un appareil à pression de solides et elle est sur la moitié de l'échantillon. Après 1 cm des bords latéraux comme indiqué sur la figure.

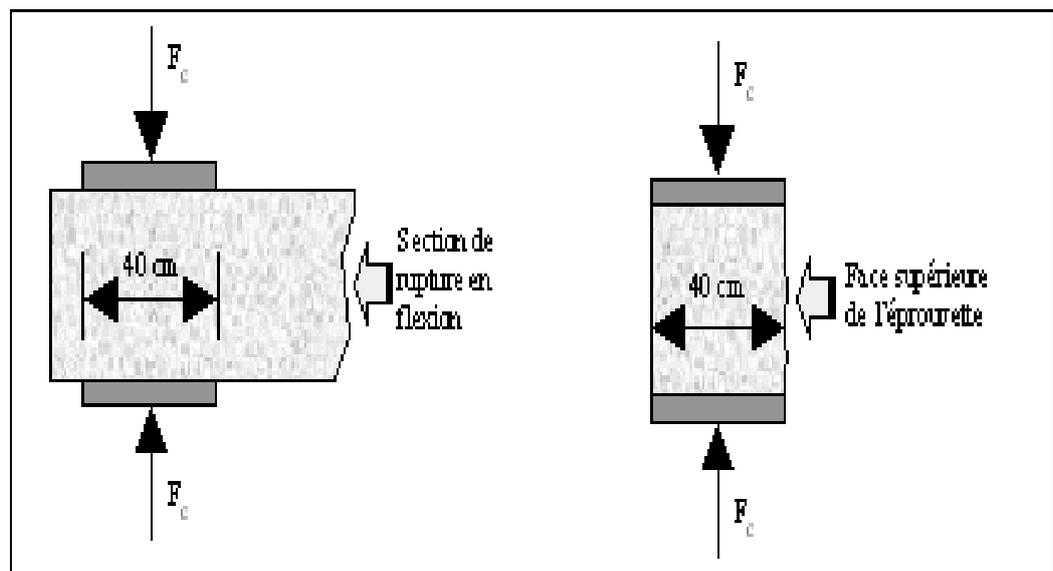
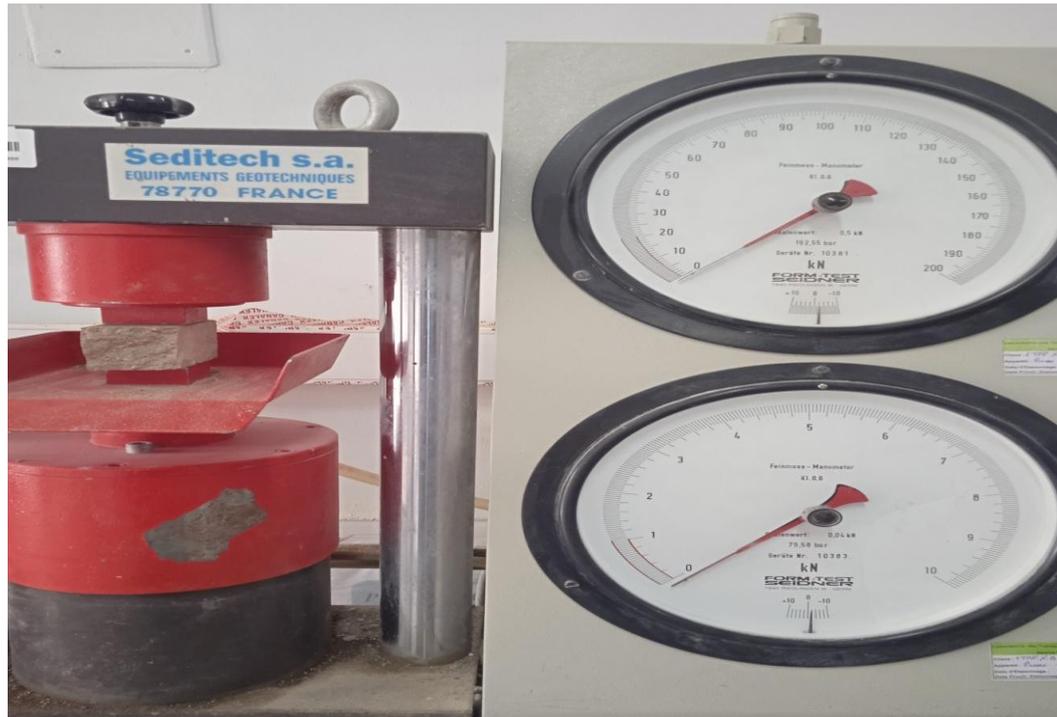


Figure III-9 : Démontre le mécanisme d'écrasement de la pression [57].



FigureIII-10 : Démonstration d'une machine à casser les presses.

La résistance à la compression est calculée par la relation suivante :

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

RC : résistance à la pression (MPa)

F: la force de rupture de l'échantillon lors de la compression (N)

b : dimension (coté) de l'échantillon 40mm

III-3 : MATERIAUX UTILISE :**III-3.1 Introduction**

Dans cette recherche, nous avons utilisé des matériaux de construction , dans le présent chapitre nous traiterons la caractérisation des matériaux utilise dans la fabrication des différents mélanges de mortier.

Comme vous le savez, notre étude repose sur l'évaluation et la connaissance de l'influence de la totalité des six différents milieux agressifs que nous avons créés sur le mortier de type du ciment CRS et type du ciment CPJ.

Au départ, si on parle des six milieux utilisés dans l'étude, on constate que les matériaux utilisés sont les suivants :

- Encroutement calcaro-gypseux (tuf) ;
- Bitume de type 400/600 fluidifiée ;
- Sable de dune (El Meniaa)
- Sable (Zelfana);
- Eau ;
- Ciment : CRS, CPJ ;

Chaque matériaux utilisés dans la présente étude a fait l'objet de détermination de ses propriétés physiques et chimiques :

III-3.2 le milieu agressif , Encroutement calcaro-gypseux (tuf) :

L'encroutement calcaro-gypseux (tuf) est un type de roche à structure vacuolaire, d'origine sédimentaire et qui provient des ions carbonate dissous dans l'eau qui a précipité en milieu continental (ruisseau, source riche en carbonate dissous, etc.) en incluant souvent des traces de végétaux ou de coquilles. [58]

Parmi ses propriétés, il est également insensible à l'eau et extrêmement imperméable, en plus certaines des caractéristiques sont les suivantes :

| Ech | Limites d'Atterberg NF P94-056 | | Proctor modifié NF P94-093 | | Analyse Chimique | | |
|-----|-----------------------------------|------|-------------------------------|------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------|
| | WL % | Ip% | wopt% | y max (t /m3) | Ca Co ₃ % | SO ₃ ⁻² % | Insolu bles% |
| TUF | 25 | 9.30 | 12.5 | 1.83 | 30 | 17.25 | 29 |

Tableau III-3 : Tableau des caractéristiques mécaniques et chimiques

On remarque qu'il contient un taux de sulfates très élevés (17.25% de SO₃⁻²), ce qui confirme qu'il s'agit d'un milieu très agressif

III-3.3 Bitume de type 400/600 :

Produit obtenu par la distillation sous vide du pétrole brut réduit importé, Le grade 400/600 représente l'intervalle de la valeur de pseudo -viscosité, Liant qui a pour but d'assurer la liaison entre granulats et le support, C'est un bitume à usage routier à temps de séchage moyen.

Fonctionnement/application :

- Utilisations routières ;
- Utilisé en enduits superficiels pour les chaussées;
- Formulation des émulsions de bitumes;
- Utilisations industrielles;

Caractéristiques :

Le BITUME 400/600 possède des caractéristiques spécifiques importantes offrant:

- D'orifice 10 mm, à 25 °C (s) :400 à 600 ;
- Densité relative à 25 °C (au pycnomètre) : 0,92 à 1,04 ;
- Pénétrabilité (à 25 °C, 100 g, 5 s) du résidu à 360 °C de la distillation (1/10 mm) : 80 à 200 ;
- Point d'éclair (vase clos) (°C) : > 55 °C ;[59]

Le tableau suivant résume les propriétés de 400/600 utilisé dans nos présentations

| Caractéristiques | Normes référence | Résultats obtenus |
|---|------------------|---------------------------|
| Densité relative à 25°C | NFT 66-007 | 0.993 |
| Pseudo Viscosité orifice 10 mm | NFT 66-005 | 721 |
| Distillation fractionnée (% vol) 225 °C 260°C 315°C 360°C | NFT 66-003 | 0% 2% 9.00 12.5% |

Tableau III-4 : Tableau de classes du bitume fluidifié

III-3.4 Sable de dune (El Meniaa) :

Une dune est une forme de relief ou un modelé constitué d'un amas de sable accumulé sur une largeur plus ou moins grande et une pente généralement assez élevée, sous l'action des vents (dune littorale, bordière ou côtière, d'une désertique ou continentale) ou du courant marin sous la mer (dune hydraulique). Le terme appartient au vocabulaire topographique, géographique (s.l.), géomorphologique. Les ensembles dunaires font partie des formations superficielles qui sont relativement récentes à l'échelle géologique. Il existe des dunes de tailles, de superficie, d'âges et de dynamiques variés. Les processus éoliens ou hydrauliques gouvernent l'édification, l'évolution, les mouvements des dunes et des massifs dunaires et définissent les formes générales et de détails (modelés). D'autres appellations qualifient les ensembles dunaires comme erg, croc, garenne, etc. Ces termes généralement locaux peuvent connaître un usage plus général et qualifier un type particulier de dune.

Toutes les dunes étant composées de sable, on ne parle pas de « dune de sable », sauf pour préciser la qualité du sable qui la compose : « dune de sable blanc ».[60]

La granulométrie et les analyse chimiques de ce sable utilisé dans nos présentations sont les suivantes

| CLASSE | Granulométrie (%) | | | | | |
|---------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | <0.315 Mm | <0.250 mm | <0.200 mm | <0.125 mm | <0.100 mm | <0.0603 mm |
| Sable de dune | 100 | 99.80 | 57.41 | 11.82 | 2.22 | 1.22 |

Tableau III-5 : Tableau de granulométrie de sable de dune

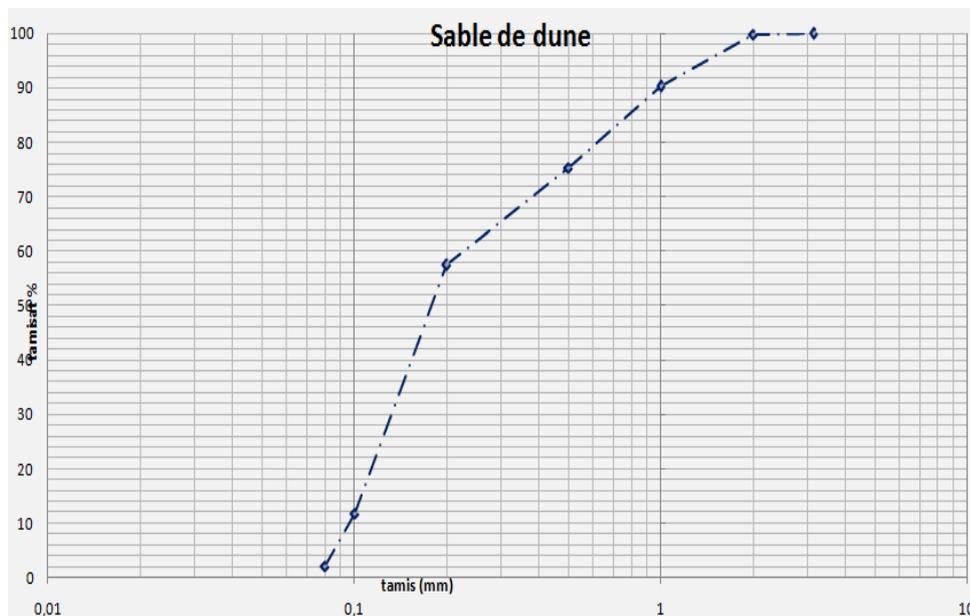


Figure III-11: la courbe granulométrique de référence sable de dune.

| Analyse Chimique | | | ES % |
|----------------------|---------------------------------|--------------|------|
| Ca CO ₃ % | SO ₃ ⁻² % | Insolubles % | 85 |
| 00 | - | 95 | |

Tableau III-6: Tableau d'analyse chimique.

III-3.5 Sable:

Les sables sont des grains de roches ou de minéraux ayant un diamètre compris entre 0,0625 mm et 2 mm (ou 4,75 mm et 5 mm, selon le système de classification utilisée). Nous utilisons, ici, le système de classification unifiée des sols (A. S. T. M.), en usage dans le domaine de la géotechnique et du Génie civil en Amérique du Nord. Le tableau suivant montre les limites inférieures et supérieures du diamètre des grains et les

numéros de tamis A. S. T. M. correspondants, pour trois plages de taille de grains de sable : sable grossier, sable moyen et sable fin.

| NOM | DIAMÈTRE DES GRAINS | NUMÉRO A. S. T. M. DES TAMIS |
|----------------|--------------------------|------------------------------|
| Sable grossier | > 2,00 mm à < 4,75 mm | tamis 10 - tamis 4 |
| Sable moyen | > 0,465 mm à < 2,00 mm | tamis 40 - tamis 10 |
| Sable fin | > 0,0625 mm à < 0,465 mm | tamis 200 - tamis 40 |

Tableau III-7 : Tableau de classification de sable

Le sable provient de l'altération et la désagrégation naturelle des roches et autres matériaux de la surface terrestre, sous l'effet du climat. Les matériaux fragmentés peuvent ensuite être transportés par l'eau et le vent, ultimement jusque dans les océans qui bordent les continents. Des accumulations exploitables de sable peuvent se former durant leur long transport vers les océans.

La granulométrie de notre sable est la suivante :

| CLASSE | Granulométrie (%) | | | | | |
|--------|-------------------|----------|-------|-------------|------------|------------|
| | <6.3 mm | <5 mm | <4 mm | <3.15 mm | <0.2 Mm | <0.1 Mm |
| Sable | 98 | 96 | 95 | 94 | 55 | 10 |

Tableau III-8 : Tableau d'analyse granulométrique.

| Ech | E S % |
|---------------|-------|
| Sable Zelfana | 63 |

Tableau III-9: Tableau de résultats équivalent de sable

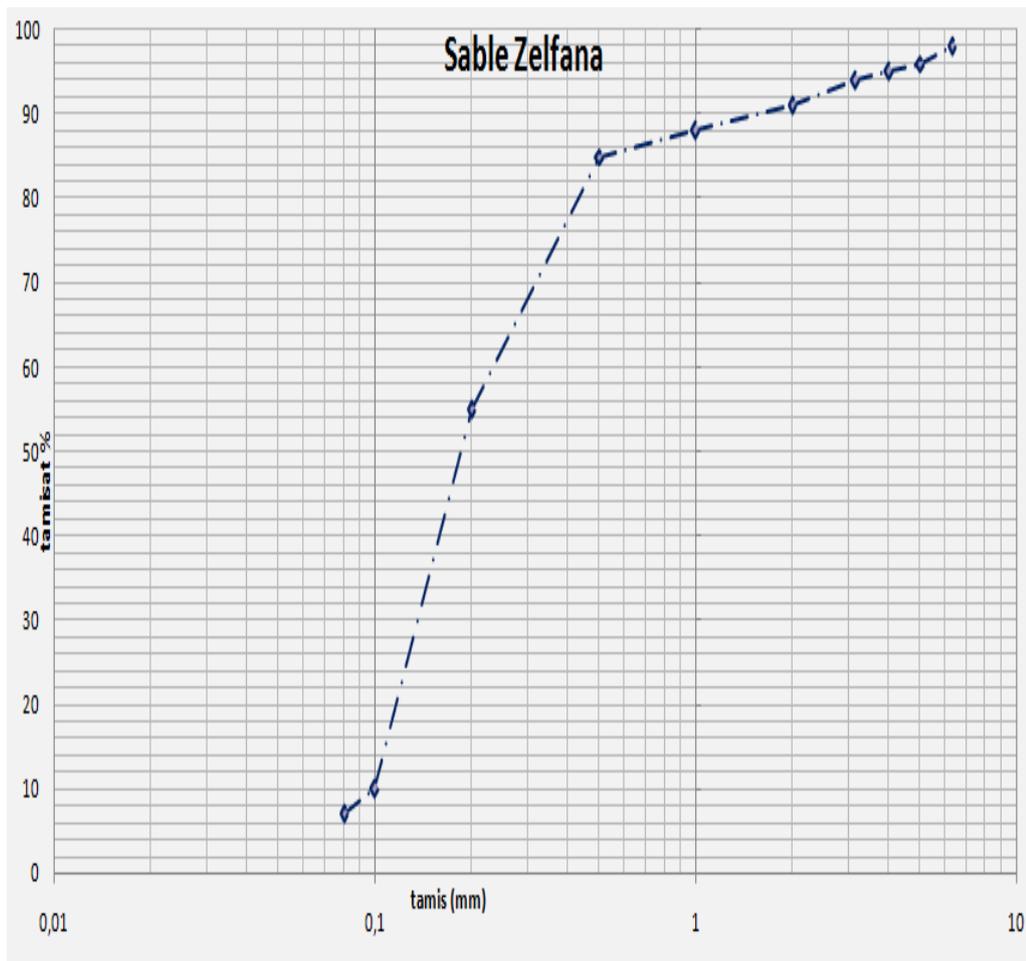


Figure III-12 : la courbe granulatoire de référence sable Zelfana.

III-3.6 L'eau :

L'eau utilisée dans la présente est une eau potable (eau de robinet)

III-3.7 Ciment

En ce qui concerne les ciments utilisés dans la préparation des mortiers sont ciment **CPJ** et **CRS**.

III-3.7.1 Ciment CRS :



Figure III-13 : ciment CRS [62].

Le **Ciment CRS** (ciment résistant aux sulfates) est constitué de : 95% de clinker, des constituants secondaires (de 0 à 5%) peuvent être incorporés dans ce ciment et du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise.[63]

Conformité produit : Classe SR5 NA 442/2013-EN 197-1/2012 ;

Désignation normalisée : NA 442-CEM I42.5N-LH/SR 5 ;

Ouvrages en milieux agressifs : Eau, sol, air ;

Ouvrages massifs fabrication :

- Produit 100% algérien ;
- Fabrication exclusive à l'usine amouda ciment sise à EL BEIDHA, LAGHOUAT ;

Propriétés physico-mécaniques :

- Résistance à la compression (2 jours) > 10 MPa ;
- Résistance à la compression (28 jours) > 42,5 MPa

Emplois et usages conformes a vos projets :

- Tunnels et travaux souterrains ;
- Terrains gypseux, eaux pures, eaux usées et industrielles ;
- Milieux sulfatés ;
- Fondations et structures à réaliser dans des milieux agressifs ;
- Injection ;
- Ouvrages massifs ;
- Travaux à la mer ;

III-3.7.2 Ciment CPJ :

Un ciment Portland de classe de résistance 42.5 ayant une résistance élevée au jeune âge, est identifiée par : Ciment CPA-CEM I 42.5 R. Un ciment Portland composé, contenant du clinker, de classe de résistance 32.5 ayant une résistance ordinaire au jeune âge, est identifiée par : Ciment CPJ-CEM II/B 32.5. [64]



Figure III-14 : ciment CPJ. [65]

Conformité produit : NA442 :2013 – EN 1997-1 : 2012 ;

Désignation normalisée : NA 442-CEM II/A-L 42.5 N;

Ouvrages en milieu non agressifs : Coulage par temps chaud ;

Transport du béton près a l'emploi fabrication :

- Produit 100% algérien ;
- Fabrication exclusive à l'usine amouda ciment sise à EL BEIDHA, LAGHOUAT ;

Propriétés chimiques :

- NA 5042(EN 196-2) :SO₃<3.5% ;
- NA 5042(EN 196-3) : chlorure <0.1% ;

Propriétés physico-mécaniques :

- NA 230 (EN 196-3) : DP>60 mm ;
- NA 234(EN 196-1) ;
- Résistance à la compression 2 jours>10 MPa ;
- Résistance à la compression 28 jours> 42.5 MPa ;

Emplois et usages conformes à vos projets :

- Ouvrages en béton armé ;
- Bétons auto-plaçant ;
- Dallages ;
- Sols industrie riels, chapes ;
- Fondation ;
- Travaux souterrains ;
- Voiries et chaussées en béton ;

III-3.8 MOULE PRISMAATIQUE :**Figure III-15:** moule de mortier.

Méthodes d'essais des ciments, confection des éprouvettes prismatiques (éprouvettes de ciments normalisée 40x40x160 mm).

Caractéristiques techniques :

Ce moule permet la confection des éprouvettes prismatique 4*4*16 cm avec l'utilisation d'une table à chocs :

- Livré avec un certificat de conformité ;
- Dimensions de la plaque de base : 200 x 214 mm ;
- Longueur intérieure : 160 +/- 1 mm ;
- Largeur intérieure : 40.0 +/- 0.2 mm ;
- Profondeur : 40.1 +/- 0.1 mm ;
- Épaisseur des parois : > 10 mm ;
- Planéité des faces latérales : < 0.03 mm ;
- Perpendicularité des faces : < 0.2 mm ;
- Dureté > 300 HV, acier traité à cœur ;
- Rugosité < N8, toutes faces rectifiées ;
- Montage par-dessus avec repères pour faciliter l'assemblage ;
- Numéro de série et marquage de toutes les parois gravées en profondeur (0,3 mm +/- 0,05 mm) ;
- Dimensions L214xP200xH50mm ;
- Poids environ 7.4Kg ; [66]

III-4 : ETUDE DE FORMULATION DE MORTIER :

Avant de commencer les essais et de préparer la pâte que nous voulons tester dans cette présentation, nous avons d'abord préparé :

- Le sable à utiliser en le tamisant avec un tamis du 40 mm, et en le plaçant dans l'étuve pour le sécher



Figure III-16: Tamisage du sable

- La deuxième étape de préparatif elle consistait à préparer les moules, et ceci en les vérifiant bien et en les enduisant avec de l'huile de l'intérieur :



Figure III-17 : Préparation du moule.

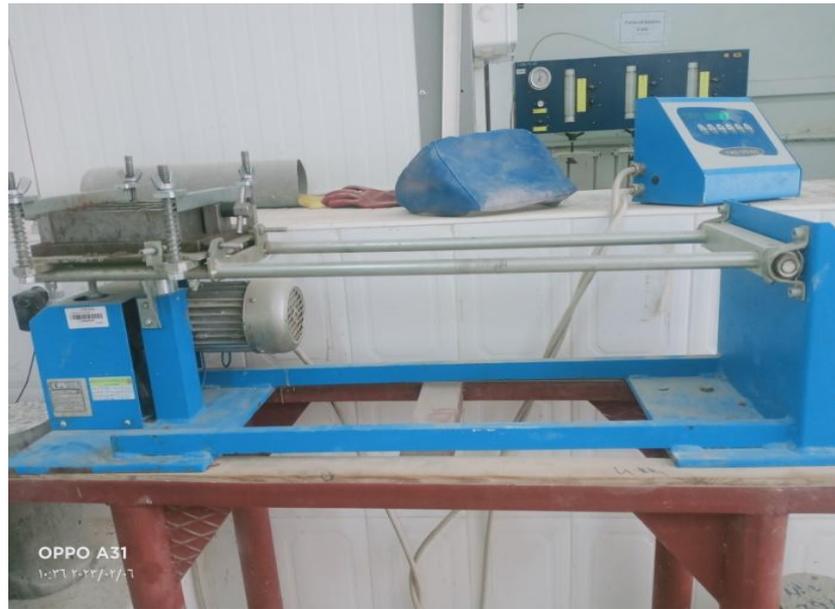


Figure III-18 : Préparez le moule et installez-le sur la machine.

III-4.1 : Préparation d'essai :

Après avoir préparé les poids suivant : 1350 g de sable(Zelfana), 450g de ciment CPJ (El aouted) et 225 g d'eau, nous les mettons dans un mélangeur et ceci après avoir fixé sa vitesse sur le numéro un, nous commence à verse l'eau en premier puis nous ajoutons le ciment CPJ et une fois que le ciment contact l'eau dans une durée de moins de dix seconde on fait tourner le mélangeur a vitesse constante tell que nous avons enregistré le temps de mixage, qui a été estime a trente seconde :



Figure III-19 : Préparer le malaxeur à mortier électrique.

A la fin de mélange de l'eau avec le ciment, nous ajoutons régulièrement du sable afin que ce processeur ne doit pas dépasser trente secondes après cela, nous passons la vitesse de mélangeur au numéro deux et l'allumons et commençons mélanger pendant encore trente secondes.

III-4.2 : Mode d'opération :

Introduire l'eau et le ciment dans le bol, en prenant soin d'éviter toute perte d'eau ou de ciment ; l'opération doit être achevée dans les 10 secondes.

Dès que l'eau et le ciment entre dans le bol, en contact mettre immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse tout en lançant le chronométrage des étapes du malaxage, de plus enregistrer le temps de démarrage à la minute près, comme étant le ' temps zéro '.

Après 30s de malaxage introduire régulièrement tout le sable pendant les 30 s suivants, passer le malaxeur sur grande vitesse et continuer le malaxage pendant du 30 s supplémentaires.

Arrête le malaxeur pendant 90 s. Pendant les premières 30 s enlever au moyen d'une raclette tout mortier adhérent aux parois et au fond du bol et le placer au milieu du bol, reprendre le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.

Après avoir terminé le processus de mélange, nous mettons le mélange dans les moules mais en deux étapes comme suit :

- Nous ajoutons jusque-là moitié du moule, et nous compactons avec la machine par soixantecoups ;



Figure III-20 : Mettre le mortier plus de la moitié du moule.

- Nous ajoutons l'autre moitié jusqu'à ce que le moule soit rempli et nous compactons avec la machine par soixante coups ;



Figure III-21 : Remplir le moule de mortier.

Et après retire le mélange, nous devons le niveler le haut de moules pour donner une forme plate et lisse.



Figure III-22 : Nivellement de la surface du moule pour donner une surface lisse.

Nous laissons sécher les échantillons une journée complète, puis nous ouvrons les moules et extrayons lentement les cubes pour qu'ils ne se cassent pas et ne se détériorent pas, et nous enregistrons sur ceux-ci le type de ciment utilisé et la date de travail :



Figure III-23 : Démoulage Après séchage, enregistrez les informations dessus.

Nous faisons les mêmes méthodes pour préparer les quantités requises de moule et aussi les mêmes méthodes, mais en utilisant un type de ciment différent CRS :



Figure III-24: Préparation de l'éprouvet avec un autre type de ciment CRS.

III-4.3 : Objet d'étude :

Une fois préparation des moules terminée nous procédons à la préparation des milieux agressifs en tamisant un échantillon de sol caillouteux(tuf) avec un tamis 20mm



Figure III-25: tamis le tuf.

Et nous le mettons dans des boites comme suite

Boite N°01 : Dans celui-ci nous avons mis neuf des cubes type de ciment CPJ recouvert de plastique et autre(9 cubes) sans emballage plastique du même type de ciment (CPJ) et nous avons placé le sol caillouteux (tuf) du bas et du haut des échantillons dans la boîte :



Figure III-26: Recouvrez les éprouvettes par un film de plastique et placez-les dans le milieu agressif.

La date de prélèvement est : 06/02/2023.

Boite N°02 :

Dans celui-ci nous avons mis neuf des cubes type de ciment CRS dans le milieu agressifs (tuf),et neuf cubes de type de ciment CPJ mais il sont graissés par le bitume type 400/600 fluidifié et c'est une journée avant, et nous avons placé le sol caillouteux (tuf) du bas et du haut des échantillons dans la boîte :



Figure III-27 : Peignez les éprouves avec bitume et lorsqu'ils sont secs, placez-les dans le milieu agressif.

La date de prélèvement est : 08/02/2023.

Boite N°03 :

On met de bas en haut comme suite

- : L'encroutement calcaro-gypseux (tuf) du le fond de la boite ;
- Un lit en sable propre ;
- Neuf des cubes type de ciment Cpj ;
- Une couche de sable propre ;

L'encroutement calcaro-gypseux (tuf) en haut de la boite



Figure III-28: Entourez et protégez les éprouvettes avec du sable à l'intérieur du milieu

La date de prélèvement est : 08/02/2023.

Boite N°04 :

La boîte numéro quatre est un milieu aqueux contenant les cubes suivants :

- Six cubes type de ciment CPJ (la date d'essai 08/02/2023) ;
- Trois cubes type de ciment CPJ (la date d'essai 06/02/2023) ;
- Neuf cubes type de ciment CRS (la date d'essai 13/02/2023) ;

Nous le mettons dans là Nous le mettons dans la salle de conservation



Figure III-29: Immerger les moules avec de l'eau et les placer dans la salle de conservation.

Caractéristiques techniques :

- NA 5042 (EN 196-2) :SO3 <3% ;
- NA 5042 (EN 196-2) : Chlorure <0.1% ;
- BogueC3A<5% ;

IV-DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS :

IV-1 INTRODUCTIONS :

Dans cette partie, nous présentons les résultats du travail appliqué effectué en laboratoire, qui consiste à présenter les propriétés mécaniques des mortiers conserver selon plusieurs méthodes et la comparaison entre les résultats obtenus.

Dans le présent travail nous allons utiliser les abréviations suivantes :

| Abrévié | Type ciment | protection | milieu |
|---------|-------------|----------------|----------|
| M1 | CPJ | NON | SAIN |
| M2 | CPJ | FILM PLASTIQUE | AGRISSIF |
| M3 | CPJ | BITUME | AGRISSIF |
| M4 | CPJ | SABLE | AGRISSIF |
| M5 | CPJ | NON | AGRISSIF |
| M6 | CRS | NON | SAIN |
| M7 | CRS | NON | AGRISSIF |

Tableau III-10 : Formulations des mortiers.

IV-1.1 Mortier à base de ciment (CPJ) conservée dans le milieu sain (M1) :**IV-1.1.1 Résistance à la compression :**

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la compression, sont présentés s dans la figure (III-30) ci-dessous

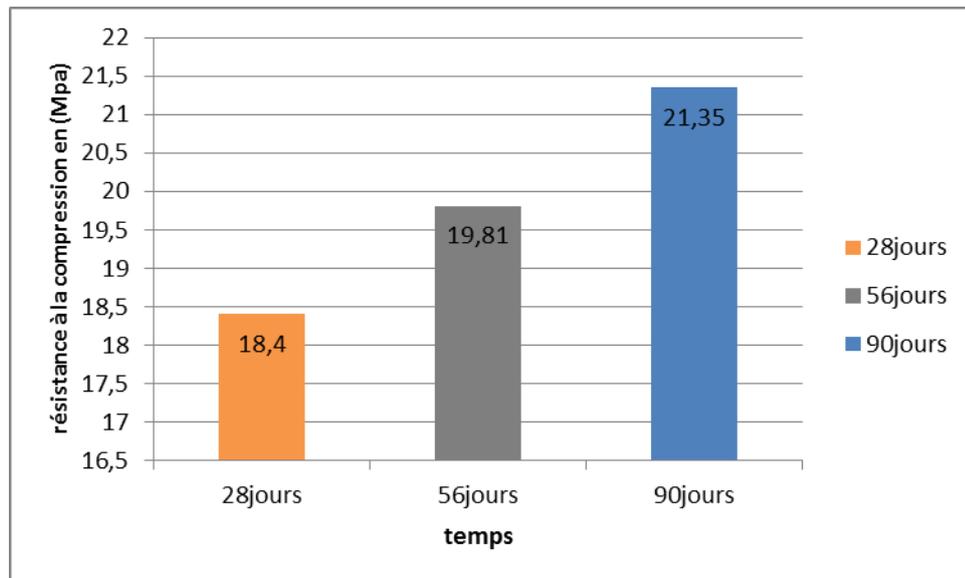


Figure III-30: montre les résultats du test de résistance à la compression du M1 (type de ciment CPJ non protection dans milieu sain).

Observation :

On remarque que la résistance à la compression du M1 après 90 jours était de 21,35 MPa, ce qui est considéré comme le meilleur par rapport à la résistance à la compression à 28 et 56 jours.

L'évolution de la contrainte dans le temps est normale.

IV-1.1.2 Résistance à la traction :

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la traction, sont présentés dans la figure (III-31) ci-dessous

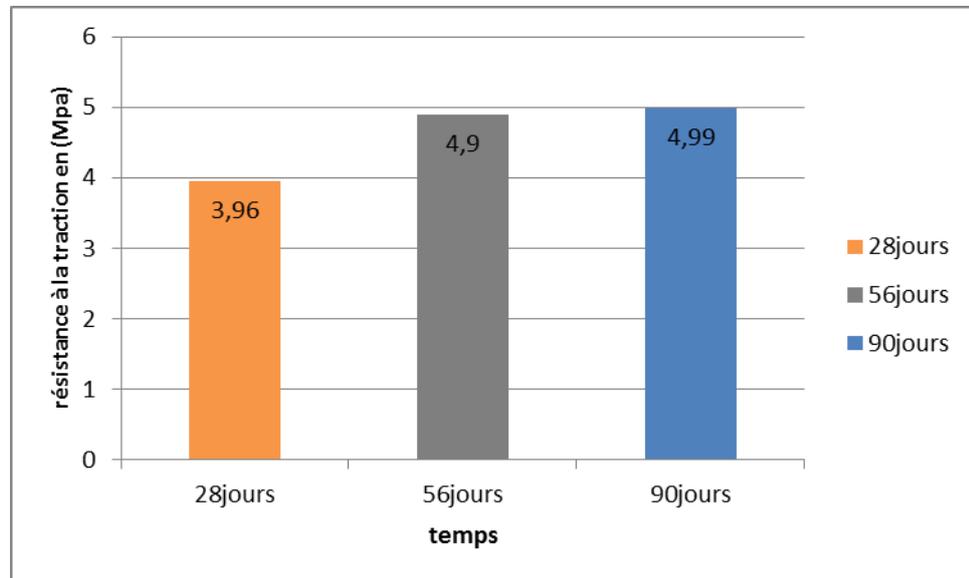


Figure III-31 : montre les résultats du test de résistance à la traction du M1 (type de ciment CPJ non protection dans milieu sain)

Observation :

On remarque que la résistance à la traction du M1 après 90 jours était de 4.99 MPa, avec une évolution normale de la résistance dans le temps.

IV-1.1.2 Résistance à la traction :

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la traction, sont présentés dans la figure (III-32) ci-dessous

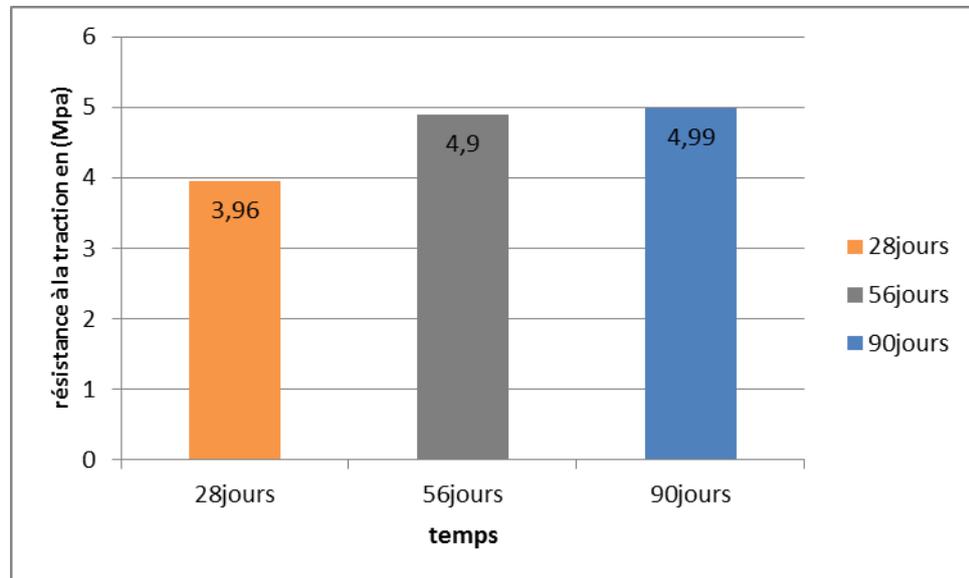


Figure III-32 : montre les résultats du test de résistance à la traction du M1 (type de ciment CPJ non protection dans milieu sain)

Observation :

On remarque que la résistance à la traction du M1 après 90 jours était de 4.99 MPa, avec une évolution normale de la résistance dans le temps.

IV-1.1.3 Densités :

Les résultats obtenus lors de l'exécution du processus de calcul de densité, sont présentés dans la figure (III-33) ci-dessous

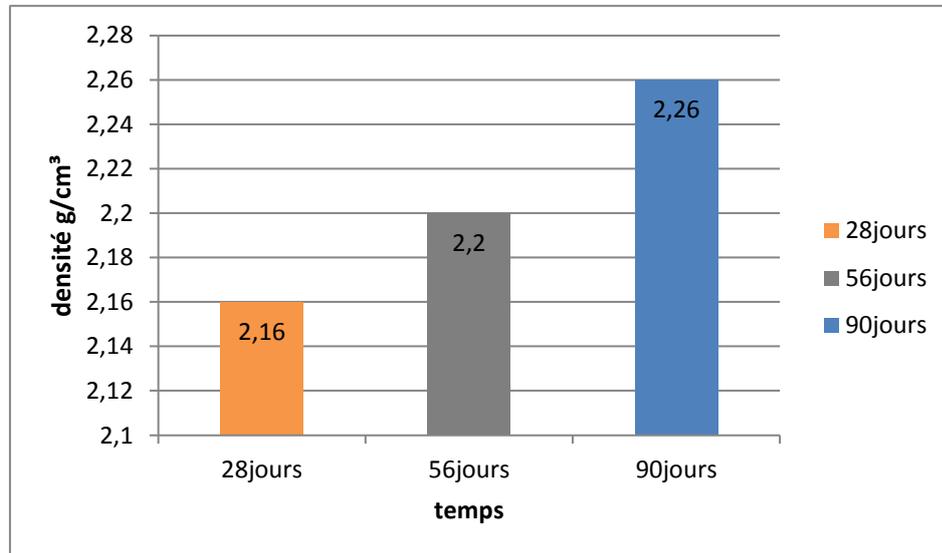


Figure III-33 : les résultats de la densité du M1 (type de ciment CPJ non protection dans milieu sain).

Observation :

On remarque que la densité du mortier classe M1 à 90 jours était entre 2.26 g/cm³ et 2.16 g/cm³, ce qui caractérise un mortier normal.

IV-1.2 Mortier a bas ciment (CPJ) emballé dans un film en plastique conservée dans le milieu agressif (M2) :

Iv- 1.2.1 Résistance à la compression :

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la compression, puis affichés dans la figure (III-34) ci-dessous :

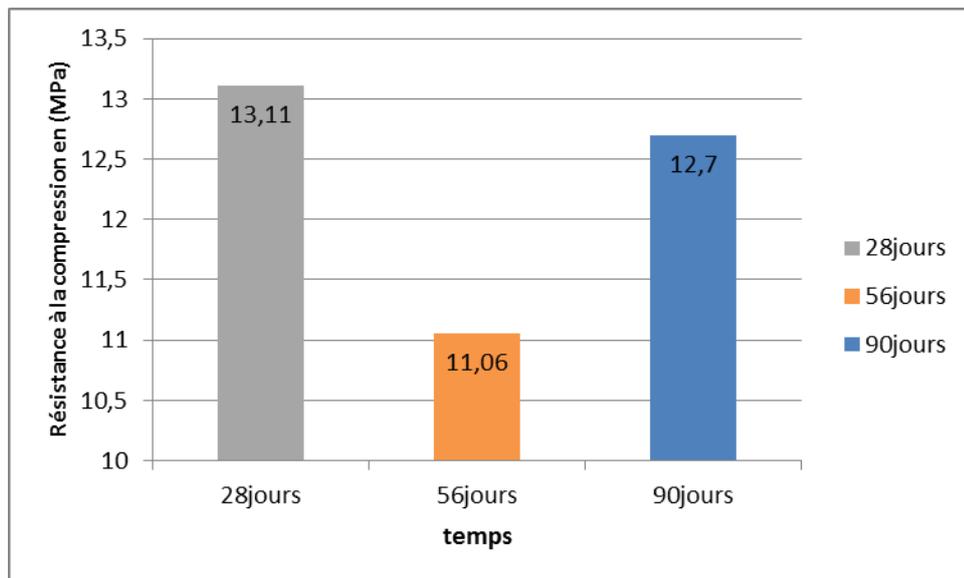


Figure III-34: les résultats du test de résistance à la compression du M2 (type de ciment CPJ emballé dans un film en plastique conservée dans le milieu agressif).

Observation :

On remarque que l'effet de l'agressivité est très claire se dans les premier 28 jours puis, on constate que l'effet de l'agressivité même après 28 jours, donc cette méthode de protection n'est pas efficace à 100 %.

IV-1.2.2 Résistance à la traction :

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la traction, puis affichés dans la figure (III-35) ci- dessous

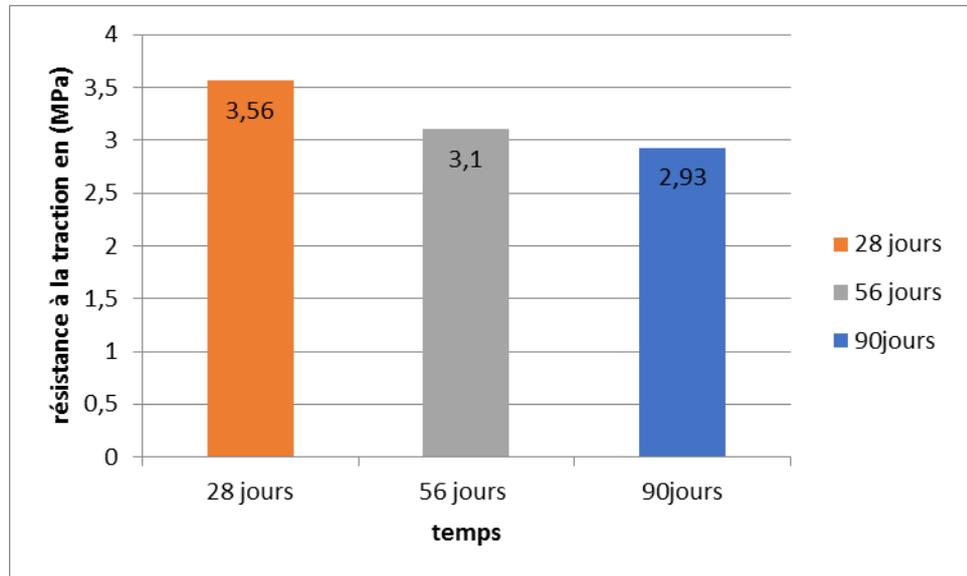


Figure III-35 : les résultats du test de résistance à la traction M2 (type de ciment CPJ emballé dans un film en plastique conservée dans le milieu agressif).

Observation :

On remarque l'effet de l'agressivité sur la résistance à la traction malgré la protection par cette méthode (film de plastique).

IV-1.2.3 Densités :

Les résultats obtenus lors de l'exécution du processus de calcul de densité, puis affichés dans la figure (III-36) ci-dessous

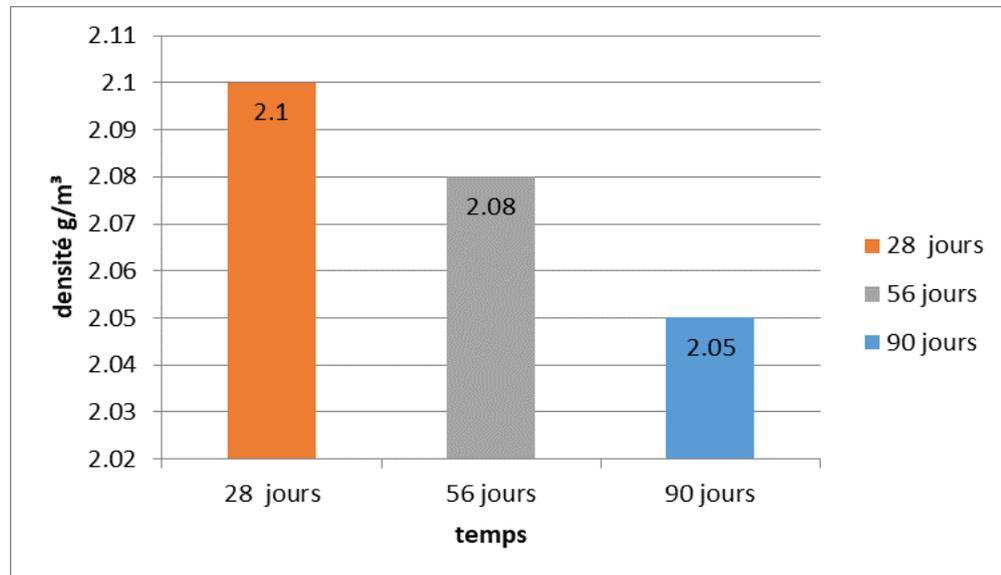


Figure III-36 : les résultats de la densité du M2 (type de ciment CPJ emballé dans un film en plastique conservée dans le milieu agressif).

. Observation :

On remarque que la densité du mortier protégé par film de plastique est influencée par l'effet d'agressivité, ce qui montre que ce type de protection n'est pas assez efficace.

IV-1.3 Mortier à base de ciment (CPJ) badigeonnées de bitume, conservée dans le milieu agressif (M3) :

IV-1.3.1 Résistance à la compression

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la compression, puis affichés dans la figure (III-37) ci-dessous :

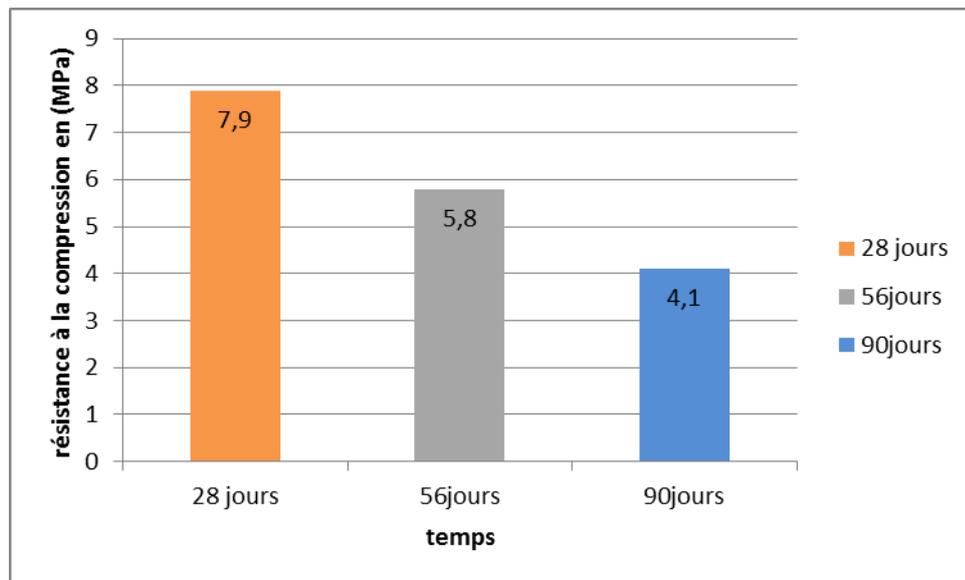


Figure III-37: les résultats du test de résistance à la compression du M3 (type de ciment CPJ badigeonnées de bitume, conservée dans le milieu agressif).

Observation :

On remarque que l'effet de l'agressivité est très claire, et qu'il s'évolue dans le temps , donc ce mode de protection n'est pas assez efficace.

IV-1.3.2 Résistance à la traction

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la traction, puis affichés dans la figure (III-38) ci-dessous :

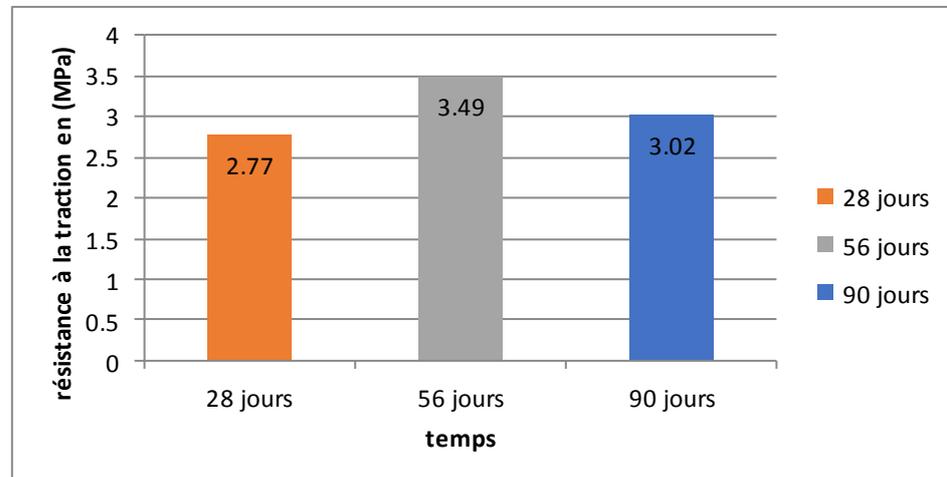


Figure III-38: les résultats du test de résistance à la traction du M3 (type de ciment CPJ badigeonnées de bitume, conservée dans le milieu agressif).

Observation :

On remarque que la résistance à la traction est moins affectée par l'effet agressif, et cela est dû au mode de protection utilisé.

IV-1.3. 3 Densités

Les résultats obtenus lors de l'exécution du processus de calcul de densité, puis affichés dans la figure (III-39) ci-dessous

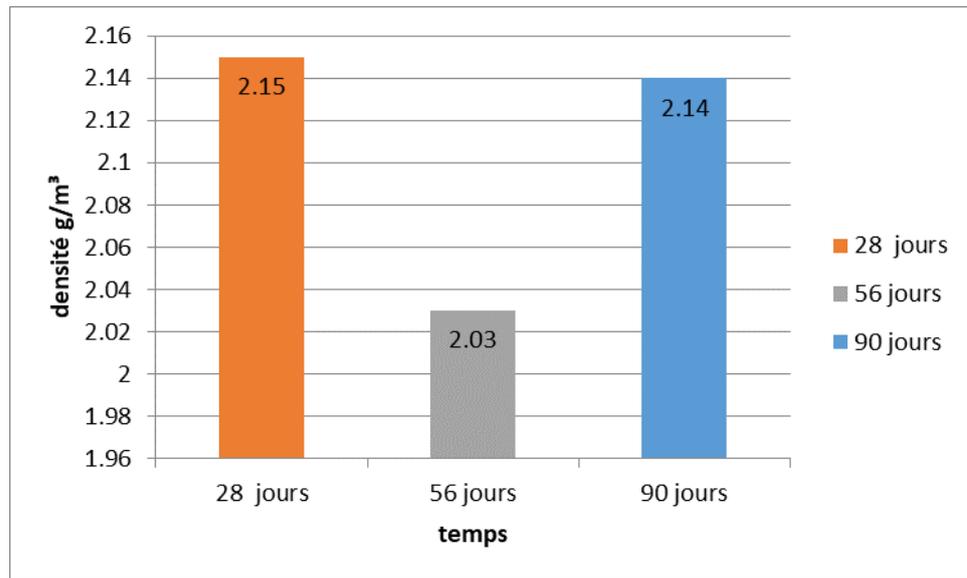


Figure III-39 : les résultats de la densité du M3 (type de ciment CPJ badigeonnées de bitume, conservée dans le milieu agressif).

Observation :

On remarque que l'effet de l'agressivité sur la densité avec ce mode de protection est moins contraignant par rapport aux autres modes de protection.

IV-1.4 Mortier à base de ciment (CPJ) isolé par une couche sable propre le tout conservé dans le milieu agressif (M4):

IV-1.4.1 Résistance à la compression:

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la compression, puis affichés dans la figure (III-40) ci-dessous :

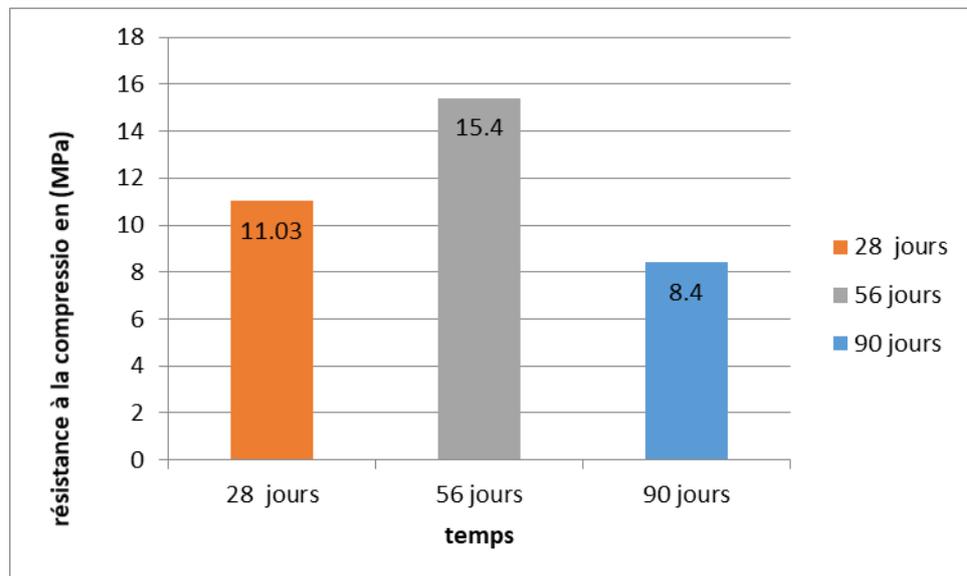


Figure III-40 : les résultats du test de résistance à la compression du M4 (type de ciment CPJ isolé par une couche sable propre le tout conservé dans le milieu agressif).

Observation :

On remarque l'effet important de l'agressivité sur le mortier malgré ce mode de protection, donc cette méthode n'est pas trop efficace.

IV-1.4.2 Résistance à la traction

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la traction, puis Affichés dans la figure (III-41) ci-dessous

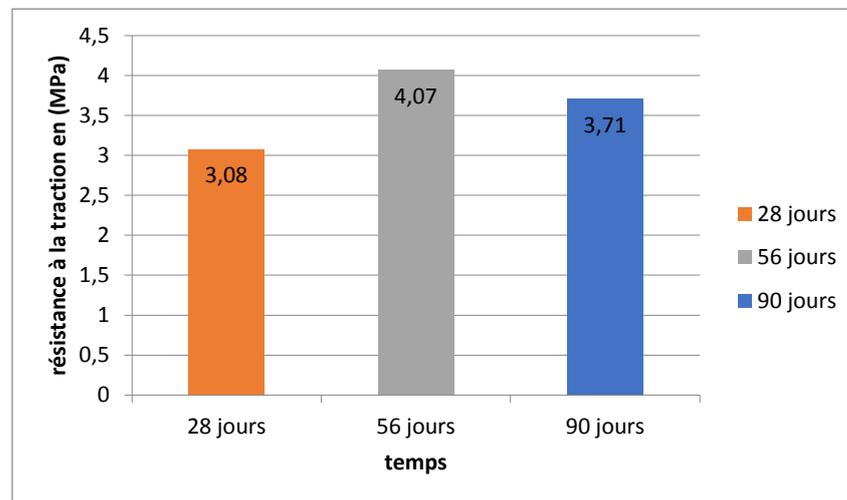


Figure III-41 : les résultats du test de résistance à la traction du M4 (type de ciment CPJ isolé par une couche sable propre le tout conservé dans le milieu agressif).

Observation :

On remarque que la résistance à la tractions est moins infectée par l'effet d'agressivité dans ce mode de protection..

IV-1.4.3 Densités :

Les résultats obtenus lors de l'exécution du processus de calcul de densité, puis affichés dans la figure (III-42) ci-dessous

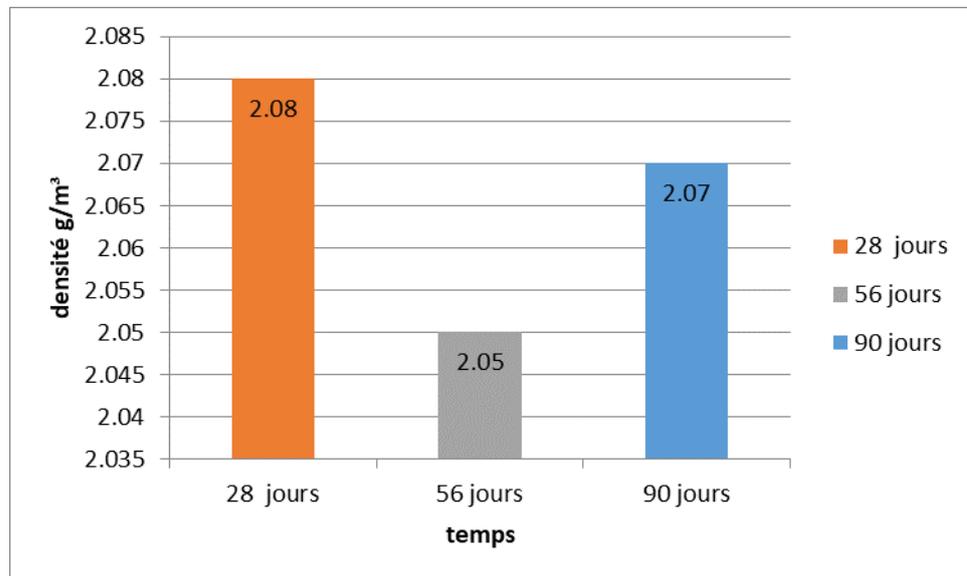


Figure III-42 : les résultats de la densité du M4 (type de ciment CPJ isolé par une couche sable propre le tout conservé dans le milieu agressif).

•

Observation :

On remarque que la densité du mortier est affectée par l'effet de l'agressivité malgré la protection, ce qui montre que ce mode de protection est moins efficace vis-à-vis de la densité.

IV-1.5 Mortier a base de ciment (CPJ) conservée direct au milieu agressif (M5) :**IV1.5.1 Résistance à la compression :**

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la compression, puis affichés dans la figure (III-43) ci-dessous :

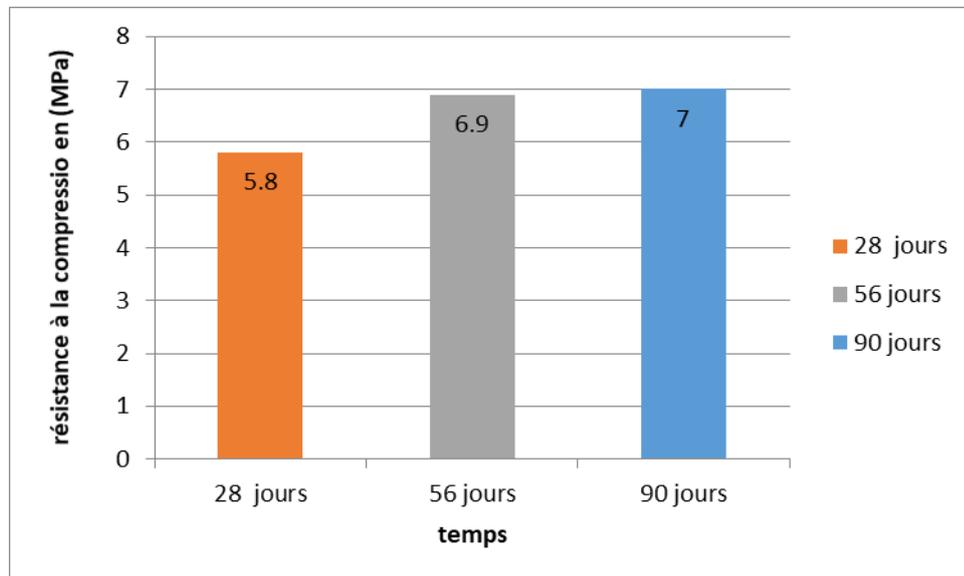


Figure III-43 : les résultats du test de résistance à la compression du M5 (Type de ciment CPJ conservée direct au milieu agressif).

Observation :

On remarque que la chute très considérable de la résistance à la compression (de 5.8 à 7 MPa) montrant ainsi l'effet de l'agressivité sur le mortier non protégé .

IV-1.5.2 Résistance à la traction :

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la traction, puis

Affichés dans la figure (III-44) ci-dessous :

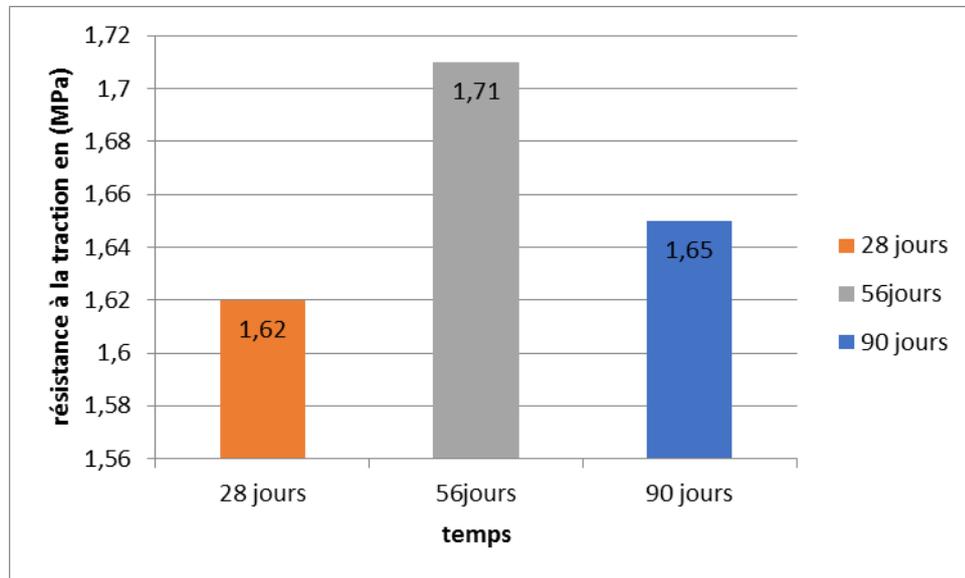


Figure III-44 : les résultats du test de résistance à la traction du M5 (type de ciment CPJ conservée direct au milieu agressif).

Observation :

La même remarque pour la résistance à la traction, qui a enregistré une forte chute, ce qui témoigne de l'effet de l'agressivité sur ces caractéristiques dans le cas d'un mortier ordinaire.

IV-1.5.3 Densités :

Les résultats obtenus lors de l'exécution du processus de calcul de densité, puis affichés dans la figure (III-45) ci-dessous

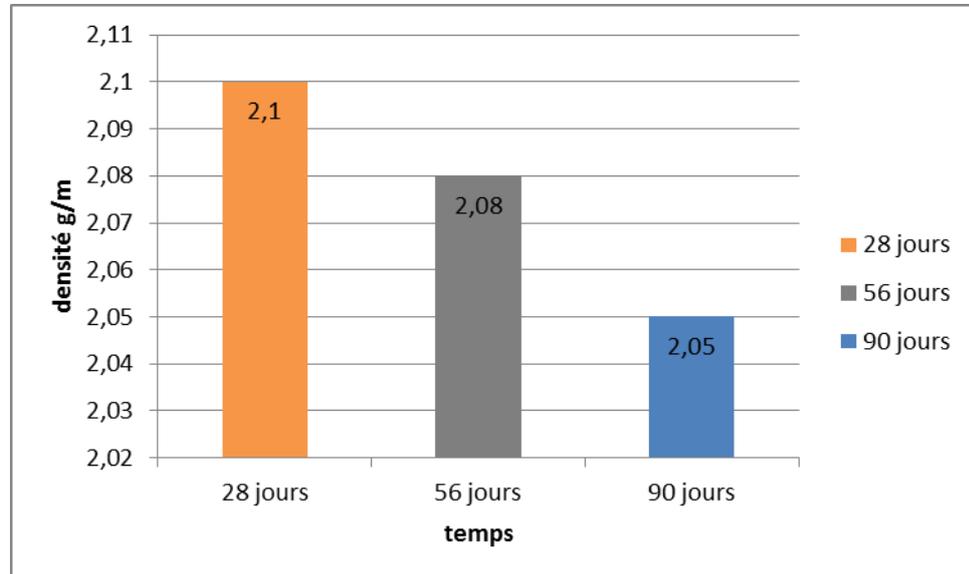


Figure III-45 : les résultats de la densité du M5 (type de ciment CPJ conservée direct au milieu agressif).

Observation :

On remarque que l'effet d'agressivité est très net, et qu'il évolue dans le temps, et ceci est le résultat de placer l'échantillon directement dans le milieu et sans protection.

IV-1.6. Mortier a base de ciment (CRS) conservée dans le milieu sain (témoin) (M6):

IV-1.6.1 résistance à la compression :

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la compression, puis Affichés dans la figure (III-46) ci-dessous :

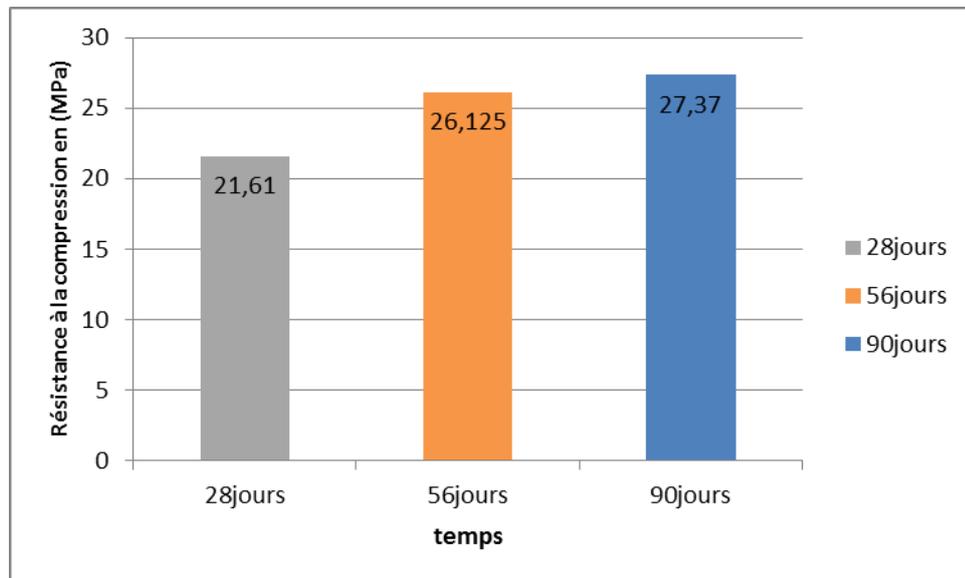


Figure III-46 : les résultats du test de résistance à la compression du M6 (Type de ciment CRS conservée dans le milieu sain (témoin)).

Observation :

On remarque que les résistances obtenues sont élevées et qu'il continu à évoluer dans le temps, ceci représente un bon témoin pour comparer les résultats des différents modes de protection

.IV-1.6.2 Résistance à la traction:

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la traction, puis affichés dans la figure (III-47) ci-dessous :

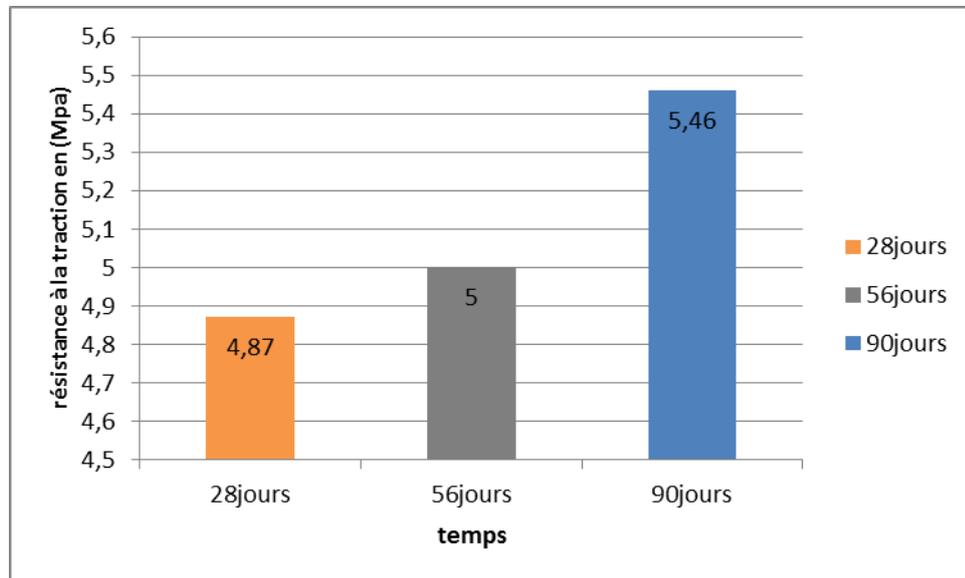


Figure III-47 : les résultats du test de résistance à la traction du M6. (type de ciment CRS conservée dans le milieu sain (témoin))

Observation :

La même remarque pour la résistance à la traction, on remarque que le mortier à base de ciment CRS non soumis à l'agressivité présente de bonne résistance à la traction..

IV-1.6.3 densités :

Les résultats obtenus lors de l'exécution du processus de calcul de densité, puis affichés dans la figure (III-48) ci-dessous

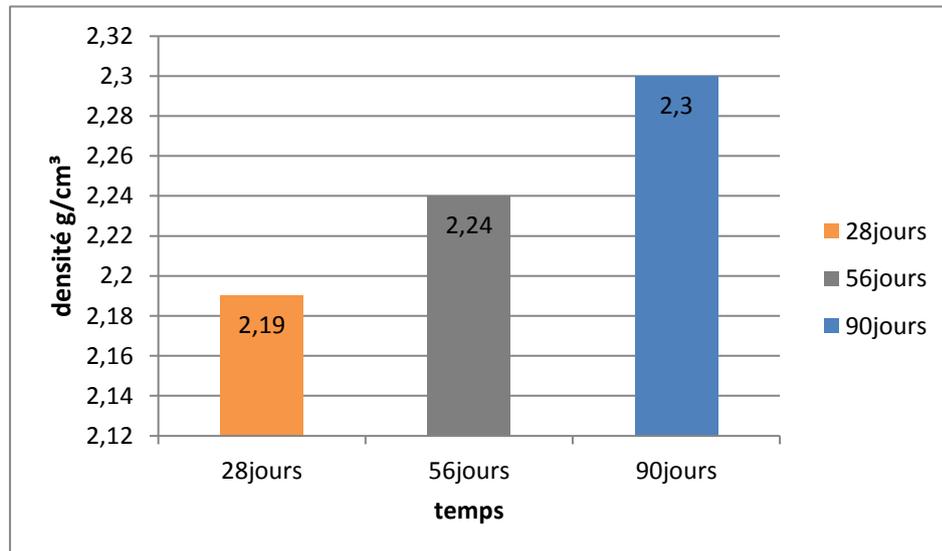


Figure III-48: les résultats de la densité du M6 (type de ciment CRS conservée dans le milieu sain (témoin))

Observation :

On remarque que les densités du mortier témoin(CRS) sont dans la fourchette normale..

IV-1.7 Mortier a base de ciment (CRS) conservé direct au milieu agressif (M7):**IV-1.7.1 résistance à la compression :**

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la compression, puis affichés dans la figure (III-49) ci-dessous :

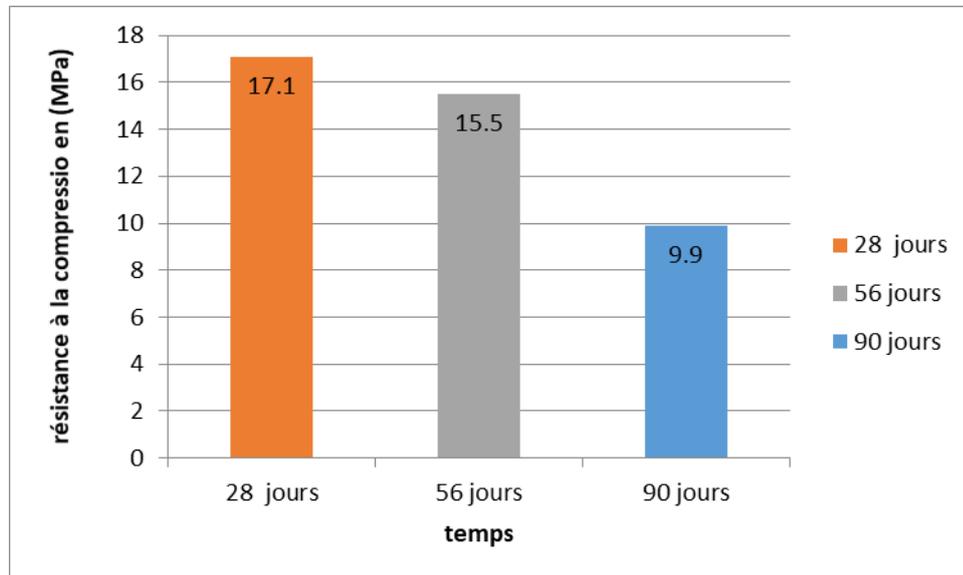


Figure III-49 : les résultats du test de résistance à la compression M7 (type de ciment CRS conservé direct au milieu agressif).

Observation :

On remarque qu'il existe un effet de l'agressivité dans cette méthode de protection et que la résistance à la compression continue à se dégrader dans le temps..

IV-1.7.2 Résistance à la traction :

Les résultats obtenus lors de l'exécution de l'expérience de résistance à la traction, puis

Affichés dans la figure (III-50) ci-dessous :

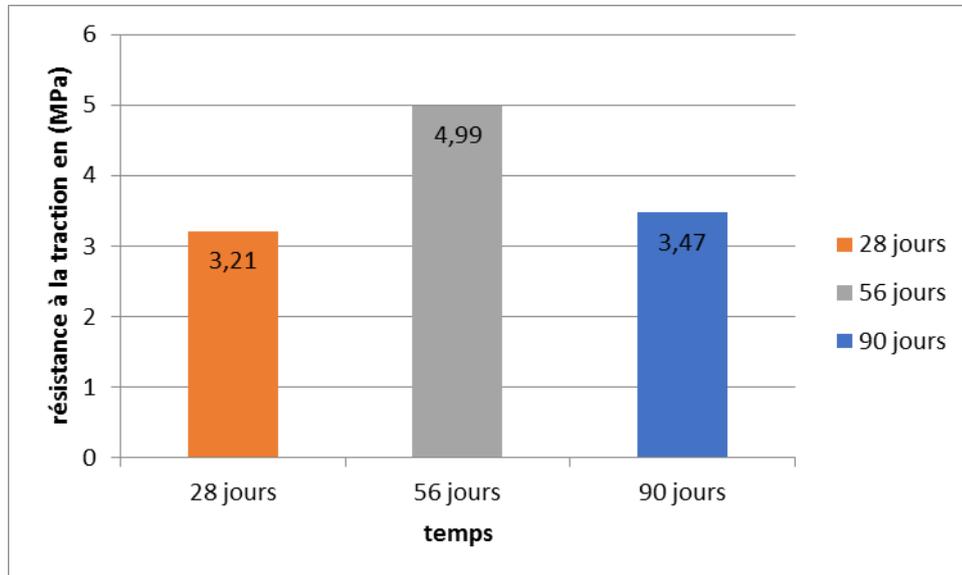


Figure III-50 : les résultats du test de résistance à la traction du M7 (type de ciment CRS conservé direct au milieu agressif).

Observation :

On remarque que la résistance à la traction est affectée par l'effet de l'agressivité malgré l'utilisation de ce mode de protection (ciment résistant aux sulfates).

IV-1.7.3 Densités :

Les résultats obtenus lors de l'exécution du processus de calcul de densité, puis affichés dans la figure (III-51) ci-dessous

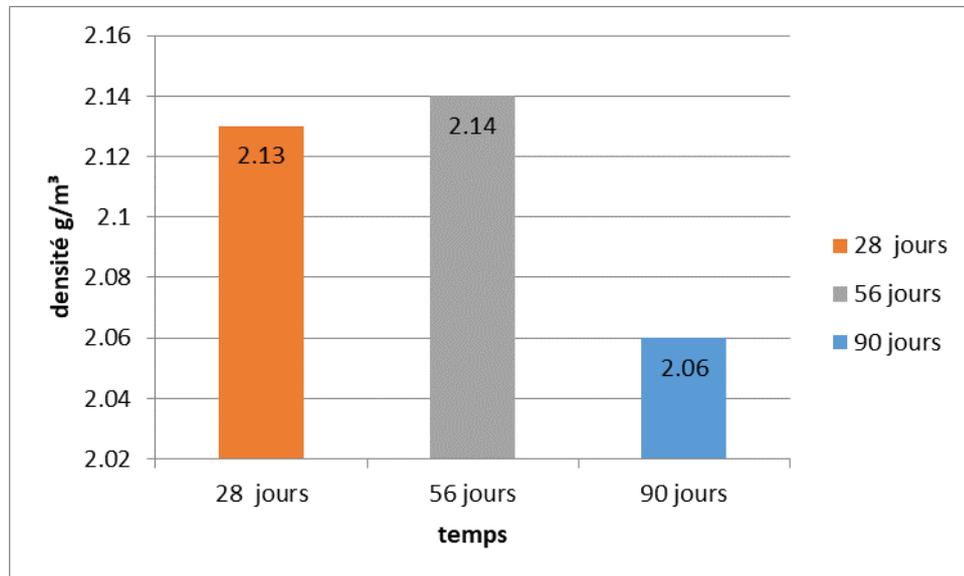


Figure III-51 : les résultats de la densité du M7 (type de ciment CRS conservé direct au milieu agressif).

Observation :

On remarque que l'effet de l'agressivité sur la densité du mortier notamment à long terme malgré l'utilisation du ciment résistant aux sulfates.

IV-1.8 Etude comparative de tous les échantillons étudiés :

IV-1.8.1 Résistance à la compression :

Les résultats obtenus lors de la réalisation de l'expérience de résistance à la compression
Pour tous les échantillons de mortier étudiés :

-Pour 28 jours :

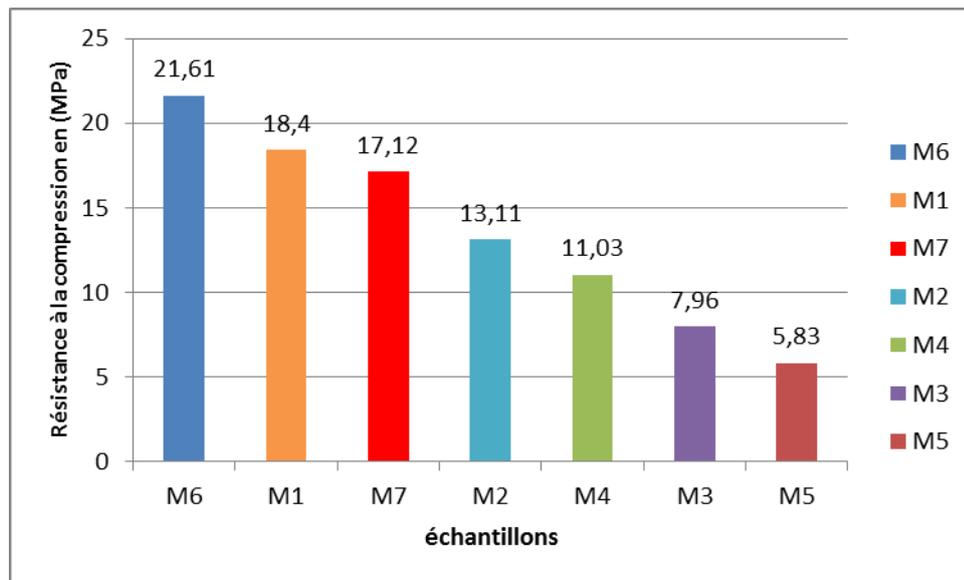


Figure III-52: Résultats de résistance à la compression des échantillons étudiés.

Observation :

A l'âge de 28 jours, on remarque :

- La meilleure résistance à la compression est obtenue dans le cas du ciment CRS et sans contact avec le milieu agressif ;
- La résistance du mortier à base de CPJ sans contact avec le milieu agressif ne caractérise pas un mortier bonne qualité (peut être du à la qualité de sable utilisé) ;
- La meilleure protection contre l'agressivité est celle relative à l'utilisation d'un Ciment CRS ;
- La plus faible méthode de protection est celle relative à l'utilisation de bitume ;
- La plus faible valeur de résistance est obtenue dans le cas de mortier non protégé.

-Pour 56 jours :

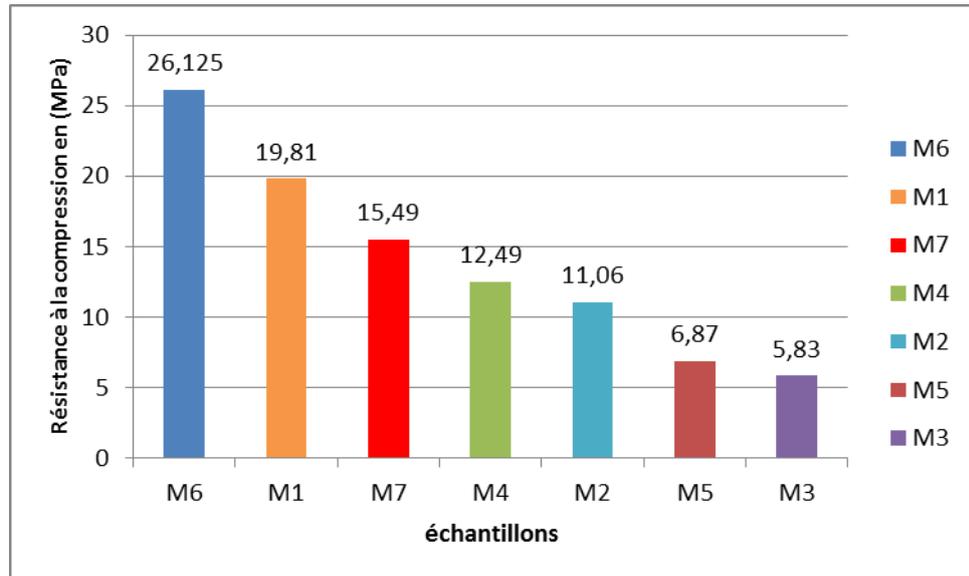


Figure III-53: Résultats de résistance à la compression pour les échantillons étudiés en 56 jours

Observation :

A l'âge de 56 jours, on remarque :

- La meilleure résistance à la compression est obtenue dans le cas du ciment CRS et sans contact avec le milieu agressif ;
- La résistance du mortier à base de CPJ sans contact avec le milieu agressif reste toujours au-dessous de la valeur normale (peut être du à la qualité de sable utilisé) ;
- La meilleure protection contre l'agressivité est celle relative à l'utilisation d'un Ciment CRS (RC = 19.81 Mpa) régression d'environ 24 % par rapport au mortier témoin(à base de CRS) mai la résistance reste toujours supérieur à celle de mortier à base de CPJ sans contact avec le milieu agressif ;
- La plus faible méthode de protection est celle relative à l'utilisation de bitume ;
- La plus faible valeur de résistance est obtenue dans le cas de mortier non protégé.

-Pour 90 jours :

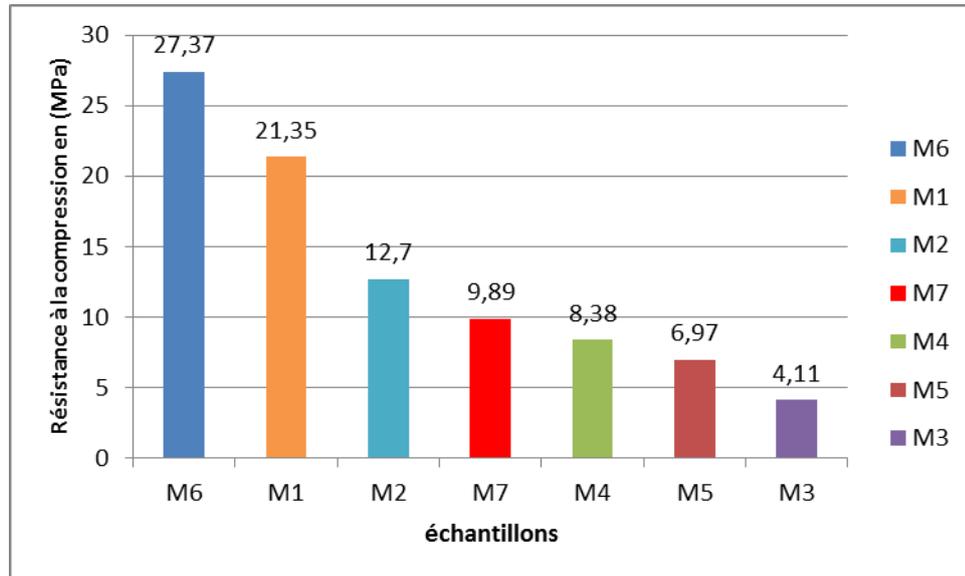


Figure III-54 : Résultats de résistance à la compression pour les échantillons étudiés en 90 jours.

Observation :

A l'âge de 90 jours, on remarque :

- La meilleure résistance à la compression est obtenue dans le cas du ciment CRS et sans contact avec le milieu agressif soit 27.4 Mpa ;
- La résistance du mortier à base de CPJ sans contact avec le milieu agressif est améliorée par rapport aux résistances à 28 et 56 jours , elle a dépassé les 21 Mpa, elle reste toujours au-dessous des valeurs normales ;
- La meilleure protection contre l'agressivité est celle relative à l'utilisation d'un film en plastique , mais elle présente une faible résistance témoignant d'une très forte agressivité ;
- La plus faible méthode de protection est celle relative à l'utilisation de bitume ;
- La plus faible valeur de résistance est obtenue dans le cas de mortier non protégé.

IV-1-8-2 Résistance à la traction :

Les résultats obtenus lors de la réalisation de l'expérience de résistance à la traction pour tous les échantillons de mortier étudiés.

-Pour 28 jours :

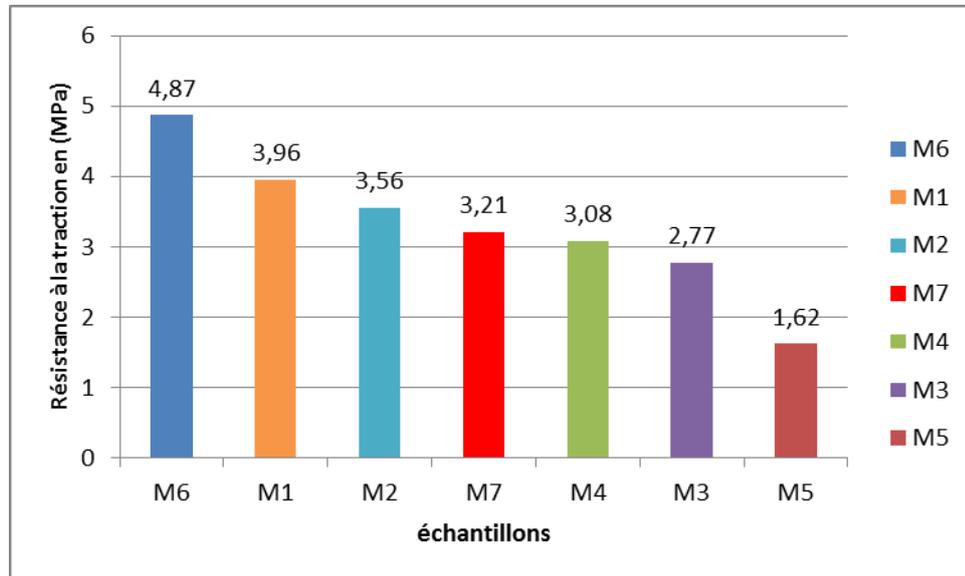


Figure III-55 : Résultats de résistance à la traction pour les échantillons étudiés en 28 jours.

Observation :

A l'âge de 28 jours, on remarque :

- La meilleure résistance à la traction est obtenue dans le cas du ciment CRS et sans contact avec le milieu agressif 4.87 Mpa ;
- La résistance à la traction du mortier à base de CPJ sans contact avec le milieu agressif reste acceptable elle est de l'ordre de 3.96 Mpa ;
- La meilleure protection contre l'agressivité est celle relative à l'utilisation du film de plastique ;
- La plus faible méthode de protection est celle relative à l'utilisation de bitume ;
- La plus faible valeur de résistance est obtenue dans le cas de mortier non protégé.

-Pour 56 jours:

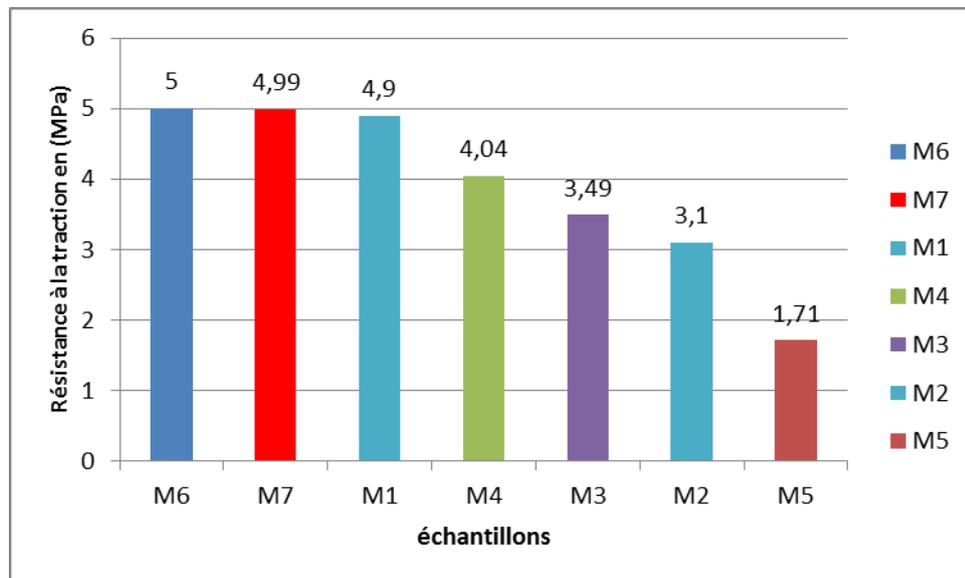


Figure III-56: Résultats de résistance à la traction pour les échantillons étudiés en 56 jours.

Observation :

A l'âge de 56 jours, on remarque :

- La meilleure résistance à la traction est obtenue dans le cas du ciment CRS et sans contact avec le milieu agressif elle est de l'ordre de 5 Mpa ;
- La résistance à la traction du mortier à base de CPJ sans contact avec le milieu agressif reste acceptable elle est de l'ordre de 4.9 Mpa ;
- La meilleure protection contre l'agressivité est celle relative à l'utilisation du ciment CRS ;
- La plus faible méthode de protection est celle relative à l'utilisation de film de plastique ;
- La plus faible valeur de résistance est obtenue dans le cas de mortier non protégé.

-Pour 90 jours :

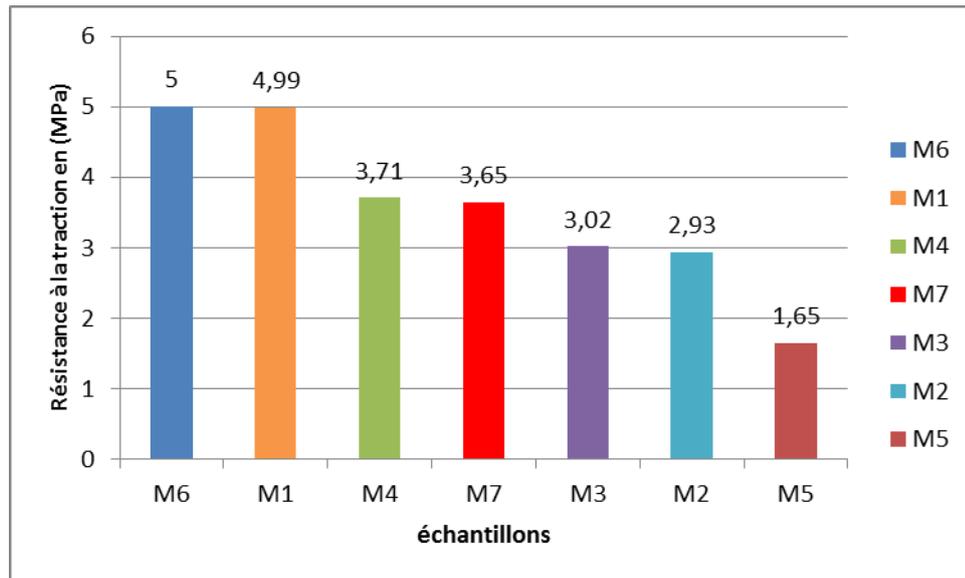


Figure III-57 : Résultats de résistance à la traction pour les échantillons étudiés en 90 jours.

Observation :

A l'âge de 90 jours, on remarque :

- La meilleure résistance à la traction est obtenue dans le cas du ciment CRS et sans contact avec le milieu agressif 5 Mpa ;
- La résistance à la traction du mortier à base de CPJ sans contact avec le milieu agressif reste acceptable elle est de l'ordre de 5 Mpa ;
- La meilleure protection contre l'agressivité est celle relative à l'utilisation du sable propre comme isolant ;
- La plus faible méthode de protection est celle relative à l'utilisation de filme de plastique ;
- La plus faible valeur de résistance est obtenue dans le cas de mortier non protégé.

IV-1.8.3 Densité :

Les résultats obtenus lors de l'exécution en fonction de la densité de tous les échantillons de mortier étudiés.

-Pour 28 jours :

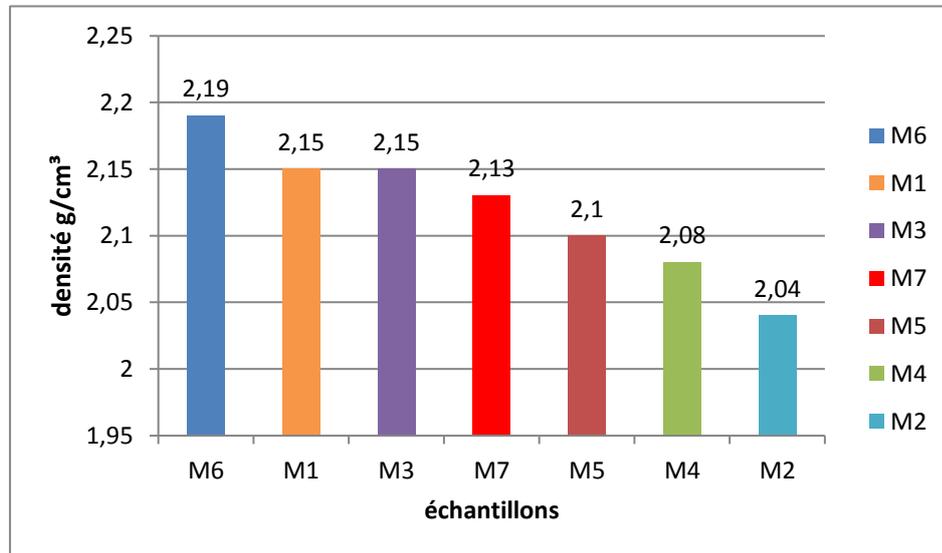


Figure III-58: Les résultats de la densité des échantillons étudiés en de 28 jours.

Observation :

On remarque que la meilleure valeur de densité est obtenus dans le cas d'un mortier à base de CRS et sans contact avec le milieu agressif .

Les valeurs de densité varient de 2.19 à 2.04 g/cm³.

-Pour 56 jours :

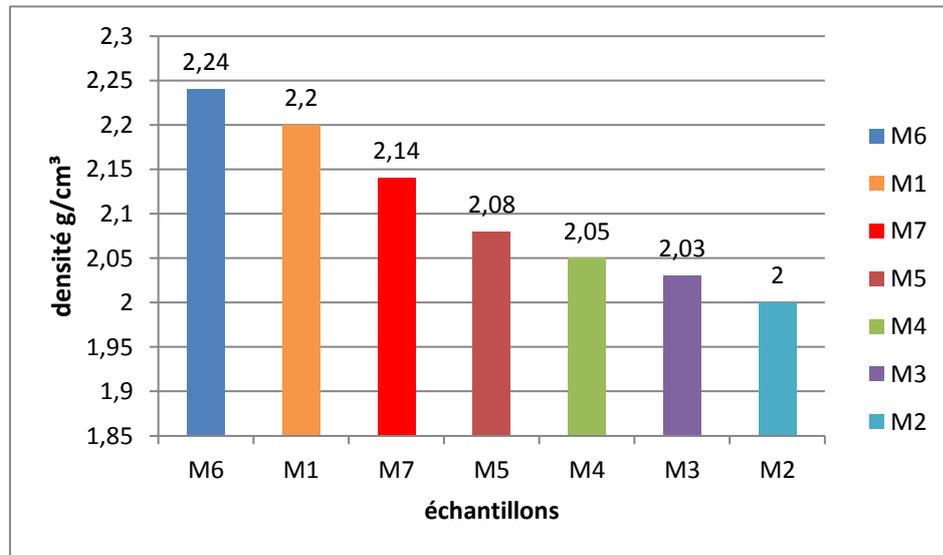


Figure III-59 : Les résultats de la densité des échantillons étudiés pour de 56 jours.

Observation :

On remarque que la meilleure valeur de densité est obtenue dans le cas d'un mortier à base de CRS et sans contact avec le milieu agressif (2.24 g/cm^3).

Les valeurs de densité varient de 2.24 à 2.00 g/cm^3 .

-Pour 90 jours :

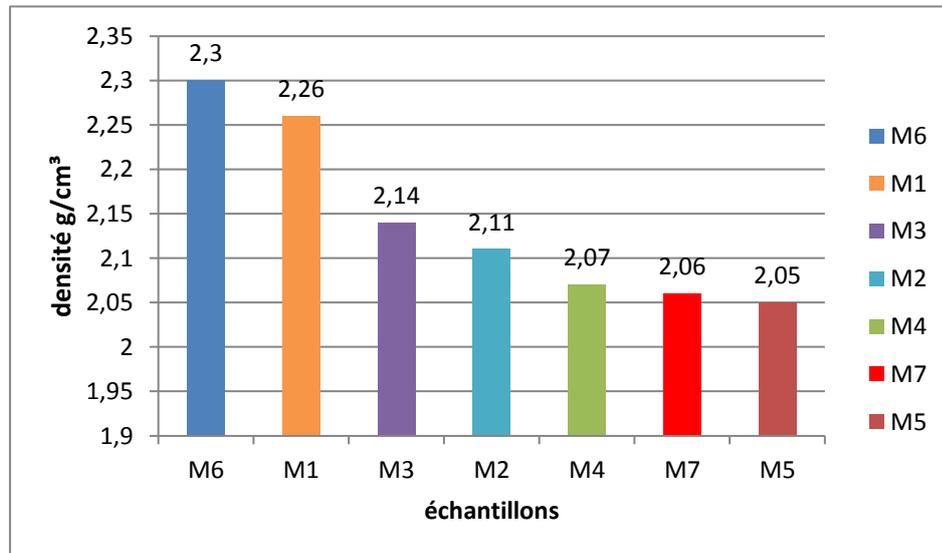
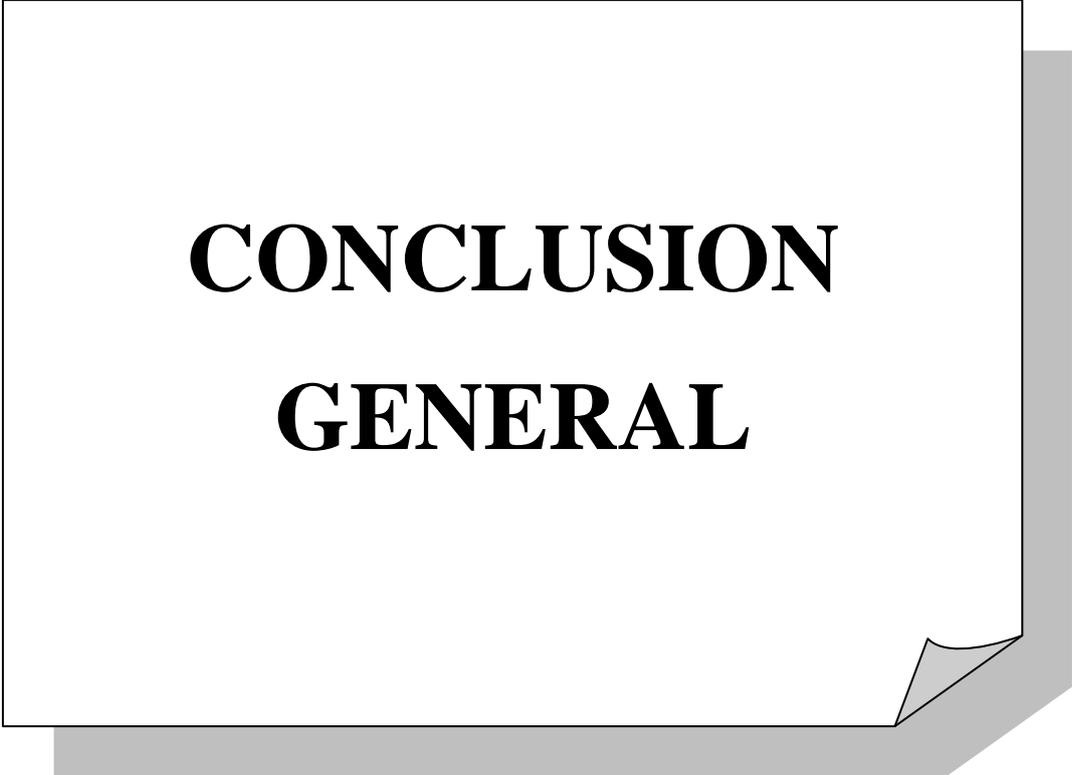


Figure III-60 : Les résultats de la densité des échantillons étudiés pour de 90jours.

Observation :

On remarque que la meilleure valeur de densité est obtenus dans le cas d'un mortier à base de CRS et sans contact avec le milieu agressif , elle de l'ordre de 2.30 g/cm^3 ..

Les valeurs de densité varient de 2.3 à 2.05 g/cm^3 .



CONCLUSION
GENERAL

CONCLUSION GENERAL

L'objectif principal de ce travail est de contribuer à l'étude de l'efficacité des méthodes de protection du béton vis-à-vis des sols agressifs.

Nous avons étudié quatre méthodes de protection ;

- L'utilisation d'un ciment résistant aux sulfates CRS ;
- La protection du béton par un film de plastique ;
- La protection du béton par un liant hydrocarboné ;
- La protection du béton par un sable propre non agressif

L'étude comparative faite sur des éprouvettes de mortier à base de ciment ordinaire et à base de ciment CRS (le cas de protection par utilisation de ciment CRS) a bien montré l'effet de l'agressivité du sol sur le mortier.

L'étude comparative a montré que la meilleure méthode de protection contre l'agressivité du sol dans la plus part des cas, est l'utilisation du ciment résistant au sulfates CRS.

L'utilisation de film plastique(M2) comme protection peut donner un effet positif sil il est bien réalisé.

Le choix d'un milieu très agressif n'a pas permet de bien comparer les effets de protection ;

Les méthodes de protection étudiées peuvent être plus efficace dans des milieu de faible agressivité ;

Recommandations

-La protection du béton nécessite davantage de recherches et d'études approfondies.

-Trouver de nouvelles méthodes de protection pour protéger le béton des sols très agressifs.

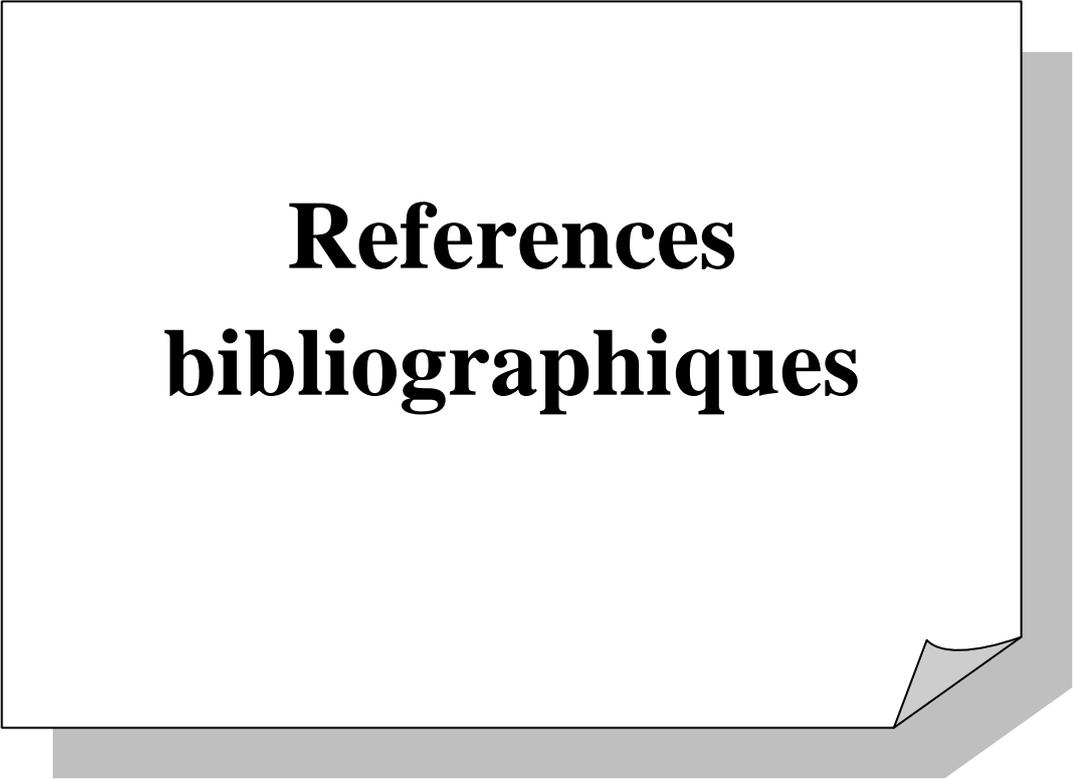
- Une étude de l'effet de l'agressivité du sol sur différents types de ciment.

- Travailler sur la recherche de solutions pour réduire le problème d'agressivité des sols sur le béton

CONCLUSION GENERAL

À la fin de cette étude , nous espérons avoir contribué à une explication des moyens de protéger le béton contre les sols agressifs, d'autant plus que le problème des sols agressifs est présent en abondance dans notre pays.

En fin , nous espérons avoir abouti à présenter une approche bénéfique sur ce phénomène très intéressant dans le domaine de génie civil et qui reste toujours un soucis pour les ingénieurs de bâtiments, nous espérons aussi que la recherche continu dans ce créneau pour donner au constructeurs les solution les plus efficaces et moins couteuses pour la protection des ouvrages contre les attaques chimiques.



References
bibliographiques

Bibliographiques Références

References bibliographiques:

- [1] : J, Baron et et al, 1992.
- [2] : Neville, 2004.
- [3] : Müllauer et al, 2013.
- [4] : Planel et al. 2013.
- [5] : les Echos
- [6] : future Science 5 sep 2021.
- [7] : https://cours.polymtl.ca/PBedard/glq1100/Sables/identification_sable.html#.
- [8] : [[https://fr.wikipedia.org/wiki/Gravier_\(granulat\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Gravier_(granulat))]
- [9] : [<https://fr.wikipedia.org/wiki/Ciment>].
- [10]:[<http://www.guidebeton.com/eau/gachage#:~:text=L'eau%20de%20g%C3%A2chage%20est,facilite%20l'application%20du%20b%C3%A9ton>].
- [11]:[<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/techniques-du-batiment-connaître-les-matériaux-de-la-construction43804210/les-adjuvants-des-betons-tba1036/generalites-tba1036v3niv10001.html#:~:texte=L'adjuvant%20est%20un%20produit,ou%20%C3%A0%20l'%C3%A9tat%20durci>].
- [12] : [brahimi k Zaidi f rapport de stage : essai au labo année universitaire2020/2021 Ghardaïa].
- [13] : Revue EIN :18 févr. 2015.
- [14] : [planète-TP : www.planete-TP.com/propriété-des-béton-frais].
- [15] :[FEBELCEM.BE :www.febelcem.be/pdf/legends]
- [16]: [Ifsttar: www.Ifsttar.fr/blpc_220_21-23 PDF]
- [17] : [ImmoPass : www.immoPass.eu/plog/2022-problèmes].
- [18] : [<https://www.lafarge.fr/fabrication-du-beton>]
- [19] : <https://www.lafarge.fr/fabrication-du-beton>
- [20] : <https://www.lafarge.fr/fabrication-du-beton>

Bibliographiques Références

- [21]:[https://www.memoireonline.com/10/12/6325/m_Mecanismes-d-alterations-des-materiaux-cimentaires-soumis-aux-milieux-fortement/agressifs18.html#:~:texte=Les%20principaux%20processus%20chimiques%20%C3%A0,hydrates%20et%20le%20milieu%20agressif.]
- [22]:[<https://www.ctcdz.org/pdf/MISE%20EN%20OEUVRE%20DU%20BETON.pdf>]
- [23] : [expert-maison.fr : www.expert-maison.fr].
- [24] :Mohammed Salim KAOUADJI DEGRADATIONS AU NIVEAU DE L'USINE ALZINC CONSTATS ET RECOMMANDATIONS Université de Tlemcen 2013
- [25]:<https://theconstructor.org/concrete/chemical-attacks-types-concrete-structures/7237/>
- [26] : Technology of Concrete
- [27] : Ferhati Taieb Durabilité d'un béton exposé à un milieu Agressive (acide sulfurique) influence du rapport G/S mémoire Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2016
- [28] : Date livraison : mercredi 28 octobre 2015 13:16:30 Client : laboratoire des travaux publics du sud ltps
- [29] : chaabkameleElaboration d'un béton résistant aux attaques des chlorures et sulfates par la méthodologie de plan d'expérience MEMOIRE université Mohamed Boudiaf - M'sila 2022
- [30] : Pathologies, diagnostic à l'aide de CND et techniques de réparation et protection des ouvrages en béton armé : état de l'art.
- [31] : <https://theconstructor.org/concrete/sulphate-attack-on-concrete-prevention/2162/>
- [32]:<https://theconstructor.org/concrete/sulphate-attack-on-concrete-prevention/2162/>
- [33] : Soumaya Amina BENSALFIR Mécanismes d'altérations des matériaux cimentaires soumis aux agressifs. /mémoire Université de Mascara 2010
- [34] : BARON, J. "La Durabilité Des Bétons", Presses De l'École nationale des Ponts et chaussées, 1992
- [35] : A. M. Neville " Propriétés des bétons" édition Eyrolles, Paris, pp. 463-506 - 2000

Bibliographiques Références

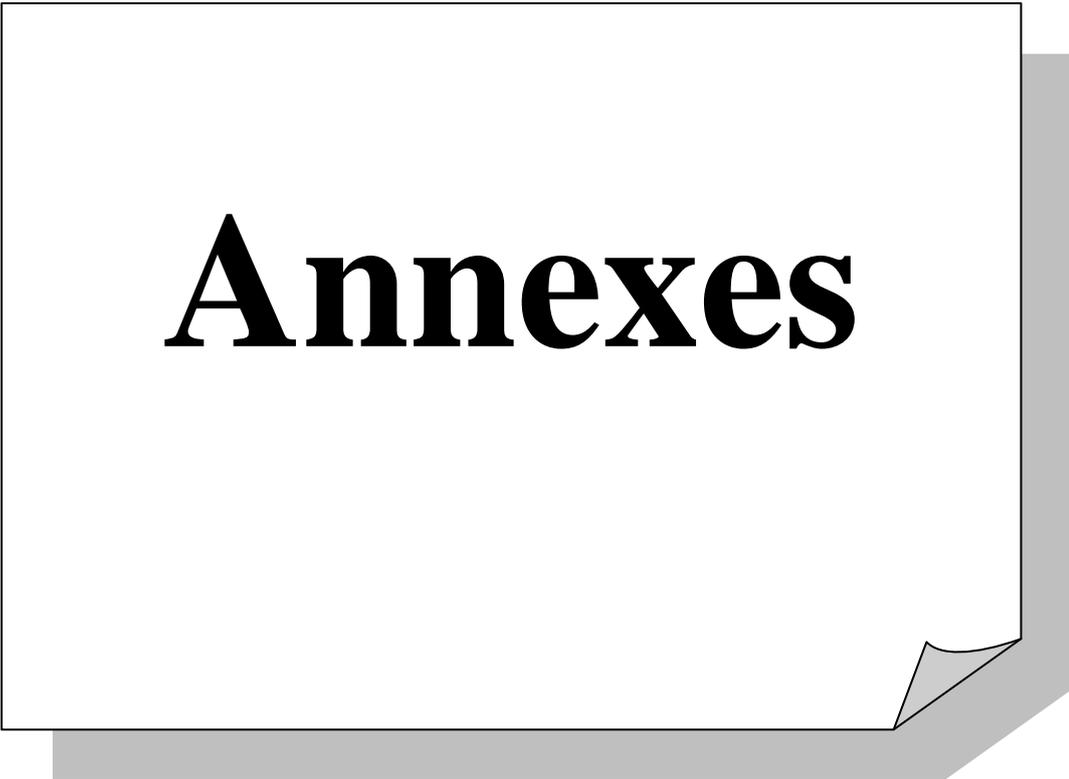
- [36] : Soumaya Amina BENSALFIR Mécanismes d'altérations des matériaux cimentaires soumis aux agressifs. Mémoire Université de Mascara 2010
- [37] : ACI PRC-201.2-16 Guide to Durable Concrete
- [38] :
ماني محمد المساهمة في تحسين خصائص الخرسانة رمل الكثبان بواسطة التصحيح الحبيبي والتعزيز بالألياف
جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2019
- [39]: <https://www.concrete-experts.com/rapidair457/deterioration-mechanisms/external-sulfate-attack/>
- [40] : MERABET Ikram- SAHRAUOI Chahine Étude de la durabilité du béton pouzzolanique fibré/Mémoire universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent 2020.
- [41] : J. P Olivier : livre de " Durabilité des bétons." (A. NONAT : chapitre 2 ; V. BAROGHEL-BOUNY, B. CAPRA, S. LAURENS : chapitre 9 ; A. CARLES-GIBERGUES, H. HORNAIN : chapitre 11 ; G. ESCADEILLAS, H. HORNAIN : chapitre 12). (Edition : Presse de l'école nationale des ponts et chaussées -2008).
- [42] : <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/acid-attack>
- [43] : Beena Anand, S N Sharma ,Murari Ratnam, DURABILITY OF CONCRETE, INDIA, 2017 PUBLICATION
- [44]: Berdaia Rachid-Guadabi Fatima el Zahra Etude de la résistance aux attaques chimiques sur le béton autoplaçants à base de divers types de sable mémoire Université Ziane Achour de Djelfa 2017
- [45]
: <https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/chemical/acidmech.html>
- [46]: Beena Anand, S N Sharma Murari Ratnam, DURABILITY OF CONCRETE, INDIA, 2017 PUBLICATION
- [47]: <https://apprentimaths.files.wordpress.com/2014/03/carbonatation-du-bc3a9ton.pdf>
- [48]: Soumaya Amina BENSALFIR Mécanismes d'altérations des matériaux cimentaires soumis aux agressifs/mémoire Université de Mascara 2010
- [49] : 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

Bibliographiques Références

- [50] : 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
- [51] : La lixiviation correspond à un "lessivage" des hydrates de la pâte de ciment au contact de milieux fluides, acides en comparaison du béton. Christophe Carde, directeur technique du LERM1 nous en explique les mécanismes.
- [52] : La lixiviation correspond à un "lessivage" des hydrates de la pâte de ciment au contact de milieux fluides, acides en comparaison du béton. Christophe Carde, directeur technique du LERM1 nous en explique les mécanismes.
- [53] : Haffaf ikram – lamouri Oum el kheir étude de la résistance des mortiers aux attaques acides mémoire master université abou bekr belkaid Tlemcen 2019.
- [54] : J. P Olivier : livre de " Durabilité des bétons." (A. NONAT : chapitre2 ; V. BAROGHEL-BOUNY, 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).
- [55] : Tamaoustaissam durabilité de béton a la poudre de verre : étude de la pénétrabilité des ions chlorures Ecole national polytechnique 2016.
- [56] : ChlorideAttacks on Concrete Structures.
- [57] : Nabila boualla étude de l'ajout de la pouzzolane sur les caractéristiques physico-chimiques des ciments université des sciences et de la technologie d'Oran – licence 2011
- [58] : [<https://fr.wikipedia.org/wiki/Tuf>]
- [59] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Bitume_fluidifi%C3%A9
- [60] : [<https://fr.wikipedia.org/wiki/Dune>]
- [61] : https://cours.polymtl.ca/PBedard/g1q1100/Sables/identification_sable.html
- [62] : <https://batis.dz/produit/9812/ciment-al-esses>
- [63]:[[https://www.gica.dz/cem-ii-42-5-sr-5-et-cem-ii-42-5-sr-3/#:~:text=Le%20Ciment%20CRS%20\(ciment%20r%C3%A9sistant,tant%20que%20r%C3%A9gulateur%20de%20prise.](https://www.gica.dz/cem-ii-42-5-sr-5-et-cem-ii-42-5-sr-3/#:~:text=Le%20Ciment%20CRS%20(ciment%20r%C3%A9sistant,tant%20que%20r%C3%A9gulateur%20de%20prise.)]
- [64] : [<https://www.ctc-dz.org/pdf/CONSTITUANTS%20DU%20BETON.pdf>]
- [65]:[<https://batis.dz/produit/9813/ciment-awtad>].

Bibliographiques Références

- [66]:[<https://www.e2me.fr/catalogue/confection-des-eprouvettes/moule-prismatique-en-inox-25.html>].



Annexes



AMOUDA CIMENT

AWTED

CIMENT PERFORMANCES ÉLEVÉES

BPE, BÉTON STRUCTUREL, PRÉFABRICATION
DALLAGE ET VOIRIE

PRÉSENTATION

AWTED est un ciment gris conforme à la norme algérienne NA 442 ainsi que la norme européenne EN 197-1.

AWTED convient parfaitement pour le coulage par temps chaud ainsi que le transport du béton prêt à l'emploi.

Désignation normalisée : NA 442-CEM II/A-L 42.5 N.

AWTED est un produit 100 % algérien fabriqué exclusivement dans l'usine Amouda Ciment à El Beydha.

APPLICATIONS/USAGES

AWTED est destiné à la réalisation de bétons de structure selon la (NA 16002 eq de la EN 206-1) en milieux non agressifs pour :

- Ouvrages en béton armé ou non.
- Bétons autoplaçants.
- Dallages, sols industriels, chapes.
- Fondations ou travaux souterrains.
- Voirie et chaussée en béton.



Direction Générale et commerciale
Lotissement 202, Section 4, Zone d'activité
Amara, Chéraga, Alger,
Tél. : 023 20 55 15
Meb. : 0470 451 451
Fax : 023 20 55 14
E-mail : service_clients@amoudaciment.com





CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Propriétés chimiques :

- NA 5042 (EN 196-2) : $SO_3 \leq 3.5 \%$
- NA 5042 (EN 196-2) : Chlorure $\leq 0.1 \%$

Propriétés physico-mécaniques :

- NA 230 (EN 196-3) : Temps de début de prise (DP) > 60 mn
- NA 230 (EN 196-3) : Temps de fin de prise (FP) > 240 mn
- NA 231 (EN 196-6) : Surface spécifique (SSB) : $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$
- NA 234 (EN 196-1) : Résistance à la compression (2 Jours) $> 10 \text{ MPa}$
- NA 234 (EN 196-1) : Résistance à la compression (28 Jours) $> 42.5 \text{ MPa}$

Ces données sont communiquées à titre indicatif et peuvent faire objet d'un changement en fonction des paramètres de production dans les limites des normes en vigueur.

CONSEILS AMOUDA CIMENT

Pour la réalisation des travaux en milieux moyennement ou fortement agressifs (travaux maritimes, fondations en terrains gypseux, stations de traitement des eaux usées ...) préférez le ciment **AL ESSES**.

Pour la réalisation des travaux de finition (briquetage, crépissage ...) favorisez le ciment **AL IMRAN**.



Coordonnées usine
23 km de Bouitet Sidi Saâd,
El-Beldha, wilaya de Laghouat
Tél. : 029 17 34 90
Mob. : 0470 395 390
Fax : 029 17 34 91



Annexe I : Fiche technique awted

