

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie civil

Par :

DJENANE SALEM

LOUHAB RAHIMA

Thème

**Mécanisme de dégradation chimique du mortier
cimentaire**

Soutenu le 02/07/2024 devant le jury composé de :

Encadré par :

Pr N. CHELOUAH

Dr A. BOUZIANE

Dr S. ATTIL

Année Universitaire 2023-2024

Remerciements

Tout d'abord nous remercions Dieu qui nous a aidés à élaborer notre mémoire.

Nous exprimons nos profondes gratitudees à notre

Promotrice

Madame ATTIL

Pour nous avoir dirigé ce travail, nous la remercions pour la qualité de ses conseils, sa patience et son aide tout au long de notre travail de PFE.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres de jury qui ont bien voulu juger et examiner le présent mémoire.

On adresse nos remerciements à toute l'équipe du laboratoire de recherche LGCA de nous avoir aidé à réaliser quelques essais.

Nous remercions toute personnes ayant contribués de près ou de loin au bon déroulement de ce travail.



D. Salem & L. Rahima -

Dédicaces

À Ma très chère Mère et mon cher père Je dédie ce modeste travail à mes parents qui on était toujours à mes côtés ; Pour notre soutien indéfectible, votre amour et tous les efforts conjugués dans mon instruction et mon épanouissement.

À Mes grands-mères et mes grands-pères pour vos prières.

A tous Mes amis Lesquelles j'ai partagé les meilleurs moments de ma vie. A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.



Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné à la vie,
Qui s'est sacrifié pour mon bonheur et ma réussite,*

A ma mère

*Mon père, qui a été mon ombre durant toutes les années
des études, qui a veillé à me donner l'aide,*

A m'encourager et à me protéger, que dieu les gardes et

Les protèges.

A mes adorables sœurs et mes frères

A mon marié

A ma très chère petite fille

A tout ma famille

A tous ceux qui m'aiment

A tous ceux que j'aime



Sommaire

Sommaire

Remerciements	2
Dédicaces	4
Sommaire	5
Nomenclatures	10
Liste des tableaux	11
Liste des figures	12
Introduction Générale	1
I. Chapitre I	3
Étude bibliographique	3
I.1. Introduction.....	4
I.2. Matériaux : béton et mortier	4
I.2.1. Définition du béton	4
I.2.1.1. Constituant d'un béton.....	4
I.2.1.2. Durcissement du béton	5
I.2.1.3. Classification des bétons	5
I.2.2. Les mortiers	6
I.2.2.1. Définition du mortier	6
I.2.2.2. Composition des mortiers	6
I.2.2.2.1. Ciment	6
I.2.2.2.2. Le sable.....	7
I.2.2.2.3. L'eau de gâchage.....	7
I.2.2.3. Types de mortiers.....	8
I.2.2.3.1. Selon leur domaine d'utilisation	8
I.2.2.3.2. Selon la composition	8
A. Les mortiers de ciment.....	8
B. Les mortiers de chaux.....	8
C. Les mortiers bâtards.....	9
I.2.2.4. Les caractéristiques principales des mortiers.....	9
I.3. Mécanisme de dégradation des mortiers	9
I.3.1. Définition de dégradation des mortiers.....	9
I.3.2. Définition de la durabilité du mortier et béton	9
I.3.2.1. Dégradation Mécanique	9
I.3.2.2. Dégradation Chimique.....	9
I.3.2.3. Dégradation Physique.....	10
I.3.3. Les causes de la dégradation des mortiers et des bétons	10
I.3.3.1. Les principales causes de dégradation mécanique.....	10
I.3.3.1.1. Les chocs	10
I.3.3.1.2. Abrasion et érosion	10
I.3.3.1.3. Délamination	11
I.3.3.2. Les principales causes de dégradation physique.....	11
I.3.3.2.1. Le retrait.....	11
I.3.3.2.2. Le cycle gel-dégel	11
I.3.3.3. Les principales causes de dégradation chimique.....	12
I.3.3.3.1. La carbonatation	12
I.3.3.3.2. L'action des chlorures	12

Sommaire

I.3.3.3.3. L'alcali-réaction	12
I.3.3.3.4. La réaction sulfatique.....	13
I.3.3.3.5. L'action des acides	14
I.3.3.4. Les différents essais pour étudier la dégradation du béton	16
I.3.3.4.1. Le Ferro scan	16
I.3.3.4.2. Le fissuromètre	16
I.3.3.4.3. Le millivoltmètre	16
I.3.3.4.4. Le scléromètre.....	16
I.3.3.4.5. Les prélèvements par carottage.....	16
I.3.3.5. Les procédés de réparation	17
I.3.3.5.1. Méthodologies de réparation	17
I.3.3.5.2. Le traitement des fissures	17
I.3.3.5.3. Modes de protection des armatures.....	17
I.4. Conclusion	18
II. Chapitre II	19
Caractérisation des matériaux utilisés.....	19
II.1. Introduction.....	20
II.2. Les caractéristiques des matériaux	20
II.2.1. Le ciment.....	20
II.2.1.1. Détermination de la masse volumique absolue (EN 196-60)	20
II.2.1.1.1. Matériel utilisé	20
II.2.1.1.2. Mode opératoire	21
II.2.1.2. Détermination de la masse volumique apparente (EN459-2)	21
II.2.1.2.1. Matériel utilisé	22
II.2.1.2.2. Mode opératoire	22
II.2.1.3. Détermination des temps de début et fin de prise (EN 196-3)	23
II.2.1.3.1. Définition.....	23
II.2.1.3.2. Objectif de l'essai	23
II.2.1.3.3. Principe de l'essai	23
II.2.1.3.4. Matériel utilisé	23
II.2.1.3.5. Mode opératoire	23
II.2.1.4. Essai de consistance de la pâte de ciment.....	24
II.2.1.4.1. Principe de l'essai	24
II.2.1.4.2. But de l'essai	24
II.2.1.4.3. Matériel utilisé	25
II.2.1.4.4. Mode opératoire	25
II.2.1.5. Détermination de la stabilité par l'essai de Chatelier ou essai d'expansion (EN 196-3)	26
II.2.1.5.1. Définition.....	26
II.2.1.5.2. Objet de l'essai	26
II.2.1.5.3. Principe de l'essai	26
II.2.1.5.4. Equipement nécessaire	26
II.2.1.5.5. Conduite de l'essai	26
II.2.2. Le sable	28
II.2.2.1. Masse volumique en vrac et la porosité intergranulaire	28
II.2.2.1.1. But de l'essai	28
II.2.2.1.2. Préparation des éprouvettes.....	28
II.2.2.1.3. Mode opératoire	29
II.2.2.2. Analyse granulométrique par tamisage.....	30

Sommaire

II.2.2.2.1. But de l'essai	30
II.2.2.2.2. Principe de l'essai	30
II.2.2.2.3. Mode Opérateur.....	30
II.2.2.3. La masse volumique réelle et le coefficient d'absorption d'eau du sable par la méthode du pycnomètre (0,063/4 mm).....	32
II.2.2.3.1. But de l'essai	32
II.2.2.3.2. Mode opératoire	32
II.2.2.4. Evaluation des fines du sable.....	35
II.3. C-1/ Module de finesse	35
II.3.1.1.1. Mode opératoire	36
II.3.1.2. Essai au bleu de méthylène	37
II.3.1.2.1. But de l'essai	37
II.3.1.2.2. Mode opératoire	37
II.3.1.3. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux	39
II.3.1.3.1. But de l'essai	39
II.3.1.3.2. Mode opératoire	39
II.3.1.3.3. L'eau de gâchage.....	40
II.4. Conclusion	40
III. Chapitre III	41
Essais sur mortiers	41
III.1. Introduction.....	42
III.2. Les mortiers.....	42
III.2.1. Fabrication de mortiers.....	42
III.2.2. Dosage des constituants	42
III.2.3. Malaxage de mortier.....	42
III.2.4. Matérielles utilisées	43
III.2.5. Moulage	44
III.2.6. Démoulage des éprouvettes	45
III.2.7. Conservation des éprouvettes	46
III.2.8. Mesure de temps de propagation et les démontions des échantillons :.....	48
III.3. Les attaques chimiques sur les mortiers	49
III.3.1. Attaques sulfatiques (ASTM C 1012-89)	50
III.3.1.1. Attaque par les sulfates de sodium Na_2SO_4	50
III.3.1.2. Attaque par les sulfates de magnésium MgSO_4	52
III.3.1.3. Attaque par les sulfates de calcium(CaSO_4).....	52
III.3.1.4. Attaque par les acides (ASTM C 267-96)	53
III.3.1.4.1. Attaque par l'acide chlorhydrique (HCL)	54
III.3.1.4.2. Attaque par l'acide sulfurique (H_2SO_4)	55
III.3.2. Milieu neutre	55
III.3.2.1. L'eau distillée	55
III.3.2.2. L'eau de robinet.....	56
III.4. Essais physiques	56
III.4.1. Les essais par Ultrason	56
III.4.2. Mesure de variation de masses et de longueurs	57
III.5. Essais mécaniques	58
III.5.1. Equipment nécessaire utilisé	58
III.5.2. Essais de traction par flexion	58
III.5.3. Essais de Compression	59
III.6. Détermination du taux d'humidité par le Dessiccateur	61

Sommaire

III.7. Mesure de la valeur de la poussée d'Archimède	62
III.8. Analyse par Diffraction des rayons X (DRX)	63
III.9. Conclusion	63
IV. Chapitre IV.....	64
Résultats et discussion.....	64
IV.1. Introduction	65
IV.2. Résultats et interprétation.....	65
IV.2.1. Comportement mécanique (résistance à la compression et à la traction par flexion).....	65
IV.2.1.1. Résistance à la compression.....	65
IV.2.1.2. Résistance à la traction par flexion	66
IV.2.2. Analyses physico-chimiques des milieux de conservation	67
IV.2.2.1. Variation temporaire de la masse des éprouvettes, les distances et le temps de propagation des ondes	67
A. L'eau de robinet	67
B. Sulfates de sodium	68
C. Sulfates de calcium.....	69
D. Acide chlorhydrique	71
E. Acide sulfurique.....	73
F. Eau distillée.....	74
G. Sulfate de magnésium.....	76
IV.2.3. Essai au Dessiccateur	77
IV.2.4. La poussée d'Archimède et hydrostatique	78
IV.2.5. La conductivité thermique:.....	80
IV.3. Observations visuelles.....	83
IV.3.1. Les sulfates de sodium (Na_2SO_4).....	83
IV.3.2. L'acide chlorhydrique (HCl).....	84
IV.3.3. L'acide sulfurique (H_2SO_4).....	84
IV.3.4. Sulfate de magnésium (MgSO_4)	85
IV.3.5. L'eau distillée	86
IV.3.6. L'eau de robinet:.....	86
IV.3.7. Les sulfates de calcium (CaSO_4)	87
IV.4. Analyse par diffraction des rayons x (DRX)	88
IV.4.1. Eau de robinet	88
IV.4.2. Sulfate de sodium (Na_2SO_4)	89
IV.4.3. Acide chlorhydrique (HCL)	90
IV.4.4. Acide sulfurique H_2SO_4	90
IV.4.5. Eau distillée.....	91
IV.5. Conclusion	92
Conclusion Générale	93
Références bibliographiques.....	96
Annexes.....	99

Nomenclatures

Nomenclatures

$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$: Ettringite

$\text{Ca}(\text{OH})_2$: Calcium hydroxyde

CEM I (CPA) : Ciment portland

CO_2 : Dioxyde de carbone

CSH : Silicate de calcium hydrate

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

E/C : Le rapport Eau /ciment

EN : Européenne norme

ES : Equivalent de sable

Fc : fines calcaires

FRX : Fluorescence des Rayon X

H_2S : hydrogène de sulfure

LTP-EST : Laboratoire de Travaux Public

MF : Module de finesse

NF : Norme françaises

Pc : Poids ciment

Rc : Résistance à la compression

Rf : Résistance à la traction par flexion

VB : La valeur au bleu méthylène

ρ_b : Masse volumique en vrac

ρ_{cp} : Masse volumique apparente du ciment

ρ_{cs} : Masse volumique absolue du ciment

ρ_p : Masse volumique en réelle

v : porosité intergranulaire

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: le gypse secondaire

Liste des tableaux

Tableau I.1: Classe de résistance du béton en fonction de la consistance	5
Tableau I.2: Résistance caractéristique a la compression du béton	6
Tableau I.3: Types de ciments [5]	7
Tableau II.1: Masse volumique absolue du ciment	21
Tableau II.2: Masse volumique apparente du ciment.....	22
Tableau II.3: Essai de temps de prise et de fin de prise.....	24
Tableau II.4: Essai de consistance.....	26
Tableau II.5: Résultats d’essai le Chatelier ou expansion	27
Tableau II.6: Composition chimique du sable de carrière utilisé	28
Tableau II.7: Capacité minimale du conteneur en fonction de la granularité.....	29
Tableau II.8: Résultats des masses volumiques en vrac et la porosité inter granulaire du sable...	30
Tableau II.9: Tamis utilisés pour l’analyse granulométrique du sable.....	30
Tableau II.10: L’analyse granulométrique de sable	32
Tableau II.11: Masse volumique réelle et coefficient d’absorption d’eau des sables	35
Tableau II.12: Mesure de l’équivalent de sable.....	37
Tableau II.13: Résultats de l’essai au bleu de méthylène.....	38
Tableau II.14: Détermination de la teneur en eau des matériaux	40
Tableau III.1: Les étapes de malaxage du mortier normal.	43
Tableau III.3: Résultats de compression pour la solution de sulfates de magnésium	59
Tableau III.4: Résultats de compression pour la solution de l’acide chlorhydrique	59
Tableau III.5: Résultats de compression pour la solution de l’acide sulfurique	60
Tableau III.6: Résultats de compression pour la solution de sulfates de calcium.....	60
Tableau III.7: Résultats de compression pour la solution de l’eau de robinet	60
Tableau III.8: Résultats de compression pour la solution de sulfate de sodium	61
Tableau III.9: Résultats de compression pour la solution de l’eau distillée	61

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Les constituants d'un béton frais [1].....	4
Figure I.2 : Durcissement du béton [1]	5
Figure I.3 : Choc sur une glissière	10
Figure I.4 : Abrasion et érosion du mortier.....	10
Figure I.5 : Phénomène causé par le cycle gel-dégel	12
Figure I.6 : Carbonatation d'un béton.....	12
Figure I.7 : Dégradation par alcali-réaction	13
Figure I.8 : Dégradation par les attaques sulfatiques	14
Figure II.1 : Une balance	20
Figure II.2 : Un Densitomètre (Le Chatelier)	20
Figure II.3 : Le densitomètre le Chatelier.....	21
Figure II.4 : Mesure de la masse volumique apparente du ciment	22
Figure II.5 : Appareil de Vicat.....	24
Figure II.6 : Appareil de Vicat muni de sa sonde de consistance	25
Figure II.7 : Echantillons de ciment testé en expansion le Chatelier.....	27
Figure II.8 : Le sable de carrière utilisé.....	28
Figure II.9 : Le conteneur	29
Figure II.10 : La série des tamis utilisée.....	31
Figure II.11 : Courbe granulométrique du sable.....	32
Figure II.12 : Etapes de calcul de la masse volumique réelle et la détermination de coefficient d'absorption d'eau du sable selon la norme NF EN 1097-6.	34
Figure II.13 : Essai au bleu de méthylène.....	38
Figure II.14 : Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux	39
Figure III.1 : Malaxeur normalisé	43
Figure III.2 : Moules (4*4*16) cm	43
Figure III.3 : Les pesées des moules vides et pleins.....	44
Figure III.4 : La mise en place des mortiers confectionnés.....	44
Figure III.6 : Démoulage des éprouvettes	45
Figure III.8 : Les éprouvettes conservées dans l'eau.....	46
Figure III.12 : Préparation de la solution de Sulfate de sodium	51
Figure III.13 : Conservations des éprouvettes dans la solution de sulfates de sodium.....	51
Figure III.14 : Préparation de la solution de sulfates de magnésium.....	52
Figure III.15 : Conservations des éprouvettes dans la solution de sulfates de magnésium.....	52
Figure III.16 : Etapes de préparation de la solution de 5% de sulfates de calcium	53

Liste des figures

Figure III.17 : Conservation des éprouvettes dans la solution de sulfates de calcium	53
Figure III.18 : Préparation de la solution de 5% d'acide chlorhydrique	54
Figure III.19 : Conservation des éprouvettes dans la solution de 5% d'acide chlorhydrique	54
Figure III.20 : Préparation de la solution de 5% d'acide sulfurique (H ₂ SO ₄).....	55
Figure III.21 : Conservation des éprouvettes dans la solution d'acide sulfurique.....	55
Figure III.22 : Conservation des éprouvettes dans l'eau distillée.....	56
Figure III.23 : Conservation des éprouvettes dans l'eau de robinet	56
Figure III.24 : L'appareil de l'Ultrason utilisé	57
Figure III.25 : Mesure du temps de propagation des ondes d'un prisme de mortier de 160mm de longueur.....	57
Figure III.26 : La pesée des mortiers.....	57
Figure III.27 : Mesure de la variation de distances	57
Figure III.28 : Essai de traction par flexion.....	58
Figure III.29 : Presse hydraulique	61
Figure III.30 : Appareil Dessiccateur	62
Figure III.31 : Principe de mesure du la poussée d'Archimède	62
Figure IV.1 : Résistance à la compression des mortiers conservés dans les différents milieux.	65
Figure IV.2 : Résultat de l'essai de traction.....	66
Figure IV.3 : La variation de masse des mortiers conservés dans l'eau de robinet	67
Figure IV.4 : Résistance à la compression des mortiers conservés dans l'eau de robinet en fonction de temps.	68
Figure IV.5 : Variation de masse des mortiers conservés dans les sulfates de sodium	68
Figure IV.6 : Résistance à la compression des mortiers conservés dans les sulfates de sodium en fonction de temps.	69
Figure IV.7 : Variation de masse des mortiers conservés dans les Sulfates de calcium.....	70
Figure IV.8 : Résistance à la compression en fonction du temps des mortiers conservés dans les sulfates de calcium.	71
Figure IV.9 : Variation de masses des mortiers conservés dans l'acide chlorhydrique.....	71
Figure IV.10 : Résistance à la compression en fonction du temps des mortiers conservés dans la solution pour l'acide chlorhydrique	72
Figure IV.11 : Perte de masse des échantillons de mortier conservés dans l'acide sulfurique	73
Figure IV.12 : Résistance à la compression en fonction de temps des mortiers conservés dans l'acide sulfurique.....	74
Figure IV.13 : Gain de masse des mortiers conservés dans l'eau distillée.	75

Liste des figures

Figure IV.14 : Résistance à la compression en fonction de temps des mortiers conservés dans l'eau distillé.....	75
Figure IV.15 : Variation de masse des mortiers conservés dans le milieu de sulfates de magnésium	76
Figure IV.16 : Résistance à la compression en fonction de temps des mortiers conservés pour Sulfates de magnésium.....	77
Figure IV.17 : Résultats du test au dessiccateur	78
Figure IV.18 : Les résultats de La poussée d'Archimède	79
Figure IV.19 : Résultats de La poussé hydrostatique.....	80
Figure IV.20 : Les résultats de La conductivité thermique.....	81
Figure IV.21 : Eprouvettes attaquées par les sulfates de sodium (Na_2SO_4).....	83
Figure IV.22 : Eprouvettes attaqué par l'acide chlorhydrique (HCl)	84
Figure IV.23 : Eprouvettes attaqués par l'acide sulfurique (H_2SO_4)	84
Figure IV.24 : Eprouvettes attaqués par sulfates de magnésium(MgSO_4).....	85
Figure IV.25 : Eprouvette attaqué par l'eau distillé.....	86
Figure IV.26 : Eprouvettes conservées dans l'eau de robinet.....	86
Figure IV.27 : Eprouvettes attaqués par les sulfates de calcium (CaSO_4)	87
Figure IV.28 : Spectre DRX du mortier conservé dans l'eau de robinet.	88
Figure IV.29 : Spectre DRX du mortier conservé dans la solution de sulfate de sodium.....	89
Figure IV.30 : Spectre (DRX) des mortiers conservés dans l'acide chlorhydrique (HCL)	90
Figure IV.31 : Spectre (DRX) des mortiers de l'acide sulfurique (H_2SO_4).....	90
Figure IV.32 : Spectre DRX des échantillons conservés dans l'eau distillée	91

Introduction Générale

Introduction Générale

Le béton et le mortier sont des sujets à diverses formes de dégradation. Parmi les principales causes de dégradation, on peut citer l'exposition aux intempéries comme la pluie, le gel et dégel, ainsi que l'exposition à des substances chimiques agressives telles que les sels de déverglaçage et les agents corrosifs. De plus, les réactions chimiques internes, comme l'alcalinité, peuvent entraîner la corrosion des armatures métalliques, affaiblissant ainsi de la structure.

En outre, les activités humaines, telles que la pollution atmosphérique et le changement climatique, peuvent également contribuer à la dégradation des bétons et mortiers, en accélérant les processus de corrosion et de détérioration.

Ainsi, il est crucial de développer des méthodes de construction et des formulations de matériaux qui améliorent la durabilité du béton et du mortier, afin de garantir la longévité et la résistance des structures construites.

En ce qui concerne la dégradation des bétons et mortiers peuvent être influencés par plusieurs facteurs locaux. Voici quelques éléments à prendre en compte : le climat, la pollution atmosphérique, l'exposition aux intempéries, et la qualité des matériaux.

Cette dégradation peut être menée par une combinaison de ces facteurs, il est donc important de les prendre en considération lors de la conception et de construction des structures, ainsi que dans les programmes d'entretien et de réparation pour assurer leur durabilité à long terme.

Le but de ce travail est d'étudier la dégradation des mortiers vis-à-vis des milieux agressifs, de ce fait, la partie expérimentale est portée sur :

- Les attaques par des sulfates de sodium (Na_2SO_4).
- Les attaques par l'acide chlorhydrique (HCl).
- Les attaques par l'acide sulfurique (H_2SO_4).
- Les attaques par des sulfates de magnésium (MgSO_4).
- Les attaques par des sulfates de calcium (CaSO_4).
- L'eau distillée.
- L'eau de robinet.

Ce mémoire est constitué de quatre chapitres, qui sont :

Chapitre I : Etude bibliographique

Introduction Générale

Chapitre II : Caractérisation des matériaux utilisés

Chapitre III : Confection et Essais sur mortiers

Chapitre IV : Résultats et discussion

Enfin, on termine par une conclusion générale qui reprend une synthèse des principaux résultats obtenus lors de cette étude.

Chapitre I
Étude bibliographique

I.1. Introduction

Dans ce chapitre d'étude bibliographique, nous examinerons les matériaux de construction, en particulier le béton et le mortier. Nous analyserons en profondeur les mécanismes de dégradation des mortiers, en identifiant les facteurs clés qui influencent leur durabilité et leur performance à long terme. Cette revue de la littérature fournira une base solide pour comprendre les défis et les solutions possibles dans l'utilisation de ces matériaux.

I.2. Matériaux : béton et mortier

I.2.1. Définition du béton

Le béton est un matériau composé de différents éléments, principalement des granulats et de la pâte de ciment, chacun ayant des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques distinctes.

L'amélioration de certaines propriétés du béton pour répondre à des situations spécifiques dépend de la manipulation de ces composants, chacun joue un rôle crucial dans le mélange [1].

I.2.1.1. Constituant d'un béton

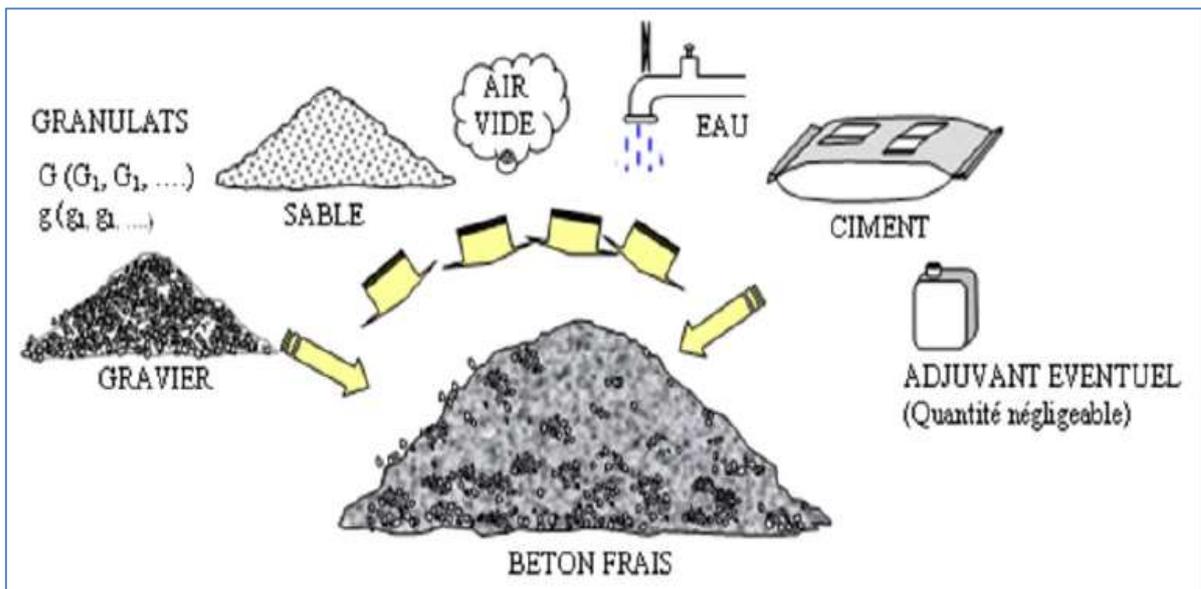


Figure I.1 : Les constituants d'un béton frais [1]

I.2.1.2. Durcissement du béton

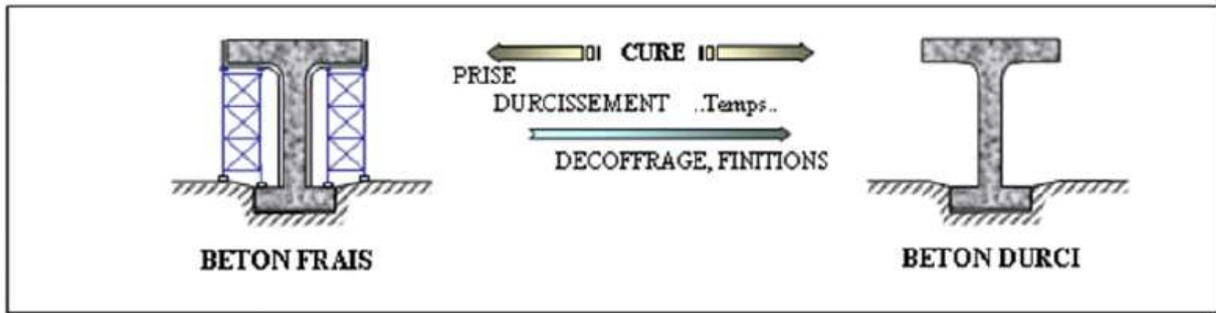


Figure I.2 : Durcissement du béton [1]

Pour le durcissement du béton il existe plusieurs conditions [1], on site :

- L’humidité
- Une température supérieure à 50 °
- Le repos pendant la période de la cure (absence de sollicitation d'ordre mécanique ou physique).

I.2.1.3. Classification des bétons

➤ **Selon la classe de résistance :**

Les bétons sont généralement classés selon leur résistance, tout en prenant en considération leur consistance, comme indiquer dans le tableau ci-dessous [2]:

Tableau I.1: Classe de résistance du béton en fonction de la consistance

Classe de Résistance	S1	S2	S3	S4	S5
Affaissement au cône d’Abrams (mm)	10 - 40	50 - 90	100 - 150	160 - 210	≥ 220

Pour les classes de consistance de béton on trouve :

S1 : ferme

S2 : plastique

S3 : très plastique

S4 : fluide

S5 : très fluide

La norme EN 206-1 classe le béton en fonction de sa résistance caractéristique à la compression, et aussi en fonction de sa forme géométrique comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau I.2: Résistance caractéristique a la compression du béton

Classe de résistance	Résistance sur cylindres	Résistance sur cubes
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55

➤ **Selon la masse volumique :**

Les bétons sont classés aussi selon leurs densités, on trouve :

- Le béton lourd
- Le béton courant
- Le béton léger

I.2.2. Les mortiers

I.2.2.1. Définition du mortier

Le mortier est utilisé dans les maçonneries et les enduits, il est constitué d'un mélange de ciment, de sable et d'eau.

Pour obtenir les performances désirées, on peut varier les formulations en ajustant les paramètres tels que le type et le dosage du liant, les adjuvants, les ajouts et le dosage en eau.

Concernant le liant, différents types de ciments et de chaux peuvent être utilisés, le choix dépend de la nature de l'ouvrage à réaliser et de son environnement [3].

I.2.2.2. Composition des mortiers

Les mortiers sont constitués en générale de :

I.2.2.2.1. Ciment

Le ciment est un élément essentiel dans les bétons et mortiers, il agit comme un liant hydraulique, permettant de lier les grains de sable et les granulats, inventé au début de XIXe siècle, il est aujourd'hui le deuxième produit après l'eau dans monde, et sa demande ne cesse de croître.

En Algérie, on utilise divers additifs dans les ciments, tels que le laitier de haut fourneau, la pouzzolane naturelle ou le tuf, permettant de varier les proportions pour obtenir différents types de ciment répondant à des propriétés physico-mécaniques spécifiques en fonction des besoins d'utilisation [4].

- **Les normes des ciments :**

La norme de référence pour les ciments courants est NF EN 197-1 depuis 2001 [5]. Cette norme définit cinq types de ciments conformément au tableau suivant :

Tableau I.3: Types de ciments [5]

Type de ciment	Clinker %
CEM I (CPA) Ciment Portland Artificiel	95 à 100
CEM II (CPJ) Ciment Portland composé	65 à 94
CEM III (CHF ou CLK) Ciment de haut fourneau	5 à 64
CEM IV (CPZ) Ciment pouzzolanique	48 à 89
CEM V (CLC) Ciment composé	20 à 64

I.2.2.2.2. Le sable

Le sable a une influence significative sur la résistance et la cohésion du mortier, donc il est logique que nous présentions généralement les propriétés des sables utilisés en génie civil, y compris leur classification et les critères d'acceptation pour leur utilisation dans la construction. Nous définissons le sable comme la fraction des granulats pierreux dont les grains qui ont des dimensions comprises entre 0,08 mm et 5 mm, Bien que ces bornes puissent varier selon la classification.

Ces matériaux ont également un diamètre maximal inférieur à 6,3 mm et un pourcentage de passants de 80 microns ne dépassant pas 30%.

Les sables peuvent être classés, selon leurs provenances comme suit :

- **Sable de rivière :** il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer :** il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière :** Il contient parfois de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à utiliser avec précaution [6].

I.2.2.2.3. L'eau de gâchage

L'eau est un ingrédient essentiel du béton, comme le stipule la norme NF EN 1008. Elle remplit deux fonctions principales ; elle confère au béton sa maniabilité à l'état frais, en influençant ses propriétés rhéologiques, et elle assure l'hydratation des grains de ciment pour favoriser la prise et le durcissement. La quantité d'eau utilisée, ou plus précisément le rapport eau/ciment, exerce une forte influence sur divers aspects du béton, tels que sa porosité, sa perméabilité, ses résistances mécaniques, sa durabilité, sa microstructure et la cinétique d'hydratation [7].

I.2.2.3. Types de mortiers

I.2.2.3.1. Selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, on peut citer les catégories suivantes [8]:

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis.
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.
- Mortier de réparation pour pierres.

I.2.2.3.2. Selon la composition

A. Les mortiers de ciment

Les mortiers de ciment sont reconnus pour leur grande résistance et leur capacité à prendre et durcir rapidement. Depuis, un dosage adéquat en ciment les rend quasiment imperméables. Les proportions typiques varient généralement entre 300 et 400 kg de ciment par mètre cube de sable. [9].

B. Les mortiers de chaux

Les mortiers à base de chaux utilisent la chaux (soit grasse ou hydraulique) comme liant et du sable comme granulat fin. Ce mélange est souvent appliqué pour enduire les murs intérieurs et extérieurs. Les mortiers de chaux ont une texture grasse et onctueuse, et ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciments, surtout avec de la chaux calcique. Bien qu'ils offrent de la souplesse, leur imperméabilité est moindre par rapport au ciment.[9]

C. Les mortiers bâtards

La combinaison de ciment et de chaux permet de bénéficier des qualités de ces deux liants simultanément. Habituellement, on les utilise en quantités égales, mais on ajustera la proportion de l'un ou de l'autre en fonction de l'application et du niveau de qualité désiré[9].

I.2.2.4. Les caractéristiques principales des mortiers

- L'ouvrabilité
- La prise
- Les résistances mécaniques
- Les retraits et gonflements, etc[10].

I.3. Mécanisme de dégradation des mortiers

I.3.1. Définition de dégradation des mortiers

La plupart des infrastructures de génie civil en service sont en béton. Le béton de ciment est l'un des matériaux de construction les plus durables ; donc la dégradation de ce béton est sa perte de performance elle se manifeste par détérioration, déformation ou changement de ces propriétés. La fissure constitue le signe d'une première manifestation apparente de dégradation possible, comme elle peut prendre l'aspect des éclats ou couleurs de rouille [11].

I.3.2. Définition de la durabilité du mortier et béton

La durabilité, selon la norme NF X 50-501, est définie comme la capacité d'une entité à remplir une fonction dans des conditions spécifiques d'utilisation et de maintenance jusqu'à ce qu'un état-limite soit atteint. En ce qui concerne les matériaux, la durabilité se réfère à leurs capacités à maintenir leurs fonctions, telles que la résistance aux agressions mécaniques et

chimiques, tandis que la durée de vie des ouvrages désigne le laps de temps pendant lequel ils assurent en toute sécurité les fonctions pour lesquelles ils ont été construits, en prenant en compte les conditions de service et les exigences économiques. [12].

I.3.2.1. Dégradation Mécanique

Les mortiers sont susceptibles d'être exposés à divers types d'usure, notamment l'abrasion, l'érosion, les chocs répétés sous charge excessive, ce qui peut entraîner des dommages mécaniques à tout moment [13].

I.3.2.2. Dégradation Chimique

Les bétons et les mortiers sont exposés à des environnements chimiquement agressifs.

Les mortiers peuvent présenter d'autres altérations chimiques telles que la carbonatation, la réaction sulfatique et la corrosion due aux chlorures [13].

I.3.2.3. Dégradation Physique

La dégradation physique englobe toutes les causes susceptibles d'entraîner des dommages au béton, telles que le retrait et les cycles gel-dégel, pouvant entraîner son éclatement [13].

I.3.3. Les causes de la dégradation des mortiers et des bétons

I.3.3.1. Les principales causes de dégradation mécanique

I.3.3.1.1. Les chocs

Les accidents les plus courants incluent les collisions des poids lourds hors gabarit avec les entrées des ponts, les chocs des bateaux contre les piles en rivière, ainsi que les collisions des véhicules avec les barrières de retenue, ce qui peut causer des dommages significatifs au béton [14].



Figure I.3 : Choc sur une glissière

I.3.3.1.2. Abrasion et érosion

L'abrasion et l'érosion sont principalement observées dans les ouvrages du génie civil exposés à des flux d'eau, tels que les barrages ou les galeries d'adduction d'eau, ainsi que dans les structures subissant des charges mécaniques répétées, comme les chaussées en béton [14].



Figure I.4 : Abrasion et érosion du mortier

I.3.3.1.3. Délamination

La délamination est causée par l'effet combiné des conditions climatiques, des sels anti-verglas et du passage direct du trafic sur le béton des hourdis de pont. Dans les cas les plus sévères, cette détérioration entraîne la chute de plaques de béton et la formation de trous dans les tabliers des ponts [14].

I.3.3.2. Les principales causes de dégradation physique

I.3.3.2.1. Le retrait

Le retrait est un phénomène physico-chimique inhérent au béton, se manifestant dès sa prise jusqu'à son vieillissement. Son symptôme principal est la fissuration. Trois types de fissures sont observés :

- Les fissures qui apparaissent une à deux heures après le bétonnage, et parfois visible à travers l'eau de ressuage.
- Les fissures survenant justes après le décoffrage.
- Les fissures qui se développent plusieurs mois après le décoffrage [15].

I.3.3.2.2. Le cycle gel-dégel

Les dommages causés par le gel-dégel sur le béton sont fréquents dans les régions montagneuses, particulièrement dans les zones non protégées par des revêtements imperméables. L'utilisation des sels anti-verglace aggrave ces dégradations.

Les paramètres qui influent sur la dégradation des bétons due au cycle gel-dégel sont :

- La porosité.
- Le degré de saturation.
- La transformation de l'eau en glace en fonction de la température.
- La transformation de l'eau en glace par augmentation de volume 9%.
- Influence de taux de refroidissement [15].



Figure I.5 : Phénomène causé par le cycle gel-dégel

I.3.3.3. Les principales causes de dégradation chimique

I.3.3.3.1. La carbonatation

La réaction chimique naturelle ne pose problème que lorsqu'elle est excessive. Elle conduit à la formation de carbonate de calcium, réduisant ainsi la porosité du béton. Cette carbonatation excessive peut également renforcer sa résistance, cependant, un excès de CO₂ traversant la surface, ce phénomène est principalement causé par une alternance régulière entre humidité et sècheresse [16].



Figure I.6 : Carbonatation d'un béton

I.3.3.3.2. L'action des chlorures

Les chlorures présents dans le béton proviennent des matériaux utilisés lors de sa fabrication ou de sources externes. A l'intérieur, ils peuvent être soit liés sous forme de chlore-aluminates, soit non liés, ce qui leur permet de migrer par capillarité lors des cycles de mouillage et de séchage, ou par diffusion. La vitesse de pénétration des chlorures est influencée par la porosité de la pâte de ciment, elle diminue avec le rapport E/C, et dépend également de la concentration des sels dans l'environnement [16].

I.3.3.3.3. L'alcali-réaction

Ce phénomène se produit fréquemment lorsque les granulats sont riches en fines particules et qui sont exposés à l'humidité [16].



Figure I.7 : Dégradation par alcali-réaction

I.3.3.3.4. La réaction sulfatique

La réaction chimique résulte du chauffage interne du béton peu de temps après sa fabrication, ce qui entraîne un phénomène de gonflement. Parfois plusieurs années après, la présence de sulfates constitue un risque majeur d'agression chimique pour le béton.

Cette dégradation par les sulfates se manifeste par une expansion, par exemple : le sulfate de magnésium contenu dans l'eau salée, qui contient également des sels tels que le chlorure de sodium et les sulfates de calcium, réagit avec la chaux hydratée pour former du gypse et de l'alun [16].

On peut rencontrer deux réactions sulfatiques, qui sont :

- **La réaction sulfatique externe :**

Les sulfates proviennent de diverses sources externes telles que le sol, les eaux souterraines riches en sélénites, les eaux marines, les matériaux environnants et l'atmosphère.

Cette réaction se propage de la surface de l'ouvrage vers son intérieur. Pour remédier à cela, les structures endommagées peuvent être réparées en éliminant les parties affectées par un processus de piquage et de purge, suivi de l'application d'un produit de réparation approprié [17].

- **La réaction sulfatique interne :**

La surface de l'ouvrage est composée de matériaux tels que le ciment et les granulats, ce qui influe sur sa structure interne. Cette influence est généralement caractérisée par une cinétique de réaction plus rapide que celle des réactions de sulfatation externes.

En conséquence, la réparation de l'ouvrage devient plus complexe, avec une nécessité principale de prévenir l'infiltration d'eau. En l'absence de protection, la réaction en question peut entraîner une dégradation totale de l'ouvrage [17].



Figure I.8 : Dégradation par les attaques sulfatiques

I.3.3.3.5. L'action des acides

Les acides se classent en acides organiques et inorganiques. Par exemple, l'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique sont plus dommageables pour le béton que les acides organiques.

Les environnements acides courants incluent les eaux naturelles des tourbières et des marécages, ainsi que les milieux industriels tels que les réseaux d'égouts [18].

- **Sources des acides :**

Les émissions des fours utilisant des combustibles riches en soufre ainsi que les effluents des industries chimiques peuvent contenir de l'acide sulfurique.

De même, la décomposition des matières organiques dans les égouts, les silos ou les réservoirs d'entreposage peut engendrer la formation de H_2S (gaz), transformable en acide sulfurique par l'action bactérienne.

En générale, l'attaque chimique du béton se manifeste par la décomposition des produits d'hydratation et la formation de nouveaux composés, solubles ou insolubles, susceptibles de causer des dommages.

Le $Ca(OH)_2$ est particulièrement vulnérable à cette attaque, mais le CSH peut également être affecté. Les liquides ayant un pH inférieur à 6,5 peuvent attaquer le béton, mais une détérioration sérieuse ne se produit généralement que lorsque le pH descend en dessous de 5,5 et devient sévère au-dessous de 4,5. L'eau contenant du CO_2 libre, comme les eaux minérales peuvent contenir du sulfure d'hydrogène, et peut également corroder le béton.

Cependant, une partie du CO_2 est nécessaire pour stabiliser le bicarbonate de calcium dans la solution, ce qui réduit son agressivité.

Les pluies acides, composées principalement d'acide sulfurique et d'acide nitrique avec un pH entre 4 et 4,5, peuvent également causer une dégradation de la surface exposée du béton. Bien que les eaux usées domestique soient alcalines et n'attaquent pas le béton, des problèmes importants ont été observés dans les égouts, surtout à des températures élevées,

lorsque les composés sulfurés sont transformés en H₂S par des bactéries anaérobies. Bien que ce composé ne soit pas intrinsèquement destructeur, il est dissous par le film d'humidité sur le béton et subit une oxydation par les bactéries anaérobies, produisant ainsi de l'acide sulfurique qui corrode les armatures de béton au contact de l'eau.

Cette corrosion progressive dissout la pâte de ciment durci, entraînant une détérioration graduelle du béton. Une forme similaire d'attaque peut se produire sur les réservoirs de stockage pétroliers en haute mer.

L'acide sulfurique réagit vigoureusement avec la chaux libre (Ca(OH)₂) dans le béton pour former du gypse (CSO₄.2H₂O). Une réaction encore plus destructive se produit entre l'aluminate de calcium et les cristaux de gypse, formant l'ettringite (3CaO.AL₂O₃.3CaSO₄.32H₂O), un produit de réaction moins soluble, pour les sulfates dans un mortier pour former le gypse secondaire (CaSO₄.2H₂O).

Ces composés expansifs exercent une pression interne sur le béton, provoquant des fissures. La surface corrodée devient molle et blanche, et la corrosion continue par altérer les propriétés mécaniques du béton. Réduire la quantité de ciment dans le béton peut être bénéfique, à condition que la masse volumique du béton reste intacte [18].

Certaines conséquences de la dégradation des mortiers et bétons incluent :

- Réduction de la résistance mécanique : Les fissures et les dommages structurels diminuent la capacité portante et la résistance aux charges.
- Corrosion des armatures : L'exposition des armatures en acier à l'humidité et aux agents chimiques entraîne la corrosion, affaiblissant la structure.
- Pénétration de substances nocives : L'eau, les sels et les produits chimiques peuvent pénétrer plus facilement, accélérant la dégradation.
- Perte d'adhérence : La dégradation peut provoquer une perte d'adhérence entre le mortier ou le béton.
- Réduction de la durabilité : Le béton dégradé perd sa résistance aux conditions environnementales agressives, comme les cycles gel-dégel, les attaques chimiques, et la corrosion des armatures.

I.3.3.4. Les différents essais pour étudier la dégradation du béton

I.3.3.4.1. Le Ferro scan

Le balayage pachéométrique, également appelé levé d'armatures, est essentiellement un scanner qui fournit des données sur l'épaisseur du revêtement des armatures, détecte la présence d'armatures adjacentes et identifier le profil de l'acier [20].

I.3.3.4.2. Le fissuromètre

Les captures, ou fissuromètre, sont utilisés pour surveiller l'évolution des fissures au fil du temps [20].

I.3.3.4.3. Le millivoltmètre

Le balayage potentiométrique consiste à mesurer le champ de potentiel entre le réseau d'armature et la surface du béton à l'aide d'un millivoltmètre sensible et d'une électrode de référence impolarisable. Cette méthode permet d'évaluer le niveau de corrosion des armatures [20].

I.3.3.4.4. Le scléromètre

Les mesures au scléromètre, également connu sous le nom de marteau de Schmidt, visent à évaluer la dureté de surface du béton. Il est recommandé de ne pas effectuer ces mesures lorsque la température est à 5C° ou supérieur à 35C° [20].

I.3.3.4.5. Les prélèvements par carottage

Le prélèvement constitue une étape critique dans le diagnostic du béton. Le choix du nombre et du type d'échantillons dépend des données recueillies lors de l'inspection sur site et des analyses nécessaires en laboratoire.

Les échantillons ne sont pas sélectionnés uniquement pour représenter les zones les plus saines ou les plus dégradées, mais plutôt pour refléter les différents phénomènes de dégradation.

Le prélèvement se fait généralement par carottage, en évitant autant que possible les zones sans armatures identifiées par le balayage pachométrique.

Les échantillons prélevés sont ensuite analysés en laboratoire, en complément des tests effectués sur site. Les techniques couramment utilisées incluent la mesure de la profondeur de carbonatation à l'aide d'indicateurs de pH tels que la phénolphtaléine ou l'alizarine, qui changent respectivement de couleur de l'incolore ou rouge au pourpre.

La carbonatation est un phénomène chimique qui se produit à la surface du béton tout au long de sa durée de vie : l'hydrate de chaux réagit avec le dioxyde de carbone de l'air

pour former du carbonate de calcium, libérant de l'eau. Cela entraîne une baisse du pH du béton et le début de la corrosion des armatures [20].

I.3.3.5. Les procédés de réparation

I.3.3.5.1. Méthodologies de réparation

Les travaux de réparation nécessitent une préparation qui inclut :

- L'élimination des bétons endommagés.
- Le traitement des armatures corrodées, avec possibilité de remplacement ou d'ajout d'armatures supplémentaires.
- Le nettoyage des surfaces.

Trois méthodes de réparation sont possibles [21] :

- Restauration du béton par ragréage pour les petites surfaces.
- Restauration du béton par bétonnage ou par béton projeté.
- Renforcement structural peut être effectué en ajoutant du béton et/ ou des armatures.

I.3.3.5.2. Le traitement des fissures

Selon l'évolution des fissures, quatre méthodes de réparation sont envisageables [21]:

- Utilisation du ragréage classique.
- Injection d'un produit souple à la fissure.
- Pontage de la fissure.
- Transformation de la fissure en joint de dilatation.

I.3.3.5.3. Modes de protection des armatures

Quatre options sont utilisées

- Le purge des bétons dégradés et leur remplacement, avec éventuellement un traitement de protection des armatures, est réalisable uniquement si tous les polluants du béton peuvent être éliminés complètement.
- La mise en place d'une protection cathodique.
- La déchlorurassions des bétons, suivie de leur réalcalinisation, implique l'extraction des chlorures par électrolyse avant d'introduire des ions OH⁻.
- L'utilisation d'inhibiteurs de corrosion à la surface du béton, qui diffusent en profondeur pour repasseriez les armatures [21].

I.4. Conclusion

Cette étude bibliographique nous a permis d'avoir une idée et des éclaircissements sur le phénomène de dégradation de béton et mortier, et de comprendre le principe d'attaques chimiques effectués sur les mortiers et bétons.

Chapitre II
Caractérisation des matériaux
utilisés

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, on étudiera les différentes caractéristiques chimiques et physiques des matériaux utilisés pour la confection des mortiers.

II.2. Les caractéristiques des matériaux

II.2.1. Le ciment

Dans notre étude, on a utilisé un seul type de ciment, qui est le Ciment portland artificiel : CPA-CEM I 42.5 N-LH/SR5, de l'unité d'Ain-El kebira de Sétif.

- **CEM I 42.5 N-LH/SR5**: est un ciment portland pur de résistance moyenne, à faible chaleur d'hydratation et résistant aux sulfates, idéal pour les constructions dans des conditions environnementales exigeantes.

Les caractéristiques de ce ciment sont données comme suite :

- CEM I : un ciment portland pur sans ajout.
- 42.5: la classe de résistance à la compression.
- N : représente une résistance à la normale (développe sa résistance de manière standard ni rapide ni lente).
- LH (Low heat) : indique que ce ciment a une faible chaleur générée lors de la prise et du durcissement.
- SR5 (sulfate résistant 5) : signifie que ce ciment a une haute résistance aux sulfates.

La fiche technique du ciment est représentée dans l'annexe D [23]

II.2.1.1. Détermination de la masse volumique absolue (EN 196-60)

La masse volumique absolue du ciment est définie comme étant le rapport entre la masse du ciment et son volume absolu [24].

II.2.1.1.1. Matériel utilisé

- Un densitomètre « le Chatelier ».
- Une balance.



Figure II.1 : Une balance



Figure II.2 : Un Densitomètre (Le Chatelier)

II.2.1.1.2. Mode opératoire

Nous avons choisi la méthode du volumétrique de le Chatelier, la plus pratique, qui implique l'utilisation d'un récipient constitué d'un ballon surmonté d'un renflement (environ de 20 cm³) et d'un col étroit gradué, la procédure est la suivante :

- On verse l'essence jusqu'au niveau V1 proche de 0. On note (**V1**).
- On pèse l'ensemble (**M1**).
- On ajoute le ciment (environ 60 g), pour augmenter ce volume, tout en éliminant les bulles d'air. Ce ciment doit être ajouté très lentement en vérifiant qu'il ne se bloque pas dans le tube du volumétre et de l'entonnoir en verre placé à l'embouchure du tube. On note ainsi (**V2**).
- On pèse l'ensemble (**M2**).



Figure II.3 : Le densitomètre le Chatelier

Répéter l'essai (03 mesures sont effectuées).

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.1: Masse volumique absolue du ciment

V1 (ml)	M1 (g)	V2 (ml)	M2 (g)	ρ_{ca} g/cm ³
250	354,39	267,5	412,69	3,33

-Masse volumique absolue $\rho_{ca}=3,33$ g/cm³

II.2.1.2. Détermination de la masse volumique apparente (EN459-2)

La masse volumique apparente du ciment désigne le rapport entre la masse du ciment et le volume apparent correspondant [25].

II.2.1.2.1. Matériel utilisé

- Un récipient de volume connu.
- Une règle à araser.
- Un entonnoir porté par un trépied, muni d'une passoire.
- Une balance.

II.2.1.2.2. Mode opératoire

- On place l'entonnoir au-dessus du centre du récipient.
- On verse une quantité de ciment sur la passoire et la faire descendre dans l'entonnoir.
- On ouvre l'opercule (le ciment tombe dans la mesure de volume **V** connu, et on referme l'opercule quand l'entonnoir est vide (tout le ciment s'est écoulé).
- On recommence avec de nouvelles quantités de ciment, jusqu'à ce qu'il y ait débordement.
- Nivelier avec une règle.
- Peser le contenu, soit **M**.

On calcul la masse volumique apparente du ciment : $\rho_{cp} = M/V$

On reprend l'essai 03 fois.



Figure II.4 : Mesure de la masse volumique apparente du ciment

Tableau II.2: Masse volumique apparente du ciment

M vide (g)	M plein (g)	M moyen(g)	V(ml)	ρ_{Cp} g/cm³
485,75	1410,38	924,63	956,42	1,47

Masse volumique apparent $\rho_{Cp}=1,47$ g/cm³

II.2.1.3. Détermination des temps de début et fin de prise (EN 196-3)**II.2.1.3.1. Définition**

Le nom de prise est donné à la phase de cristallisation du ciment, par addition d'eau afin de former une pâte plastique qui se solidifie au bout d'un temps [25].

II.2.1.3.2. Objectif de l'essai

L'essai a l'objet de déterminer le temps de début et de fin de prise d'un ciment.

II.2.1.3.3. Principe de l'essai

Cet essai a pour objectif d'observer l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance standard. L'appareil utilisé est l'appareil de Vicat, équipé d'une aiguille de 1,13 mm de diamètre. Lorsqu'elle est soumise à une charge de 300g, l'aiguille s'arrête à une distance du fond du moule, notée $d = 4\text{mm} \pm 1\text{mm}$. A ce stade, on considère que le début de prise est atteint. Ce moment, mesure à partir du début de malaxage, est appelé « temps de prise ». « Le temps de fin de prise » est celui où l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5mm.

II.2.1.3.4. Matériel utilisé

- L'expérience doit être menée dans une salle climatisée où la température est maintenue à $20\text{C}^{\circ} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ et l'humidité relative est supérieure à 60%.
- Les équipements nécessaires comprennent un malaxeur standardise conforme à la norme EN 196-1, équipé d'un bol de 5 litres et d'une pale de mélange à deux vitesses différentes (140 et 285 tr/min).
- Un appareil de Vicat avec une aiguille de 1,13mm.
- Un moule tronconique de 40 mm de hauteur et de 70 à 80 mm de diamètre, accompagné d'une plaque en verre pour supporter le moule.
- Une balance précise à 4 g près.
- Une truelle.
- Un chronomètre

II.2.1.3.5. Mode opératoire

La méthode d'essai est définie par la norme EN 196-3. Elle consiste à préparer une pâte de ciment de consistance standard, en mélangeant 400g de ciment avec 100g d'eau en 5 à 10 seconde (pour un rapport E/C=0,25). Une fois mélangé, la pâte est rapidement placée rapidement dans un moule tronconique sur une plaque en verre, sans compression excessive. Tout excès de pate est enlevé à l'aide une truelle, puis le moule est placé sur une plateforme de l'appareil de Vicat.

Ensuite, une aiguille est lentement enfoncée jusqu'à la surface de l'échantillon, puis relâchée sans vitesse initiale.

Après 30 secondes, la distance « d » entre l'extrémité de l'aiguille et la base est mesurée et enregistrée avec l'heure.

Cette procédure est répétée à des intervalles appropriés. Après chaque essai, l'aiguille doit être remontée et nettoyée.



Figure II.5 : Appareil de Vicat

Les résultats de cet essai sont représentés dans ce tableau :

Tableau II.3: Essai de temps de prise et de fin de prise

D (mm)	Début de prise	Fins de prise
6	2 h13min 42s	4h 28min44s

II.2.1.4. Essai de consistance de la pâte de ciment

II.2.1.4.1. Principe de l'essai

L'objectif est de déterminer la quantité d'eau à mélanger de manière constante avec une masse de ciment, de sorte que la sonde de l'appareil de Vicat ne s'enfonce que de 6 ± 1 mm dans le moule [25].

II.2.1.4.2. But de l'essai

L'essai de consistance vise à trouver la quantité optimale d'eau pour mélanger un liant pour pénétration d'une sonde normalisée.

II.2.1.4.3. Matériel utilisé

L'équipement de Vicat comprend une sonde cylindrique d'un diamètre de $(10 \pm 0,05)$ mm et d'une longueur effective de (50 ± 1) mm, Le moule Vicat utilisé pour contenir la pâte pendant l'essai doit être en caoutchouc dur, ayant une forme tronconique avec une profondeur de $(40 \pm 0,2)$ mm et des diamètres inférieur et supérieur de $(70 \pm 0,5)$ mm et $(80 \pm 0,5)$ mm respectivement. Ce cône tronqué doit reposer sur une plaque en verre d'au moins 2,5 mm d'épaisseur.

II.2.1.4.4. Mode opératoire

Avant de démarrer l'essai, il est nécessaire d'humidifier et de vider le godet et le batteur du malaxeur pour obtenir des résultats précis, ensuite, on suit les étapes suivantes :

- Mesurer 500g de ciment et le verser dans le godet du malaxeur.
- Ajouter la quantité d'eau calculée dans la cuve du malaxeur (en commençant avec un rapport de masse E/C = 0,21).
- Régler la vitesse à 140 tr/min (vitesse lente).
- Mettre en marche le malaxeur.
- Mélanger la pâte pendant 90 secondes à vitesse lente.
- Arrêter pendant 15 secondes, retirer le godet et replacer toute la pâte adhérente à la cuve au-delà de la zone de malaxage à l'aide d'une spatule.
- Remettre en place le godet et malaxer pendant 90 secondes à vitesse rapide.
- Si la valeur de (d) n'atteint pas les spécifications requises (c'est-à-dire, $d > 7\text{mm}$ ou $d < 5\text{mm}$), il est nécessaire de recommencer l'essai avec un rapport E/C différent jusqu'à obtenir la consistance désirée.
- Déterminer la consistance de la pâte de ciment en fonction du rapport E/C.



Figure II.6 : Appareil de Vicat muni de sa sonde de consistance

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.4: Essai de consistance

D (mm)	Début de prise	Fins de prise	Pcp g/cm ³
6	2 h13min 42s	4h 28min44s	3,33

II.2.1.5. Détermination de la stabilité par l'essai de Chatelier ou essai d'expansion (EN 196-3)

II.2.1.5.1. Définition

Il s'agit d'évaluer la réaction d'un mortier fabriqué avec un liant hydraulique face à des agents pouvant causer son expansion [26].

II.2.1.5.2. Objet de l'essai

Les tests d'expansion, qu'ils soient réalisés à froid ou à chaud, visent à évaluer la résistance des liants hydrauliques à l'expansion. L'objectif est de mesurer l'accroissement de volume induit par la réaction d'hydratation, notamment dû aux oxydes de calcium ou de magnésium présents dans le ciment, ainsi qu'à la teneur en sulfate.

II.2.1.5.3. Principe de l'essai

La réaction d'hydratation est accélérée par un traitement thermique de la pâte afin de détecter rapidement toute expansion éventuelle du ciment.

II.2.1.5.4. Equipement nécessaire

- Un malaxeur.
- Des moules en laiton élastique d'une épaisseur de 0,5 mm, équipés de deux aiguilles soudées de part et d'autre. Lorsque le matériau placé dans le moule gonfle (augmentation du volume de la pâte), les extrémités des aiguilles s'écartent. Ces moules sont appelés "appareil Le Chatelier".
- Un bain d'eau équipé d'un système de chauffage permettant d'immerger les éprouvettes et d'augmenter la température de l'eau de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à ébullition en 30 minutes ± 5 minutes.
- Une salle ou une armoire humide maintenue à une température de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ et présentant une humidité relative d'au moins 98%.

II.2.1.5.5. Conduite de l'essai

Le protocole est défini dans la norme EN 196-3. Tout d'abord, il faut préparer une pâte de consistance standard à l'aide d'un malaxeur standardisé, où le rapport ciment/eau est de 200g/50g, donnant ainsi un rapport E/C de 0,25.

Cette pâte est ensuite répartie dans trois moules, posés sur une plaque en verre et recouverts d'une autre plaque en verre. Les moules sont conservés pendant 24 heures dans une salle ou une armoire à humidité contrôlée. Après ce laps de temps, l'écartement **A** entre les points des aiguilles est mesuré.

Une fois pris, les moules sont placés dans un bain d'eau à 20°C, qui est porté à ébullition en 30 minutes ± 5 minutes. Le bain est maintenu à température d'ébullition pendant 3 heures ± 5 minutes. Après cette étape, l'écartement **B** entre les points des aiguilles est mesuré.



Figure II.7 : Echantillons de ciment testé en expansion le Chatelier.

Une fois refroidis à la température ambiante (20°C), l'écartement des aiguilles **C** est mesuré. La stabilité est caractérisée par la valeur de **C-A** exprimée en mm, avec une précision de 0,5 mm : stabilité (ST) = (C-A) $\pm 0,5$ mm La valeur moyenne des gonflements des trois moules est prise en compte.

Selon la norme, le gonflement ou l'expansion doit être inférieur à 10 mm pour les différentes classes de ciments. Les résultats sont comme suites :

Tableau II.5: Résultats d'essai le Chatelier ou expansion

	Moule 1	Moule 2	Moule 3
A	3.73	3.26	3.73
B	3.84	3.38	3.84
C	4.55	3.38	4.55
St (C - A)	0,82	0,12	0,82

St = 0.59 < 10 mm Les échantillon de ciment testés montrent une expansion moyenne de 0,59 mm, ce qui inferieur à la limite de 10 mm Par conséquent, les ciments testés sont conformes aux normes de stabilité.

II.2.2. Le sable

Le sable utilisé dans notre étude expérimentale est un sable de carrière d'El M'Hir, wilaya Bordj-Bou-Argeridj.

Les caractéristiques chimiques de ce sable sont données par le tableau ci-dessous :

Tableau II.6: Composition chimique du sable de carrière utilisé

Éléments	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	Mg O	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₃	Ti O ₂	PF	Cl	SO ₃
Teneurs (%)	1.7 3	0.29	0.24	53. 57	0.9 6	0.1 4	0.0 5	0.0 8	0.0 5	0.0 2	42. 88	0.0 08	<0. 05



Figure II.8 : Le sable de carrière utilisé

II.2.2.1. Masse volumique en vrac et la porosité intergranulaire

II.2.2.1.1. But de l'essai

L'essai consiste à mesurer la masse volumique en vrac et la porosité inter granulaire selon la norme NF EN1097-3[26].

II.2.2.1.2. Préparation des éprouvettes

Trois échantillons doivent être prélevés conformément à la norme EN 932-2. Les granulats doivent être séchés à une température de 110 ± 5 C° jusqu'à ce que leur masse atteigne une constante requise.

Tableau II.7: Capacité minimale du conteneur en fonction de la granularité

Limite supérieur de la classe granulaire (mm)	Capacité (L)	Limite supérieur de la classe granulaire (mm)	Capacité (L)
Jusqu'à 4	1,0	Jusqu'à 315	10
Jusqu'à 16	5,0	Jusqu'à 63	20

II.2.2.1.3. Mode opératoire

- On pèse les conteneurs vides secs et propres : (**m1**)
- On place le conteneur sur une surface horizontale et le remplir avec une pelle jusqu'à ce qu'il dépasse au maximum 50 mm au-dessus du conteneur. On enlève avec précaution tout excès à la surface du conteneur en veillant à ce que les granulats soient étalés uniformément pour éviter toute ségrégation. On Utilise une règle pour niveler la surface des granulats, en évitant tout compactage en surface.
- On pèse le conteneur rempli et on enregistre sa masse à 0,1% près (**m2**).

03 essais sont effectués selon cette procédure.



Figure II.9 : Le conteneur

Les résultats obtenus sont donnés par le tableau suivant :

Tableau II.8: Résultats des masses volumiques en vrac et la porosité inter granulaire du sable

Essai N°	01	02	03
Masse de conteneur vide m_1 (kg)	1276	1276	1276
Masse de conteneur rempli m_2 (kg)	3071	3069	3076
Capacité du conteneur V (L)	1036,19	1036,19	1036,19
Masse volumique en vrac : $\rho_p = \frac{m_2 - m_1}{v}$	1,73	1,73	1,72
Porosité intergranulaire: $v = \frac{\rho_a - \rho_p}{\rho_a}$	0,362	0,363	0,364
ρ_p Moy	1,726		
v Moy	0,363		

II.2.2.2. Analyse granulométrique par tamisage

II.2.2.2.1. But de l'essai

L'objectif de l'analyse granulométrique, conforme à la norme NF EN 933-1 [23], est de déterminer la taille et les proportions des différentes familles de grains présentés dans l'échantillon [26].

II.2.2.2.2. Principe de l'essai

Cet essai consiste au tri et à la classification des grains selon leur diamètre à l'aide de tamis superposés, ayant des ouvertures de dimensions décroissantes de haut en bas. L'échantillon est déposé sur le tamis supérieur et les grains sont triés en faisant vibrer la colonne de tamis.

Tableau II.9: Tamis utilisés pour l'analyse granulométrique du sable.

Fraction	Tamis utilisés (mm)
0/4	6,3 - 4 - 2- 1- 0,5 - 0,315- 0,25 - 0,125 - 0,063

II.2.2.2.3. Mode Opérateur

- On procède au séchage l'échantillon d'essai à une température de (110 ± 5) C° jusqu'à obtention d'une masse consistante M1 ;

- On effectue ensuite un tamisage par lavage afin de séparer les éléments de dimension inférieur à 0,063 mm Au cours de lavage, protéger le tamis 0,063 mm par un ou deux tamis de 1 mm ou 2 mm).
- On continue le lavage jusqu'à ce que l'eau traversant le tamis 0,063 mm soit claire.
- On sèche l'échantillon lavé à (110 ± 5) C° ;
- On laisse refroidir, puis peser le jusqu'à obtenir une masse M2.
- On verse le matériau séché sur une série de tamis, en veillant à ce que les ouvertures des tamis soient de plus en plus grandes de bas en haut.
- On effectue la pesée du matériau retenu par le tamis à mailles les plus larges, soit R1.
- On pèse le matériau retenu par le tamis immédiatement inférieur, soit R2 la somme de R1+R2 représente le refus cumulé sur le deuxième tamis.
- On répète cette opération pour tous les tamis, afin de déterminer les masses des refus cumulés Rn.
- On doit s'assurer que la somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis, ainsi que le matériau retenu par le tamis de fond, correspondent au poids de l'échantillon initial introduit dans la colonne. La perte éventuelle de matériau pendant le tamisage ne doit pas excéder plus de 1% du poids totale de l'échantillon.
- On calcul par la suite le pourcentage de fines (f) passant à travers le tamis de 0,063 mm



Figure II.10 : La série des tamis utilisée

Les résultats sont présentés dans le tableau et la figure ci-dessous :

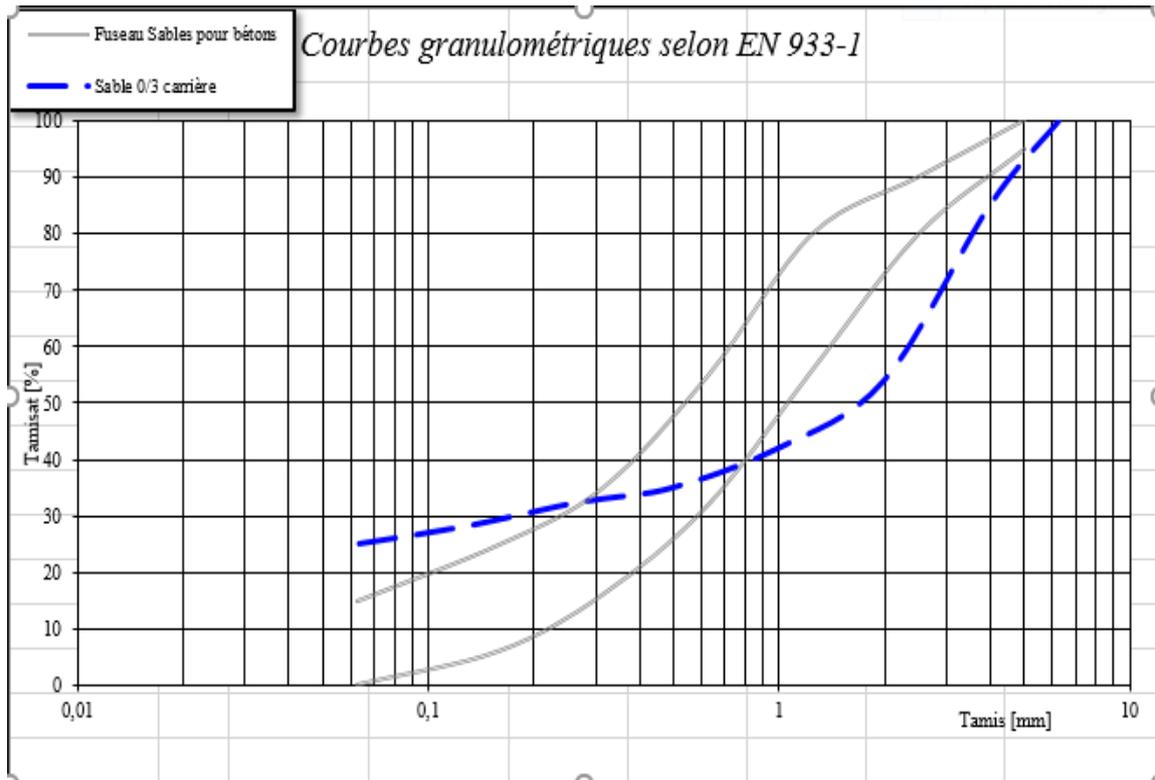


Figure II.11 : Courbe granulométrique du sable.

Tableau II.10: L'analyse granulométrique de sable

Masse sèche	Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage des refus cumulé (Rn/M1) x100	Pourcentage cumulé de tamisât 100-(Rn/M1x100)
M1=1165g	6,3	0	0	0
	4	173	14,84	85,16
	2	537	46,09	53,91
Masse sèche après lavage M2=960g	1	677	58,11	41,89
	0,5	757	64,97	35,03
	0,315	780	66,95	33,05
	0,25	792	67,98	32,02
	0,125	834	71,58	28,42
	0,063	870	74,67	25,33

II.2.2.3. La masse volumique réelle et le coefficient d'absorption d'eau du sable par la méthode du pycnomètre (0,063/4 mm)

II.2.2.3.1. But de l'essai

L'essai consiste à calculer la masse volumique réelle et la détermination du coefficient d'absorption d'eau des sables selon la norme NF EN 1097-6[26].

II.2.2.3.2. Mode opératoire

- On doit s'assurer que la masse de l'échantillon de 0,063/4 mm ne soit pas inférieure à 300g.
- On lave l'échantillon sur un tamis de 4 mm et un tamis de 0,063 mm pour éliminer les grains les plus fins ;
- On procède au rejet des grains refusés par le tamis de 4mm ;
- On plonge l'échantillon préparé dans le pycnomètre rempli d'eau à une température de (22 ± 3) C°, éliminez l'air occlus en faisant tourner et osciller doucement le pycnomètre, puis maintenez la température de (22 ± 3) C° pendant $(24\pm 0,5)$ h) on retire ensuite le pycnomètre du bain d'eau tout en éliminant tout reste d'air occlus ;
- On remplit le pycnomètre avec de l'eau jusqu'au débordement et on place le couvercle sans piège d'air,
- On effectue un séchage de l'extérieur du pycnomètre, on pèse (M2), et on note la température de l'eau ;
- On laisse décanter l'eau couvrant la prise d'essai, vider le pycnomètre sur un plateau ;
- On remplit à nouveau le pycnomètre avec de l'eau et remettre le couvercle ;
- On sèche l'extérieur du pycnomètre, pesez-le (M3), on note la température de l'eau, la différence de température entre les mesures M2 et M3 ne doit pas dépasser 2 C° ;
- On étale l'échantillon imbibée pour obtenir une couche régulière sur le plateau ;
- On expose les granulats à un faible courant d'air chaud pour évaporer l'humidité en surface ;
- On laisse l'échantillon refroidir à la température ambiante tout en le remuant ;
- Pour vérifier le séchage de surface, on place le moule tronconique sur le plateau avec le plus grand diamètre vers le bas, tout en remplissant sans tassement avec une partie de l'échantillon en cours de séchage, et tassez la surface 25 fois avec un pilon ;
- On soulève doucement le moule, si le cône de granulat ne s'effondre pas, on continue le séchage et on recommence l'essai jusqu'à ce que le cône s'effondre une fois le moule retiré ;
- On pèse l'échantillon saturée et séché en surface (M1) ;

- On procède au séchage des granulats dans une étuve ventilée à une température de (110 ± 5) °C Jusqu'à obtention d'une masse constante, laissez refroidir à température ambiante puis peser M4.



Figure II.12 : Etapes de calcul de la masse volumique réelle et la détermination de coefficient d'absorption d'eau du sable selon la norme NF EN 1097-6.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II.11: Masse volumique réelle et coefficient d'absorption d'eau des sables

Masse volumique de l'eau à la température enregistrée: ρ (t/m ³) 23°	0,9975
Masse dans l'air des granulats saturé et superficiellement secs M ₁ (g)	661,67
Masse de pycnomètre contenant l'échantillon des granulats saturés M ₂ (g)	1227,95
Masse de pycnomètre rempli d'eau uniquement M ₃ (g)	808,44
Masse dans l'aire de la prise d'essai séchée à l'étuve M ₄ (g)	659,23
Masse volumique absolue : $\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$ (t/m ³)	2,744
Masse volumique réelle séchée à l'étuve: $\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$ (t/m ³)	2,716
Masse volumique réelle saturée surface sèche: $\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$ (t/m ³)	2,726
Coefficient d'absorption d'eau : $WA_{24} = \frac{100 * (M_1 - M_4)}{M_4} \%$	0,37
Vérification : $\rho_{ssd} = \rho_{rd} + \rho_w (1 - \frac{\rho_{rd}}{\rho_a})$	2,726

II.2.2.4. Evaluation des fines du sable

II.3. C-1/ Module de finesse

La finesse du sable est évaluée en calculant son module de finesse à partir de l'analyse granulométrique [26].

Un module plus bas indique une richesse en éléments fins. Il est déterminé en prenant le 1/100 de la somme des refus, exprimée en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante : (6,3 - 4 - 2- 0,5 - 0,25-0,125), le module de finesse tel que $1,8 < MF < 3,2$ suivant la norme EN 12-620 on aura le module de finesse :

$$MF = \frac{14,84 + 46,09 + 58,11 + 64,97 + 71,58 + 67,98}{100} = 3,23$$

Donc c'est un sable grossier.

II.3.1.1. Equivalent de sable

Cet essai consiste à déterminer la propreté du sable selon la norme EN 932-2.

II.3.1.1.1. Mode opératoire

- On réduit l'échantillon de laboratoire conformément à la norme EN 932-2 afin d'obtenir deux sous échantillons pour déterminer des teneurs en eau et en fines ;
- A partir du premier sous échantillon, On prélève deux prises d'essai pour déterminer les teneurs en eau et en fines ;
- On procède au séchage de la première prise d'essai dans une étuve à $(110 \pm 5) \text{ c}^\circ$, afin de déterminer et d'enregistrer la teneur en eau w .
- On pèse la masse de la seconde prise d'essai $M1$, puis on la lave sur un tamis $0,063 \text{ mm}$, et on sèche les particules et les peser par la suite, et on enregistre $M2$.
- On détermine la teneur en fines f selon la relation indiquée dans le tableau ;
- Si la teneur en fines de la fraction $0/2 \text{ mm}$ dépasse 10% , on utilise les particules lavées retenues sur le tamis de $0,063 \text{ mm}$ comme un sable correcteur,
- On réduit le deuxième sous échantillon pour obtenir deux éprouvettes de masse Mt ,
- On remplit les éprouvettes avec la solution vantée jusqu'au premier trait,
- On ajoute la quantité du sable Mt , en veillent à éliminer les bulles d'air, puis laissez reposer pendant 10 min ,
- On procède à la fermeture des éprouvettes et les avec un mouvement rectiligne et horizontal de 20 cm d'amplitude, 90 aller-retour en 30s ,
- On effectue un lavage et un remplissage des éprouvettes avec le tube laveur en rinçant le bouchon au-dessus de l'éprouvette, puis en faisant descendre et remontent lentement le tube dans la masse de sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure,
- On retire le tube laveur lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur, puis on laisse reposer pendant 20 min ,
- On mesure la hauteur du flocculat pour chaque éprouvettes $h1$ au millimètre près,
- On détermine la hauteur des sédiments $h2$ au millimètre près en mesurant la distance entre la face inférieure de la tête du piston et la face supérieure du manchon.

Tableau II.12: Mesure de l'équivalent de sable

Teneur en eau W%	0,75	
Masse humide de la 2 ^{ème} prise d'essai M ₁ (g)	791,57	
Masse de la 2 ^{ème} prise d'essai après lavage à 0,063mm M ₂	616,24	
Teneur en fines $f=100 - \frac{M_2(100+w)}{M_1}$	21,565	
Masse de chaque éprouvette Mt si $f \leq 10\%$	$M_T = \frac{120(100 - w)}{100}$	
Masse de chaque éprouvette Mt si $f > 10\%$	Mt=M ₃ +M ₄ 120,41	
Masse granulat humide 2 ^{ème} sous échantillon	$M_3 = \frac{1200}{f} (1 + \frac{w}{100})$ 56,06	
Masse du sable correcteur sec	$M_4 = 120 - \frac{1200}{f}$ 64,355	
Numéro de l'éprouvette	Première éprouvette	Deuxième éprouvette
Masse de l'éprouvette Mt (g)	120,41	120,41
Hauteur du floculat h1 (mm)	10,5	10,9
Hauteur du sédiment h2 (mm)	7,8	8
Rapport (h2/h1) *100	74,28	73,39
Equivalent de sable (%)	73,83	

II.3.1.2. Essai au bleu de méthylène

II.3.1.2.1. But de l'essai

L'essai consiste à déterminer la quantité d'argile contenue dans les fines de sable selon la norme EN 933-9[26].

II.3.1.2.2. Mode opératoire

- On réduit les échantillons de laboratoire conformément à la norme EN933-2 pour obtenir deux sous échantillons, soit 200g minimum de la fraction 0/2 mm
- On sèche le premier sous échantillon à $110 \pm 5^\circ\text{C}$, pour déterminer sa teneur en eau ;
- On pèse une masse M0 du deuxième sous échantillon, soit plus 200gr pour la fraction 0/2 mm
- On détermine la masse M1 ;
- On place la masse M1 dans un bécher contenant 500 ± 5 ml d'eau déminéralisée ;

- On agite l'ensemble (eau +M1) à 600tr/min pendant 5min ;
- On introduit dans le bécher une dose de 5 ml de solution de colorant et on agite à 400 ± 40 tr/min pendant au moins une minute, puis on effectue un test à la tache (prélever à l'aide d'une baguette de verre une goutte en suspension et déposez-la sur le papier filtre pour obtenir un dépôt d'un diamètre 8 à 12 mm) ;
- Si l'auréole n'apparait pas après l'ajout des 5 ml de solution, on effectue des ajouts de 5 ml tout en agitant pendant 1min, puis on fait des tests à la tache jusqu'à l'apparition de l'auréole ; on continue l'agitation sans ajout de solution et on effectue des tests à la tache toutes les minutes pendant 5 minutes ;
- Si l'auréole disparaît après la cinquième tache, on ajoute 2 ml de colorant et on effectue le test à la tache, si l'auréole disparaît après la quatrième tache, on ajoute 5 ml de colorant et on fait le test à la tache ;
- On enregistre le volume total de solution de colorant V1 ajouté pour obtenir une auréole visible pendant 5 mn à 1 ml près.

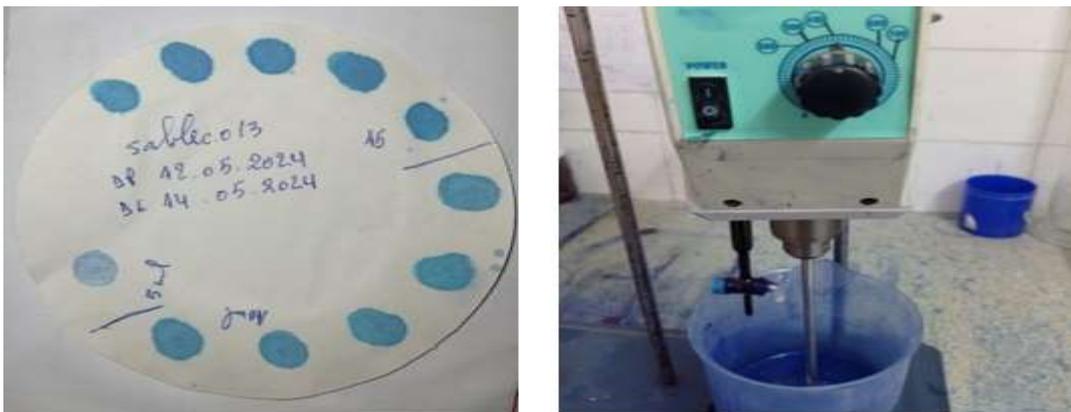


Figure II.13 : Essai au bleu de méthylène

Tableau II.13: Résultats de l'essai au bleu de méthylène.

Teneur en eau W (%)	0,75
Masse initiale de la prise d'essai M_0 (g)	200
Volume du bleu introduit V_1 (cm) ³	15
Valeur au bleu de la fraction 0/2 des sables et des graves $MB = \frac{v_1 * 10}{M_1}$ (g/kg)	0,75
Pourcentage en masse des passant à 2mm de la fraction 0/D (C) %	44
Valeur de bleu de méthylène: $MB_{0/D} = 0,01 * C * MB$	0,33

II.3.1.3. Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux

II.3.1.3.1. But de l'essai

C'est de déterminer la teneur en eau pondérale des matériaux selon la norme NF P 94-050[26].

II.3.1.3.2. Mode opératoire

-La masse (m) du matériau pour déterminer sa teneur en eau doit être choisie en fonction de la taille de ses éléments

-Une masse déterminée de matériau est placée dans un récipient propre et sec dont la masse est connue (m1).

-Le récipient contenant l'échantillon est pesé immédiatement ($m_2 = m + m_1$), puis placé dans une étuve à une température de 105°C pour les matériaux non sensibles à la chaleur et à 50°C pour les matériaux sensibles à la chaleur. Deux pesées distinctes, séparées par un intervalle de temps, sont effectuées sur l'échantillon après chaque période d'étuvage. L'évaporation de l'eau est considérée comme complète lorsque la masse (md) de l'échantillon ne varie pas de plus de 2/1000 entre ces deux pesées.

- La durée minimale de l'intervalle de temps (t) est de 4 heures pour un étuvage à 105°C et de 8 heures pour un étuvage à 50°C. Ainsi, la durée totale du processus de séchage peut varier de quelques heures à plusieurs jours.



Figure II.14 : Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux

Tableau II.14: Détermination de la teneur en eau des matériaux

Essai	Prise 01	Prise 02
Numéro de la tare	R	L
m_1 =masse de tare (g)	238,77	244,03
m_2 = (échantillon humide +tare) (g)	763,78	615,96
m_h = m_2 - m_1 (g)	525,01	371,93
m_3 = (échantillon sec + tare) (g)	759,94	613,08
$m_{d\ sec}$ = m_3 - m_1 (g)	525,17	369,05
m_w = m_2 - m_3 (g)	3,84	2,88
Teneur en eau $W = \frac{m_w}{m_d} * 100$ (%)	0,73	0,78
La moyenne %	0,75	

II.3.1.3.3. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée selon la norme NF EN 1008 [7] dans la fabrication de nos mortiers est l'eau de robinet du laboratoire de matériau de construction du département de génie civil de l'université de Bejaia.

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les diverses caractéristiques des composants des mortiers à étudier (Sable, ciment et eau), le chapitre suivant fera objet de la confection et formulations.

Chapitre III
Essais sur mortiers

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les différents tests expérimentaux effectués sur les mortiers élaborés, tout en détaillant leurs principes, leurs procédures et objectifs. Egalement, On étudie les différents paramètres physico-chimiques de ces mortiers, afin de suivre leur dégradation dans différents milieux agressifs.

III.2. Les mortiers

III.2.1. Fabrication de mortiers

La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet assai. Le mortier normal se compose en masse : d'une partie du ciment, de trois parties de sable et d'une demi partie d'eau ($E/C=0,5$) [26].

La masse des constituants nécessaires aux essais est déterminée en fonction de l'éprouvette (ou des éprouvettes) à préparer ; elle est pesée avec une précision de 0,5 pourcent (0,5 %).

III.2.2. Dosage des constituants

Dans le cas de la préparation de trois éprouvettes (4*4*16) cm, les quantités sont respectivement les suivantes [26] :

- Sable : 1350g \pm 5g
- Ciment : 450g \pm 5g
- L'eau : 225g \pm 1g

Le rapport Eau / ciment (E/C) de nos mortiers est de 0,50.

III.2.3. Malaxage de mortier

Le mélange doit être effectuée au moyen d'un malaxeur. Ces mortiers sont malaxés pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme, on a 4 étapes constituent le mode de fabrication de mortier [26] :

- Introduire l'eau en premier dans la cuve du malaxeur, y verser ensuite le ciment, mettre le malaxeur en marche à vitesse lente.
- Après 30s de malaxage, introduire régulièrement le sable pendant les 30s suivants. Mettre alors le malaxeur à vitesse rapide et continuer le malaxage pendant 30s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30s pendant les 15 premières secondes enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60s.

Tableau III.1: Les étapes de malaxage du mortier normal.

Opération	Introduction de l'eau et du ciment		Introduction du sable		Raclage de la cuve		
Durée		30s	30s	30s	15s	1min15s	60s
Etat du malaxeur	Arrêt	Vitesse lente		Vitesse rapide	Arrêt		Vitesse rapide

III.2.4. Matérielles utilisées

- Malaxeur de 5 litres de contenance et d'une pale de malaxage pouvant tourner à 2 vitesses (lente et rapide) [26].



Figure III.1 : Malaxeur normalisé

- **Moules de remplissage :** [26]

Ce sont des moules prismatiques de (4*4*16) cm



Figure III.2 : Moules (4*4*16) cm

III.2.5. Moulage

Après avoir préparé les mortiers, les éprouvettes sont moulées au moyen de l'appareil à chocs. On pèse d'abord le moule à vide et on le remplit **figure III-3**, le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux fois **figure III-4** et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois avec une table à choc. Après le moule est arasé et pesé et entreposé dans la salle[26].



Figure III.3 : Les pesées des moules vides et pleins



Figure III.4 : La mise en place des mortiers confectionnés.

Le tableau suivant représente les poids des prismes à vides et pleins :

Tableau III.2 : Les poids des prismes vides et pleins

N ° de prisme	Prisme 1	Prisme 2	Prisme 3	Prisme 4	Prisme 5	Prisme 6	Prisme 11
Poids vides (g)	10549	10682	10594	7294	7264	10670	10674
Poids plein (g)	12548	12648	12602	8422	9270	12634	12584

III.2.6. Démoulage des éprouvettes

Le moule de mortier est marqué et conservé dans une salle humide à une température de $20^{\circ} \pm 1^{\circ}C$ et une humidité relative d'au moins de 90% jusqu'au moment du démoulage. Chaque moule est retiré de la salle de conservation à l'heure prévue pour son démoulage, qui doit avoir lieu entre 20 et 24 heures après la mise en moule, et ce démoulage doit être réalisé avec précaution[26].



Figure III.5 : Démoulage des éprouvettes

Tableau suivant représente les poids des échantillons après démoulage : après 24 heures.

Tableau III.3 : Les poids des échantillons après démoulage

N ° de prisme	Prisme 1	Prisme 2	Prisme 3	Prisme 4	Prisme 5	Prisme 6	Prisme 11
Poids (g)	641	637	628	616	612	635	628

III.2.7. Conservation des éprouvettes

Après avoir été retirées des moules, les éprouvettes sont pesées et marquées. Elles sont ensuite immergées complètement dans l'eau à une température de $20\text{C}^{\circ} \pm 1\text{C}^{\circ}$ jusqu'au moment de l'essai. Elles doivent être retirées de l'eau moins de 15 minutes avant les essais et essuyées avec un chiffon propre avant d'être testées [26].



Figure III.6 : Les éprouvettes conservées dans l'eau

Les résultats des pesées sont représentés dans les tableaux suivants :

Le tableau suivant représente Les poids des échantillons après deux jours dans l'eau :

Tableau III.4 : Les poids des échantillons après deux jours dans l'eau

N ° de prisme	Prisme 1	Prisme 2	Prisme 3	Prisme 4	Prisme 5	Prisme 6	Prisme 11
Poids (g)	658	647	641	626	617	646	634

Le tableau suivant représente Les poids des échantillons après 9 jours dans l'eau

Tableau III.5 : Les poids des échantillons après 9 jours dans l'eau

N ° de prisme	Prisme 1	Prisme 2	Prisme 3	Prisme 4	Prisme 5	Prisme 6	Prisme 11
Poids (g)	659	652	644	628	624	644	640

Le tableau suivant représente Les poids des échantillons après 14 jours dans l'eau :

Tableau III. 6: les poids des échantillons apres 14 jours

N ° de prisme	Prisme 1	Prisme 2	Prisme 3	Prisme 4	Prisme 5	Prisme 6	Prisme 11
Poids (g)	659	652	640	629	623	646	642

III.2.8. Mesure de temps de propagation et les démontions des échantillons :

Après avoir pesés les échantillons, on mesure avec un pied à coulisse les démontions de ses échantillons, puis le temps de propagation des ondes en utilisant l'ultrason après à l'aide un on mesure le temps de propagation figure III- 25

Tableau représente Les poids, les distances et le temps de propagations des échantillons

Tableau III.7: variation des poids, des démontions et le temps de propagations des échantillons et la résistance a la compression Rc

Nombre moule	de	Nom de prisme	Poids (g)	Dimension (cm)	Temps (µs)	Rc (MPa)
Prisme 1		1a	640	16/4	35,9	57,62
		1b	672	16/4	35,6	60,52
		1c	668	16/4	35,5	61,65
Prisme 2		2a	652	16/4	34,0	82,58
		2b	658	16/4	35,1	66,48
		2c	652	16,3/4	34,5	84,89
Prisme 3		3a	642	16/4	36,0	56,23
		3b	640	16/4	34,7	71,83
		3c	646	16/4	34,9	69,08
Prisme 4		4a	634	16/4	34,7	71,82
		4b	630	16/4	35,8	58,32
		4c	626	16/4	36,1	57,79
		5a	620	15,9/3,9	35,4	60,26

Prisme 5	5b	634	15,8/3,7	34,1	74,23
	5c	616	15,9/3,9	34,4	73,01
Prisme 6	6a	652	15,9/3,9	36,0	53,98
	6b	646	16/3,8	34,5	74,70
	6c	644	15,9/3,9	35,1	63,75
Prisme 11	11a	640	16/4	33,5	91,56
	11b	642	16/4	34,0	82,58
	11c	630	16/4	33,5	91,56

III.3. Les attaques chimiques sur les mortiers

Les attaques des sulfates de sodium, calcium et magnésium ainsi que des acides chlorhydrique et sulfurique peuvent se référer à différentes réactions chimiques ou processus corrosifs :

- **Sulfates de sodium, calcium et magnésium** : Ces composés peuvent réagir avec certains matériaux métalliques ou polymériques, provoquant une dégradation ou une corrosion, souvent sous forme de dépôts cristallins ou de dommages structurels.
- **Acide chlorhydrique (HCL)** : C'est un acide fort capable de corroder certains métaux et de dégrader des matériaux alcalins. Il peut provoquer des dommages importants aux métaux non protégés, en particulier à l'aluminium, au zinc et au fer.
- **Acide sulfurique (H₂SO₄)** : C'est un acide fort et très corrosif qui peut réagir avec une grande variété de matériaux, provoquant des dommages sévères. Il est connu pour sa capacité à attaquer les métaux, les minéraux et les matériaux organiques.

Ces attaques peuvent entraîner des effets variés selon les substances impliquées, allant de la corrosion superficielle à des dommages structurels graves, en fonction des conditions environnementales et de la concentration des substances chimiques impliquées.

Les attaques chimiques sur le béton et les mortiers résultent souvent dès l'exposition à des solutions agressives telles que les acides, les sels solubles et d'autres composés corrosifs. Par exemple, l'exposition à des acides forts comme l'acide chlorhydrique ou sulfurique peut provoquer une dissolution des composants alcalins du ciment, affaiblissant ainsi la structure du béton et entraînant des fissures et des dégradations importantes. De même, les sels solubles comme les sulfates de sodium, calcium et magnésium peuvent réagir avec les composants du béton, formant des cristaux expansifs à l'intérieur des pores, ce qui entraîne une pression interne et des dégâts par soulèvement et éclatement.

Ces attaques chimiques sont souvent exacerbées dans des environnements humides ou les cycles de gel-dégel peuvent amplifier les effets destructeurs en raison de l'accumulation d'eau dans les pores du béton.

Les agressions chimiques que peuvent rencontrer les bétons et mortiers, c'est-à-dire les matériaux à matrice cimentaires sont très variés.

Parmi de multitude causes de dégradation de ces matériaux cimentaires, on trouve les attaques par les sulfates, les attaques par les chlorures, les attaques par les acides, etc.

Après 28 jours de conservation des mortiers dans l'eau à $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; ces derniers sont ensuite immergés dans les différentes solutions agressives.

Ci-dessous les différents matériels et réactifs nécessaires afin de préparer les solutions agressives :

- Un bécher
- Une balance
- Une plaque chauffante
- Un barreau magnétique
- Ballon
- Pissette
- Agitateur en verre
- ✓ Les sulfates de sodium (Na_2SO_4) ;
- ✓ Les sulfates de magnésium (MgSO_4) ;
- ✓ Les sulfates de calcium (CaSO_4) ;
- ✓ L'acide chlorhydrique (HCL) ;
- ✓ L'acide sulfurique (H_2SO_4).

III.3.1. Attaques sulfatiques (ASTM C 1012-89)

L'attaque sulfatique externe se produit lorsqu'un matériau cimentaire se trouve en contact direct avec une source de sulfate, comme dans les sols, les eaux souterraines, les eaux marines, etc[34].

La détérioration des mortiers causée par les sulfates se produit à travers le processus de cristallisation d'éléments étrangers, se déroulant en deux étapes :

- Formation du gypse secondaire
- Formation de l'ettringite secondaire [29]

Dans notre étude, nous avons procédé aux trois (03) différentes attaques sulfatiques, qui sont :

III.3.1.1. Attaque par les sulfates de sodium Na_2SO_4

L'objet de ce test est de suivre le comportement des éprouvettes de mortier conservé dans une solution de sulfate de sodium, et de caractériser le mécanisme de dégradation dans cette solution.

On a préparé une solution agressive de 5% de Na_2SO_4 [27].



Figure III.7 : Préparation de la solution de Sulfate de sodium

- **Conservation des éprouvettes :**

Après 28 jours de conservation des mortiers dans l'eau $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$; ces derniers sont ensuite immergés dans des solutions de Na_2SO_4 .



Figure III.8 : Conservations des éprouvettes dans la solution de sulfates de sodium

III.3.1.2. Attaque par les sulfates de magnésium $MgSO_4$

On a préparé une solution agressive de 5% de $MgSO_4$ [27]. La préparation de la solution de sulfates de magnésium $MgSO_4$ et la conservation des éprouvettes sont les mêmes que celles de l'attaque par des sulfates de sodium.



Figure III.9 : Préparation de la solution de sulfates de magnésium

Après 28 jours de cure des mortiers dans l'eau $20^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$; ces derniers sont ensuite immergés dans des solutions de $MgSO_4$.



Figure III.10 : Conservations des éprouvettes dans la solution de sulfates de magnésium

III.3.1.3. Attaque par les sulfates de calcium($CaSO_4$)

On a préparé une solution agressive de 5% de $CaSO_4$ [27]. La préparation de cette solution et la conservation des éprouvettes sont les mêmes que celles des attaques sulfatiques précédentes.



Figure III.11 : Etapes de préparation de la solution de 5% de sulfates de calcium

Après 28 jours de conservation des mortiers dans l'eau $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; ces derniers sont ensuite immergés dans cette solution de 5% de CaSO_4 .

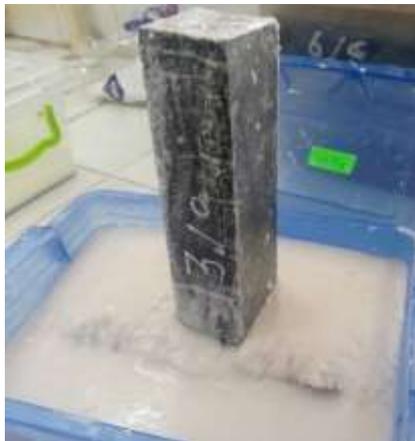


Figure III.12 : Conservation des éprouvettes dans la solution de sulfates de calcium

III.3.1.4. Attaque par les acides (ASTM C 267-96)

Des éprouvettes de mortier $40 \times 40 \times 40$ mm ont été confectionnées selon la NF EN 196-1, conservée 28 jours dans l'eau à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ après démoulage, les éprouvettes sont pesées pour déterminer la masse des échantillons sont ensuite mis dans une solution acide.

L'essai de la résistance aux attaques acides, consiste à suivre l'évolution de la masse des échantillons de mortiers immergés dans une solution saturée en acide (5% en volume). Des essais d'immersion dans des solutions d'acide sulfurique (H_2SO_4) et d'acide chlorhydrique (HCl) ont été effectués pour évaluer la résistance des différentes formulations de mortiers [28].

III.3.1.4.1. Attaque par l'acide chlorhydrique (HCL)

On prépare la solution agressive de 5% de concentration d'acide chlorhydrique (HCL) [27].



Figure III.13 : Préparation de la solution de 5% d'acide chlorhydrique

•Conservation des éprouvettes :

Après 28 jours de conservation dans l'eau, ces prismes de mortier sont conservés dans cette solution d'acide déjà préparée.



Figure III.14 : Conservation des éprouvettes dans la solution de 5% d'acide chlorhydrique

III.3.1.4.2. Attaque par l'acide sulfurique (H_2SO_4)

•Préparation de la solution d'acide sulfurique (H_2SO_4)

Même procédure de préparation de la solution agressive concentrée à 5% que celle de l'acide chlorhydrique.



Figure III.15 : Préparation de la solution de 5% d'acide sulfurique (H_2SO_4)

• Conservation des éprouvettes :

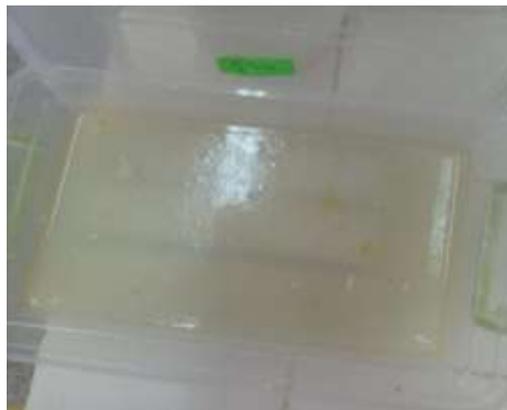


Figure III.16 : Conservation des éprouvettes dans la solution d'acide sulfurique

III.3.2. Milieu neutre

On considère l'eau distillée et l'eau potable de robinet deux milieux neutres, qui sont des solutions dépourvues de composés chimiques minéraux agressifs aux bétons et aux mortiers.

III.3.2.1. L'eau distillée

Après 28 jours de cure, nos éprouvettes sont conservées dans l'eau déminéralisée.



Figure III.17 : Conservation des éprouvettes dans l'eau distillée

III.3.2.2. L'eau de robinet

Après 28 jours de cure dans l'eau, nos éprouvettes de mortier seront toujours conservées dans cette eau de robinet.

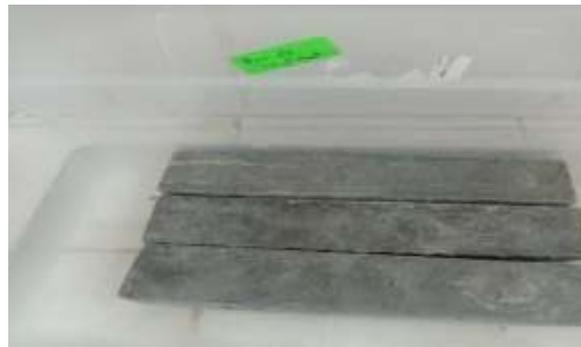


Figure III.18 : Conservation des éprouvettes dans l'eau de robinet

III.4. Essais physiques

Les éprouvettes de mortier conservés dans les différents milieux font objet de détermination de quelques paramètres physiques cités ci-dessous, et ce à différents âges : 1j, 3j, 7j, 14j, 21j, 28j et 30 j.

III.4.1. Les essais par Ultrason

- **Objectif**

La méthode consiste à mesurer la vitesse de propagation des impulsions Ultrasoniques est un moyen qui permette d'effectuer des essais de Résistance sur le béton coulé sur place. Cette méthode permet de déterminer le temps de propagation d'une impulsion ultrasonique traversant le prisme de mortier. L'appareil de l'ultrason comprend un générateur et un récepteur d'impulsions [30].

Cela permet donc de mesurer le laps de temps entre le départ de l'impulsion émise par l'émetteur et sa détection par le récepteur, avec un transducteur de 54Hz [31].

Le principe de mesure est illustré dans la figure ci-après :



Figure III.19 : L'appareil de l'Ultrason utilisé



Figure III.20 : Mesure du temps de propagation des ondes d'un prisme de mortier de 160mm de longueur.

III.4.2. Mesure de variation de masses et de longueurs

Des mesures de dimensions et des pesées des éprouvettes sont effectuées afin de voir l'influence de chaque milieu de conservation sur la variation dimensionnelle et la masse de ces prismes de mortier conservés dans différents milieux agressifs.



Figure III.21 : La pesée des mortiers



Figure III.22 : Mesure de la variation de distances

III.5. Essais mécaniques

III.5.1. Equipment nécessaire utilisé

Le matériel nécessaire est décrit d'une manière détaillée par la norme **EN 196-1**.

- Une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10 KN avec une vitesse de mise en charge de 50 N/S.
- Une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN (ou plus) avec une vitesse de charge de $2400 \text{ N/S} \pm 200 \text{ N/S}$.

Le but de ces essais est de terminer les caractéristiques mécaniques notamment la résistance à la compression et à la flexion à l'âge de 28 jours.

Le principe de ces essais est d'appliquer une charge de compression et celle de traction-flexion sur le prisme jusqu'à leur rupture.

III.5.2. Essais de traction par flexion

La résistance à la flexion est importante, parce qu'elle détermine la capacité d'un mortier à résister à la fissuration. La flexion centrée des éprouvettes de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ est réalisée selon la norme **NF EN 196-1**[27].

Les valeurs pertinentes, sont relevées directement à partir de l'affichage de l'appareil d'essai telles que :

- La charge de rupture P ou N.
- La contrainte de traction R_t en N/cm^2
- La contrainte de flexion R_f en N/cm^2

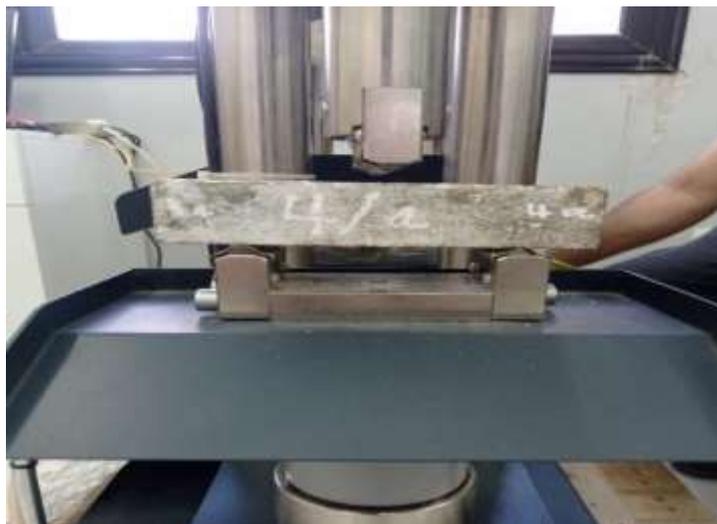


Figure III.23 : Essai de traction par flexion

III.5.3. Essais de Compression

La presse hydraulique utilisée est conforme à la norme NF EN 196-1[27].

Les demi-prismes obtenus après flexion sont ensuite soumis à une rupture en compression.

La résistance à la compression est déterminée comme suit :

$$RC = FC / 1600 \text{ (N/mm}^2\text{) ou (MPa)}$$

FC : La charge de rupture de l'éprouvette en compression

Le résultat de la résistance est la moyenne des résistances des six (06) demi-prismes (cubes de 4*4*4 cm³, sont représentées dans les tableaux suivants :

Tableau III.2: Résultats de compression pour la solution de sulfates de magnésium

Échantillons	Sollicitation	Moitié 1	Moitié 2
11a	Fc (MPa)	40,63	47,77
	Rc (MPa)	25,39	29,86
11c	Fc (MPa)	40,78	52,31
	Rc (MPa)	25,49(MPa)	32,69

Tableau III.3: Résultats de compression pour la solution de l'acide chlorhydrique

Échantillons	Sollicitation	Moitié 1	Moitié 2
4a	Fc (MPa)	46,94	75,49
	Rc (MPa)	29,33	47,18
4c	Fc (MPa)	80,83	52,90
	Rc (MPa)	50,51	33,06

Tableau III.4: Résultats de compression pour la solution de l'acide sulfurique

Échantillons	Sollicitation	Moitie 1	Moitie 2
5b	Fc (MPa)	42,93	44,45
	Rc (MPa)	26,83	27,78
5c	Fc (MPa)	47,18	36,21
	Rc (MPa)	29,49	22,63

Tableau III.5: Résultats de compression pour la solution de sulfates de calcium

Échantillons	Sollicitation	Moitie 1	Moitie 2
3a	Fc (MPa)	72,74	64,05
	Rc (MPa)	45,46	37,53
3b	Fc (MPa)	76,53	78,32
	Rc (MPa)	47,83	48,95

Tableau III.6: Résultats de compression pour la solution de l'eau de robinet

Échantillons	Sollicitation	Moitie 1	Moitie 2
1b	Fc (MPa)	72,29	65,83
	Rc (MPa)	45,18	41,15
1c	Fc (MPa)	90,53	63,83
	Rc (MPa)	38,68	39,89

Tableau III.7: Résultats de compression pour la solution de sulfate de sodium

Échantillons	Sollicitation	Moitié 1	Moitié 2
2a	Fc (MPa)	84,17	68,00
	Rc (MPa)	52,60	43,29
2b	Fc (MPa)	58,19	88,51
	Rc (MPa)	36,37	55,32

Tableau III.8: Résultats de compression pour la solution de l'eau distillée

Échantillons	Sollicitation	Moitié 1	Moitié2
6a	Fc (MPa)	61,90	96,97
	Rc (MPa)	38,68	60,61
6c	Fc (MPa)	52,52	68,00
	Rc (MPa)	32,82	42,50

**Figure III.24 :** Presse hydraulique

III.6. Détermination du taux d'humidité par le Dessiccateur

Les éprouvettes conservés dans les différents milieux font objet de détermination du taux d'humidité, et ce afin de faire une analyse sur l'influence de ces différents milieux de conservation sur la teneur en humidité des échantillons solides avant les essais d'écrasement. Le principe repose sur la différence de poids des échantillons de mortiers avant et après essai.



Figure III.25 : Appareil Dessiccateur

III.7. Mesure de la valeur de la poussée d'Archimède

L'objectif de cet essai est de déterminer le poids apparent des prismes de mortier. L'essai de la poussée d'Archimède précise que le solide mortier plongé dans un liquide (l'eau) subit une force de poussée vers le haut égal au poids de ce liquide déplacé par le cube de mortier.

Le principe de l'essai de la poussée d'Archimède peut être décrit en quelques étapes:

- Détermination de la masse de l'échantillon sec (cube de mortier).
- Immerger complètement l'échantillon dans un récipient contenant l'eau, après on doit déterminer la masse saturée.



Figure III.26 : Principe de mesure de la poussée d'Archimède

III.8. Analyse par Diffraction des rayons X (DRX)

Après les essais destructifs, on a récupéré des échantillons de mortier, on les a broyé et transformé en poudres, et ce afin de les analyser par DRX [32].

La DRX est une technique pour l'identification et quantification des phases minéralogiques de nos échantillons solides (mortiers).

Cette méthode d'analyse permet d'identifier les principales phases cristallisées dans la poudre et caractériser l'arrangement des réseaux cristallins.

III.9. Conclusion

Ce chapitre traite les divers essais de laboratoire réalisés sur les éprouvettes de mortier, donc il présente tout un programme expérimental, afin de déterminer les différents paramètres mécaniques, physiques et chimiques à différents âges pour comprendre le principe de dégradation de ce matériau exposé à différents milieux agressifs.

Les différents résultats obtenus seront exposés dans le quatrième chapitre.

Chapitre IV
Résultats et discussion

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, les résultats obtenus pendant le travail expérimental ont été présentés et suivis par une analyse et une discussion. Ceci, nous permet de bien comprendre l'influence des acides et des sulfates sur le comportement physique et chimique des mortiers, et l'évolution des phases cristallines de la pâte de ciments suivi par diffraction aux rayons x et le développement de la profondeur de la dégradation.

IV.2. Résultats et interprétation

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux des annexes et représentés par des figures qui sont illustrés dans ce chapitre :

IV.2.1. Comportement mécanique (résistance à la compression et à la traction par flexion)

IV.2.1.1. Résistance à la compression

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux de l'annexe A, et illustrés par la figure ci-après :

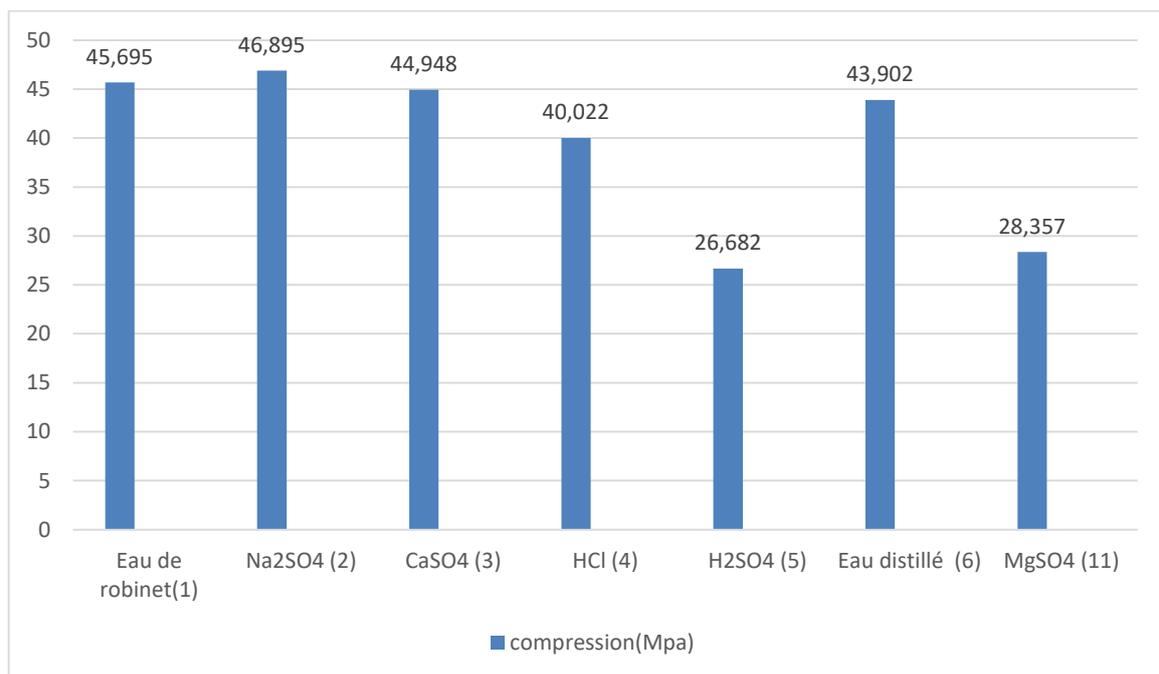


Figure IV.1 : Résistance à la compression des mortiers conservés dans les différents milieux.

Les mortiers conservés dans l'acide chlorhydrique montrent une diminution significative de leur résistance à la compression par rapport à ceux conservés dans l'eau distillée. Cette diminution est due à la dégradation chimique provoquée par l'acide, qui attaque les composants du ciment et

affaiblit la structure du mortier. L'eau distillée, étant neutre, n'entraîne pas de telles réactions et permet de maintenir la résistance des mortiers.

IV.2.1.2. Résistance à la traction par flexion

Les résultats sont dans les tableaux représenté dans l'annexe A.

Les résultats montrent que le matériau conserve une meilleure résistance, rigidité et ductilité dans l'eau distillée par rapport aux autres milieux. Les autres milieux réduisent la résistance à la traction maximale, le module d'élasticité, et l'allongement à la rupture, indiquant un affaiblissement et une fragilité accrue. Le comportement viscoélastique est plus stable dans l'eau distillée, avec moins de relaxation ou de fluage. Globalement, l'eau distillée préserve mieux les propriétés mécaniques du matériau.

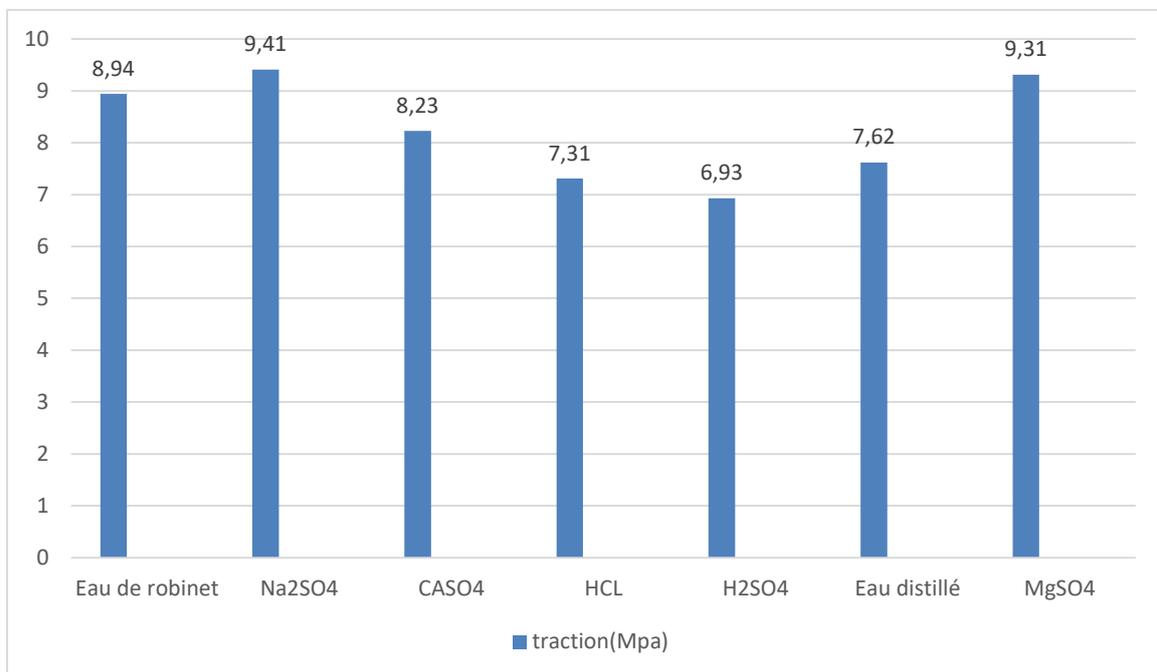


Figure IV.2 : Résultat de l'essai de traction

IV.2.2. Analyses physico-chimiques des milieux de conservation

IV.2.2.1. Variation temporaire de la masse des éprouvettes, les distances et le temps de propagation des ondes

Les tableaux (15, 16, 17, 18, 19, 20,21) illustrés dans l'annexe B, montrent l'évolution des masses des éprouvettes, ainsi que les distances et le temps de propagation des ondes des mortiers.

A. L'eau de robinet

Nous avons également réalisé une série de mesures sur des échantillons de mortier conservés dans l'eau de robinet à différents intervalles de temps, en observant le poids, les dimensions et le temps de propagation des ondes ultrasonores à travers l'échantillon.

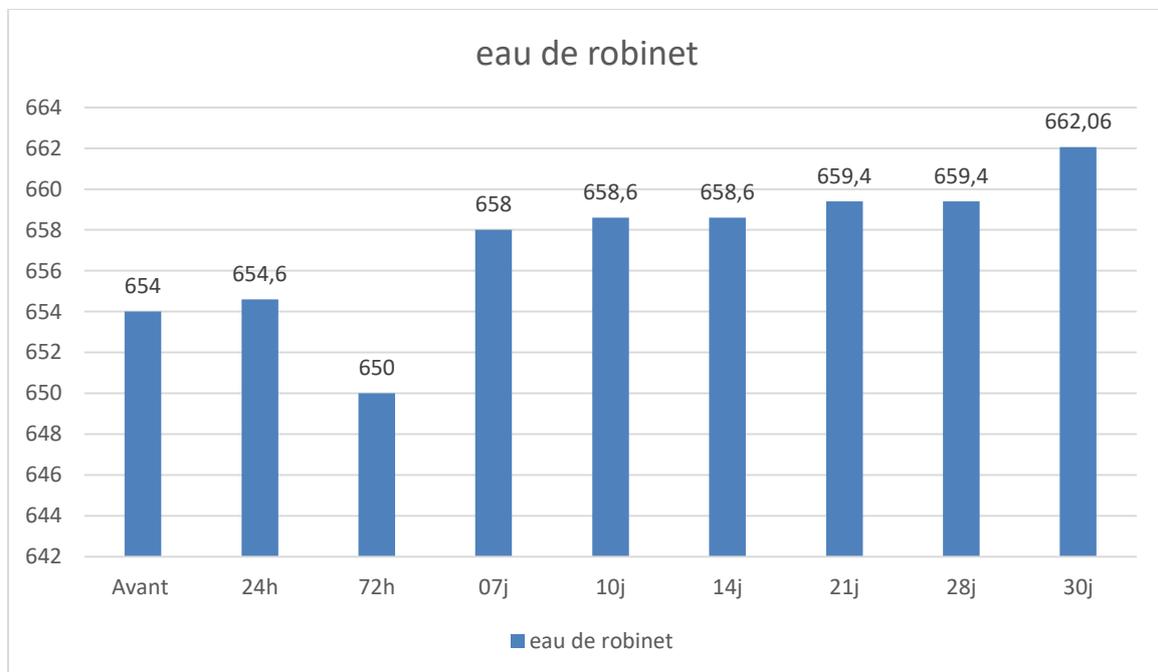


Figure IV.3 : La variation de masse des mortiers conservés dans l'eau de robinet

-L'échantillon a montré une augmentation globale de poids au fil du temps, passant de 654 g à 662,06 g sur 30 jours, indiquant une absorption d'eau en continue (l'hydratation).

-Les dimensions ont légèrement augmenté, de 16/4 cm à 16,1/4,2 cm, suggérant un gonflement de l'échantillon dû à l'absorption d'eau.

-Le temps de propagation a diminué de 41 μ s à environ 32 μ s, ce qui pourrait indiquer une augmentation de la densité et des changements dans la structure interne du matériau.

-Les variations de masse des mortiers conservés dans l'eau de robinet sont principalement influencées par l'absorption d'eau, la saturation des pores, et les interactions chimiques avec l'eau. L'observation de ces variations au fil du temps permet de mieux comprendre le comportement du

mortier dans des conditions d'immersion prolongée, ce qui est crucial pour des applications pratiques dans le domaine de la construction et de l'ingénierie civile.

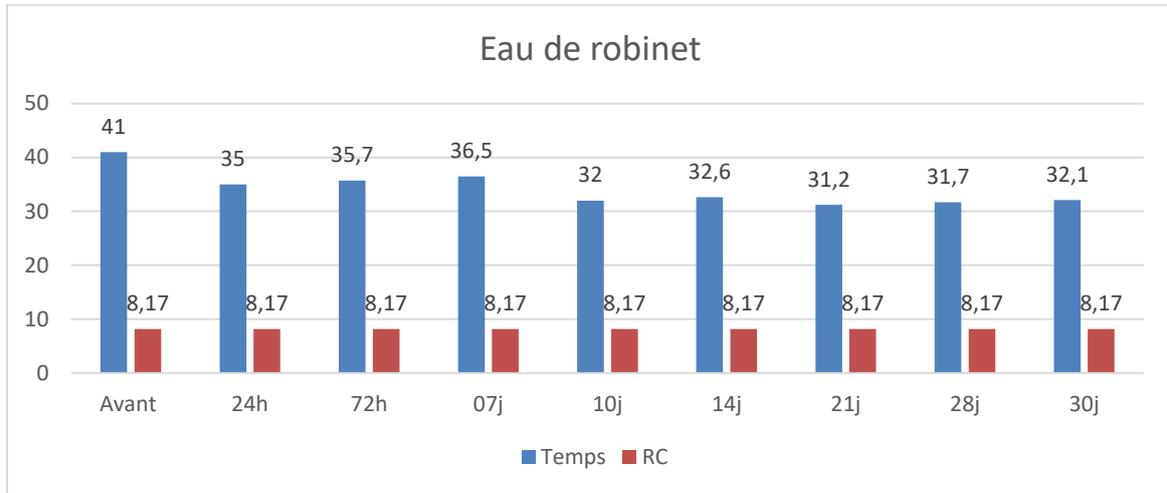


Figure IV.4 : Résistance à la compression des mortiers conservés dans l’eau de robinet en fonction de temps.

L’immersion des échantillons dans l’eau de robinet a provoqué des variations dans les temps et vitesses de propagation des ondes ultrasonores, indiquant des modifications internes dues à l’absorption d’eau. Cependant, la résistance à la compression est restée inchangée à 8,17 MPa, démontrant que l’intégrité mécanique globale du matériau n’a pas été affectée par l’immersion.

B. Sulfates de sodium

Une série de mesures sur des échantillons de mortier conservés dans les sulfates de sodium (Na_2SO_4) à différents intervalles de temps étaient réalisé, en observant le poids, les dimensions et le temps de propagation des ondes ultrasonores à travers l’échantillon.

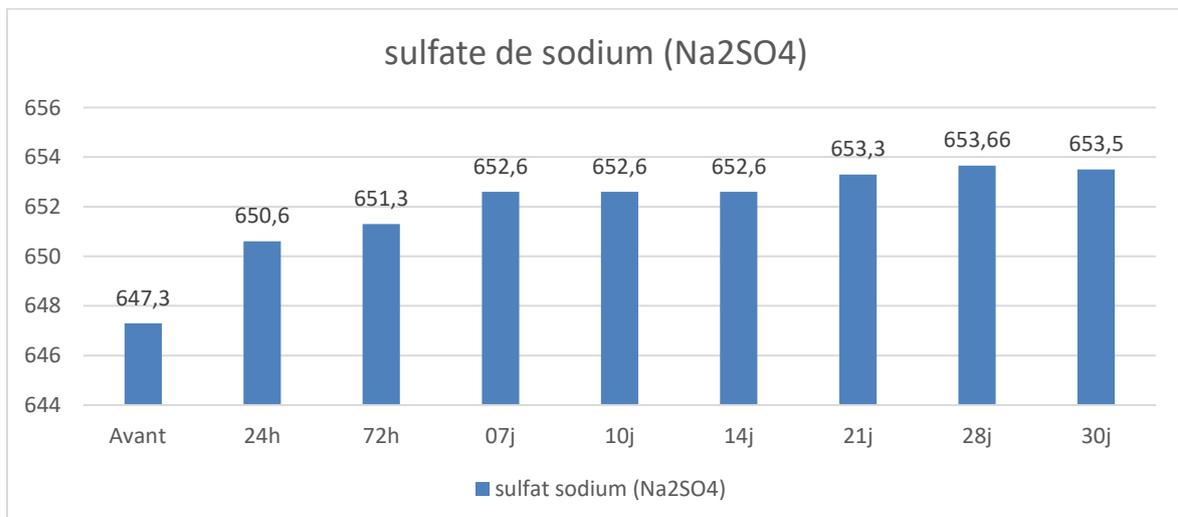


Figure IV.5 : Variation de masse des mortiers conservés dans les sulfates de sodium

L'analyse des variations de masse des mortiers exposés aux sulfates de sodium permet de mieux comprendre la durabilité des matériaux de construction dans des environnements agressifs. En observant les changements de masse, les chercheurs peuvent identifier les périodes critiques de dégradation et développer des stratégies pour améliorer la résistance des matériaux.

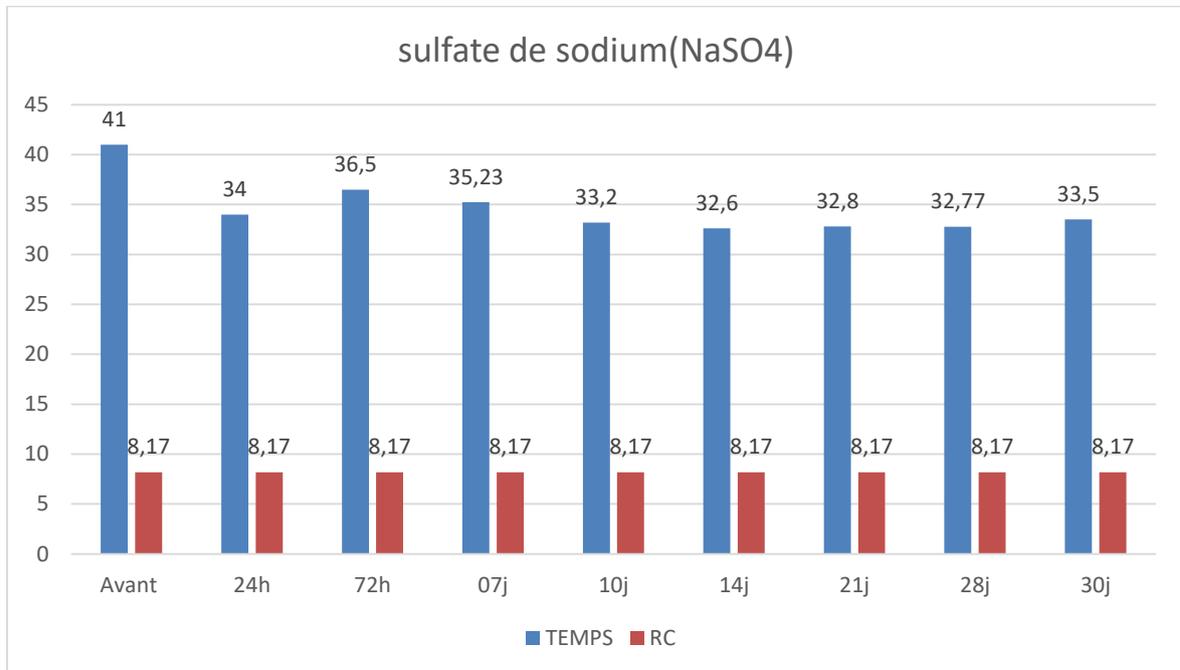


Figure IV.6 : Résistance à la compression des mortiers conservés dans les sulfates de sodium en fonction de temps.

On constate ce qui suit :

- Augmentation générale de masse, de 647,3 g à 653,5 g sur 30 jours, indiquant une absorption de la solution Na_2SO_4 .

- Légères fluctuations, avec des variations principalement autour de 16/4 cm, reflétant une expansion due à la pénétration des ions de Na_2SO_4 .

- Diminution de 41 μs à environ 33,5 μs , suggérant une augmentation de la densité et des changements internes du matériau.

- Une résistance à la compression constante à la valeur de 8,17 MPa, montrant la capacité de l'échantillon de résister aux ions de Na_2SO_4 .

C. Sulfates de calcium

Nous avons réalisé une série de mesures sur un échantillon de sulfate de calcium (CaSO_4) à différents intervalles de temps, en observant le poids, les dimensions et le temps de propagation des ondes ultrasonores à travers l'échantillon.

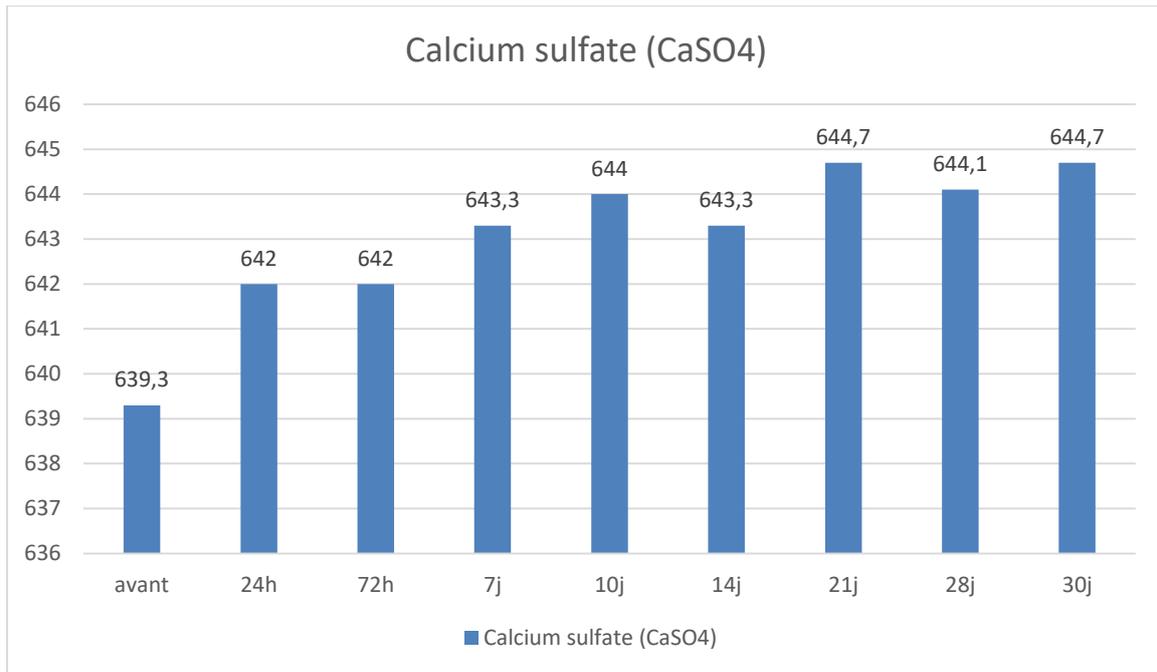


Figure IV.7 : Variation de masse des mortiers conservés dans les Sulfates de calcium

- Les variations de masse observées dans le sulfate de calcium peuvent être attribuées principalement à l'adsorption d'humidité atmosphérique et à la cristallisation, qui augmentent la masse, ainsi qu'à des processus de dégradation chimique et à la libération d'eau cristalline, susceptibles de diminuer la masse. Ces phénomènes peuvent être influencés par les conditions environnementales et la durée d'exposition de l'échantillon, nécessitant une analyse comparative

Pour une interprétation précise des données expérimentales.

- Fluctuations légères avec des variations faibles en longueur et largeur, indiquant une expansion due à l'absorption du CaSO_4 .

-Temps de propagation des ondes ultrasonores : diminution de $42 \mu\text{s}$ à environ $32,9 \mu\text{s}$, suggérant des modifications internes et une probable augmentation de la densité du matériau.

L'immersion dans le sulfate de calcium a conduit à une absorption par les échantillons, augmentant leur poids et modifiant légèrement leurs dimensions. Le temps de propagation des ondes ultrasonores a diminué, indiquant des changements internes et une densité accrue.

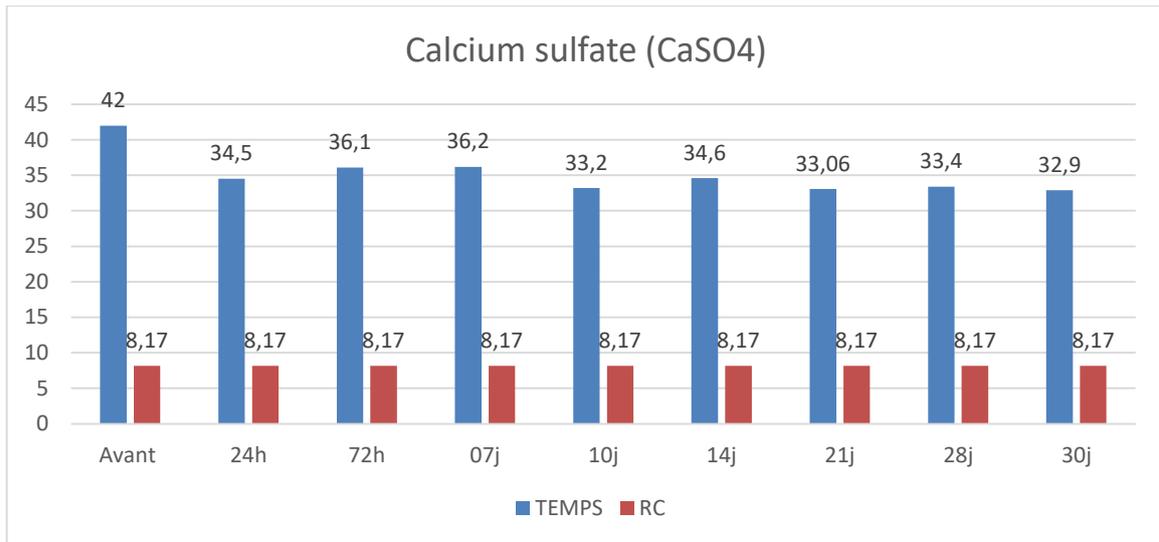


Figure IV.8 : Résistance à la compression en fonction du temps des mortiers conservés dans les sulfates de calcium.

L'immersion dans la solution de sulfate de calcium a entraîné une absorption significative par les échantillons, modifiant les temps et vitesses de propagation des ondes ultrasonores, ce qui suggère des changements internes et une augmentation de la densité. Cependant, ces modifications n'ont pas affecté la résistance à la compression, qui est restée stable à 8,17 MPa.

D. Acide chlorhydrique

Les résultats des essais de mesure réalisés sur les échantillons de mortiers conservés dans la solution d'acide chlorhydrique (HCl) à différents intervalles de temps sont illustrés ci-après :

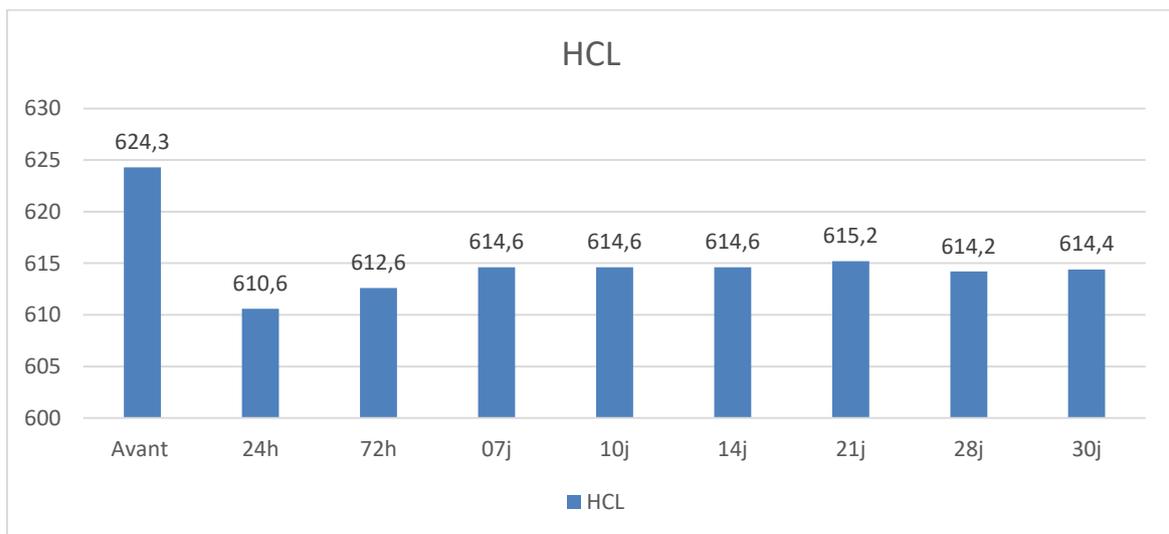


Figure IV.9 : Variation de masses des mortiers conservés dans l'acide chlorhydrique

L'exposition à l'acide chlorhydrique entraîne initialement une perte de masse due à une érosion superficielle des échantillons. Cette érosion peut être plus marquée dans les premières phases de l'exposition, suivie d'une stabilisation où la perte de masse tend à ralentir ou se stabiliser.

Les variations de masse peuvent refléter non seulement l'érosion chimique superficielle mais aussi des modifications structurelles internes des échantillons, telles que des altérations dans la porosité ou la composition du mortier. Initialement, le temps de propagation des ondes ultrasonores diminue, indiquant une altération de l'intégrité structurelle, avant de se stabiliser. L'acide chlorhydrique affecte le poids et les dimensions des échantillons, causant une érosion suivie d'une stabilisation. Les variations observées dans les ondes ultrasonores suggèrent des modifications structurelles internes, qui se stabilisent avec le temps.

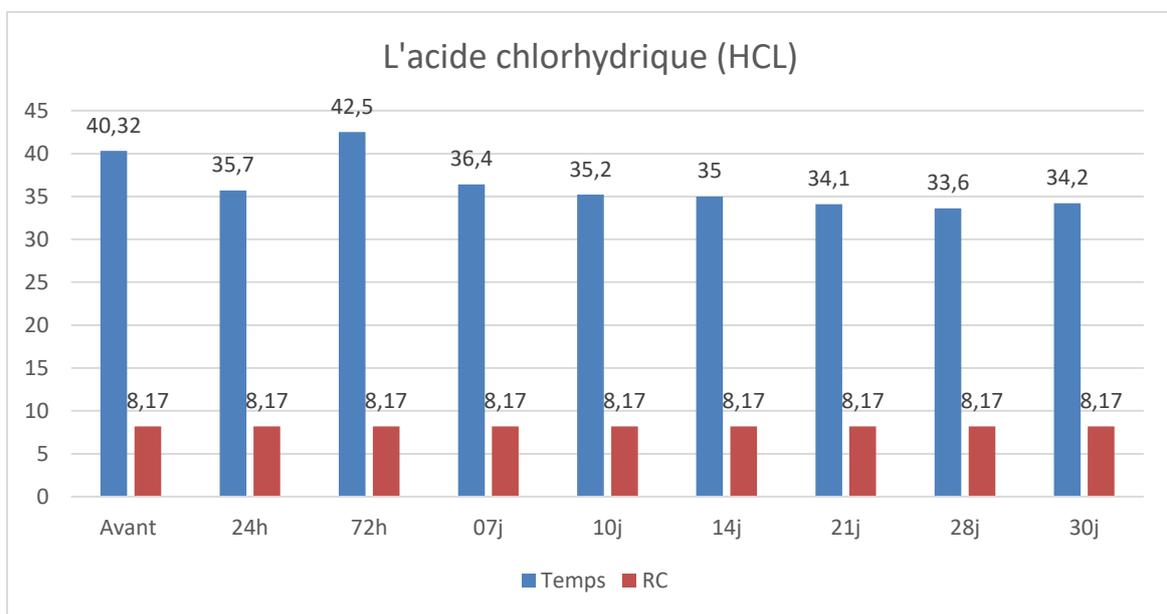


Figure IV.10 : Résistance à la compression en fonction du temps des mortiers conservés dans la solution pour l'acide chlorhydrique

Les paramètres constatés sont les suivants :

- Variation de la vitesse de propagation indique des changements internes dans le matériau sous l'influence de l'acide chlorhydrique, Initialement l'acide pourrait provoquer une altération de la matrice du matériau.

- Stabilité de la résistance à la compression : montre que l'acide chlorhydrique n'affecte pas significativement l'intégrité structurale globale du matériau.

L'acide chlorhydrique influe la vitesse de propagation des ondes dans le matériau cimentaire sans altérer sa résistance à la compression.

E. Acide sulfurique

Les résultats des échantillons de mortier conservés dans la solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) à différents intervalles de temps sont donnés par les deux figures ci-après :

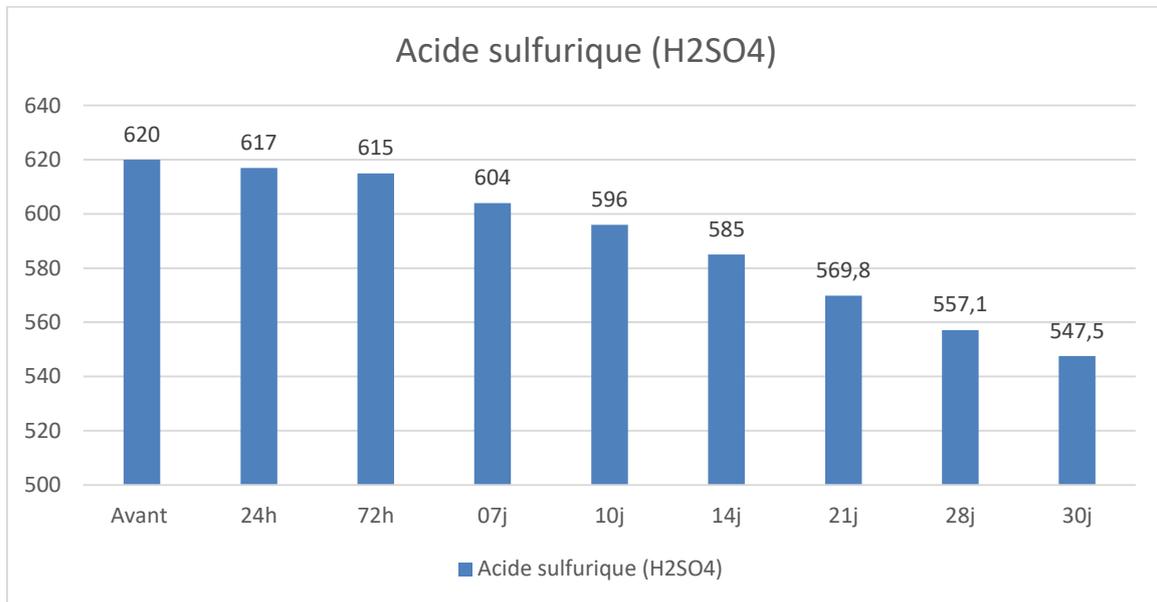


Figure IV.11 : Perte de masse des échantillons de mortier conservés dans l'acide sulfurique

Illustre la perte de masse des échantillons de mortier exposés à l'acide sulfurique sur différents intervalles de temps. Elle montre une diminution progressive de la masse, suggérant une corrosion continue du mortier sous l'effet de l'acide. Les valeurs de perte de masse augmentent avec le temps, indiquant une détérioration accrue à mesure que la durée d'exposition augmente. Cette tendance souligne l'importance de contrôler l'exposition à l'acide sulfurique pour maintenir l'intégrité et la durabilité des structures en mortier.

- Les dimensions restent relativement stables avec des légères variations, indiquant de possibles déformations à long terme.

- Le temps de propagation passe de 39,8 μs à 35,1 μs . Cela démontre des modifications internes dans les premiers jours suivies d'une certaine stabilisation.

L'exposition prolongée du matériau à l'acide sulfurique entraîne une dégradation progressive du matériau, comme le montrent la perte de poids et les variations des propriétés mécaniques.

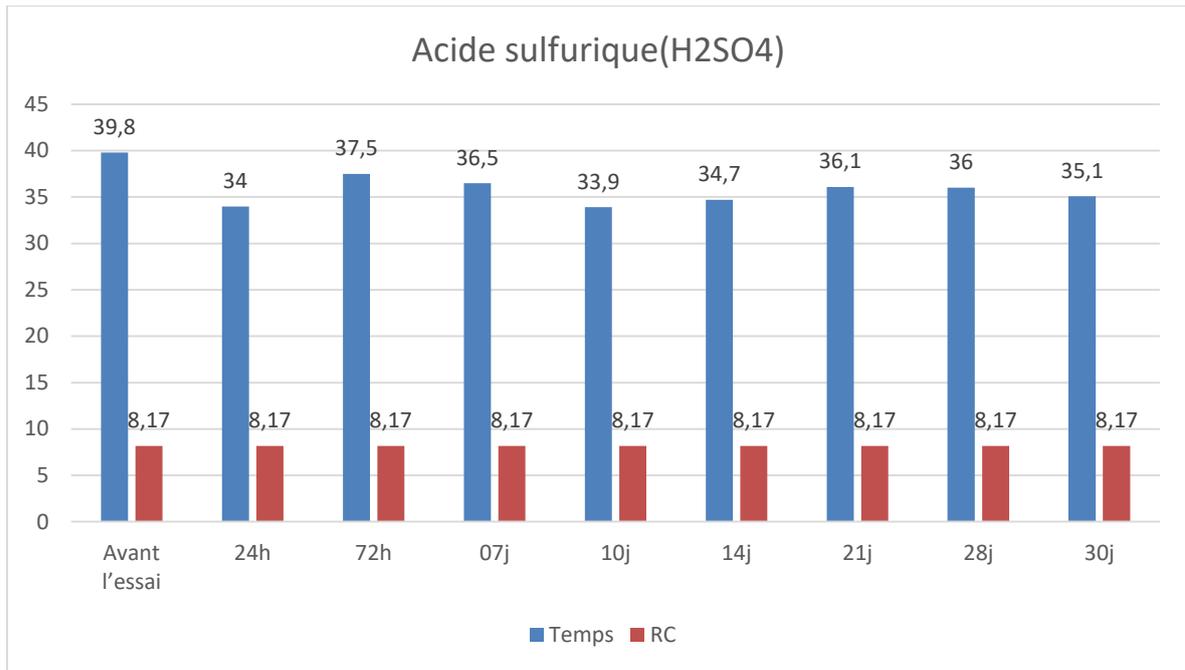


Figure IV.12 : Résistance à la compression en fonction de temps des mortiers conservés dans l'acide sulfurique

- La vitesse de propagation des ondes diminue légèrement au cours des 30 jours, montrant des variations dues à la dégradation de la matrice du béton par l'acide sulfurique.

-La résistance à la compression reste constante à 8,17 MPa tout au long de l'expérimentation.

En conclusion, bien que la vitesse de propagation des ondes ultrasonores fluctue, indiquant une altération de la structure du béton, la résistance à la compression demeure inchangée à court terme. Ces résultats soulignent l'importance de surveiller l'impact à long terme de l'acide sulfurique sur la durabilité du béton.

F. Eau distillée

Les échantillons de mortier conservés dans l'eau distillée ont donné les résultats suivants :

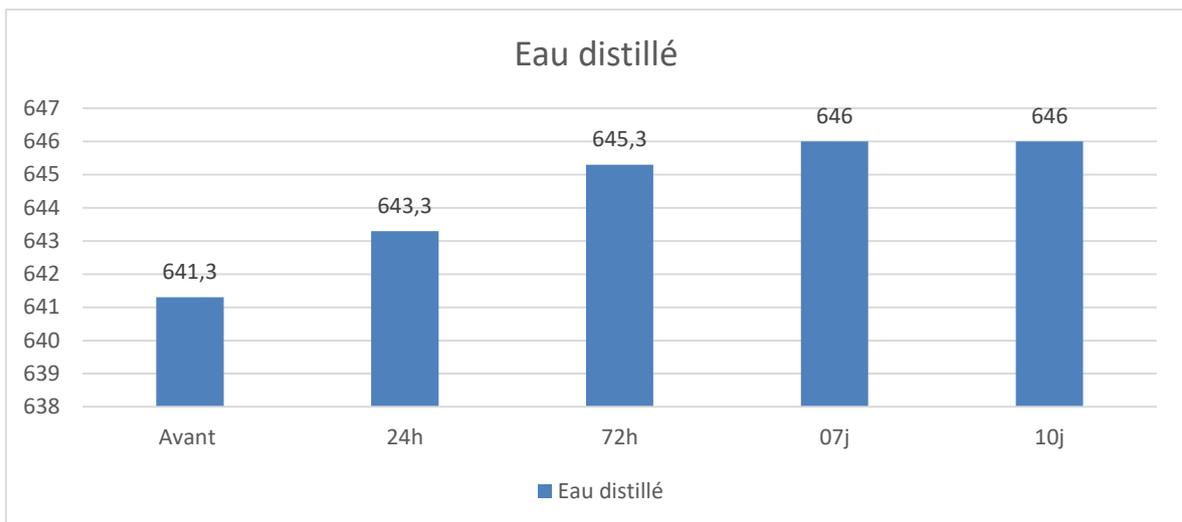


Figure IV.13 : Gain de masse des mortiers conservés dans l’eau distillée.

Les variations de masse observées dans nos échantillons de mortier conservés dans l'eau distillée peuvent être interprétées comme le résultat d'une absorption initiale d'eau, suivie d'une adaptation et d'une hydratation plus complète des matériaux, contribuant à une diminution de la porosité au fil du temps.

- Les dimensions montrent également une certaine variation initiale, suivie d'une stabilisation, indiquant normalement une adaptation des échantillons à leur environnement.

- La diminution du temps de propagation des ondes ultrasonores montre une diminution de la porosité des échantillons avec le temps, ce qui pourrait être attribuable à une hydratation plus complète des échantillons ou à une restructuration interne.

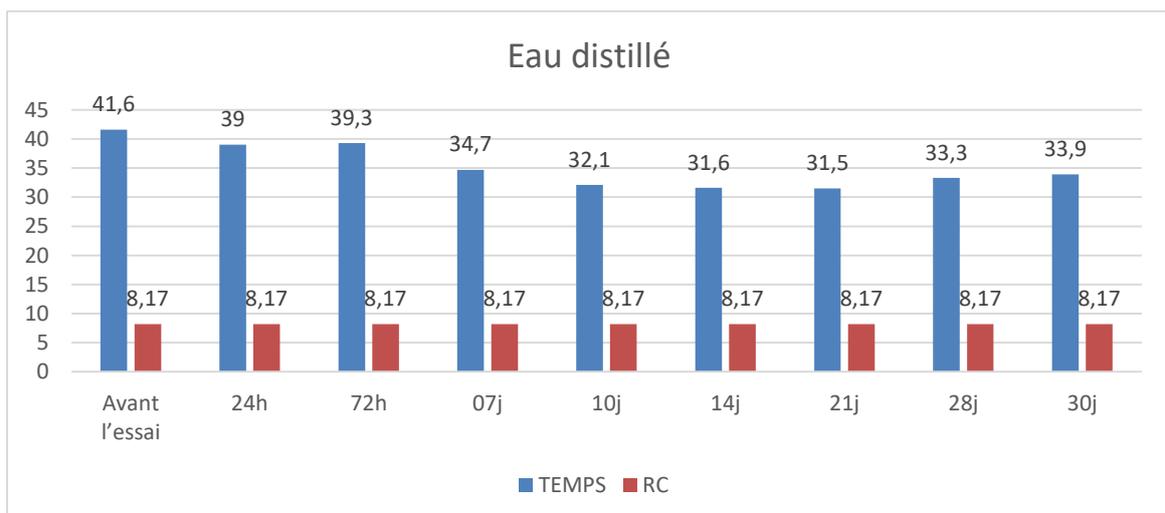


Figure IV.14 : Résistance à la compression en fonction de temps des mortiers conservés dans l’eau distillé

La diminution de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores indique potentiellement des changements dans la structure, ce changement concerne la compacité des mortiers.

La stabilité de la résistance à la compression nous montre que la capacité à résister aux forces de compression reste constante malgré d'autres évolutions possibles dans les propriétés physiques du matériau. Ces observations pourraient être importantes pour comprendre comment les propriétés physiques des échantillons de mortier évoluent dans des conditions spécifiques au fil du temps.

G. Sulfate de magnésium

Les résultats montrent l'évolution de poids, de dimensions et de temps de propagation des ondes ultrasonores d'échantillons de mortier (prisme 11) conservés dans des sulfates de magnésium sur différentes périodes (24h à 30 jours).

Ci-dessous, les résultats sous forme d'histogrammes des paramètres étudiés sur les mortiers conservés dans le milieu de Sulfates de magnésium ($MgSO_4$) :

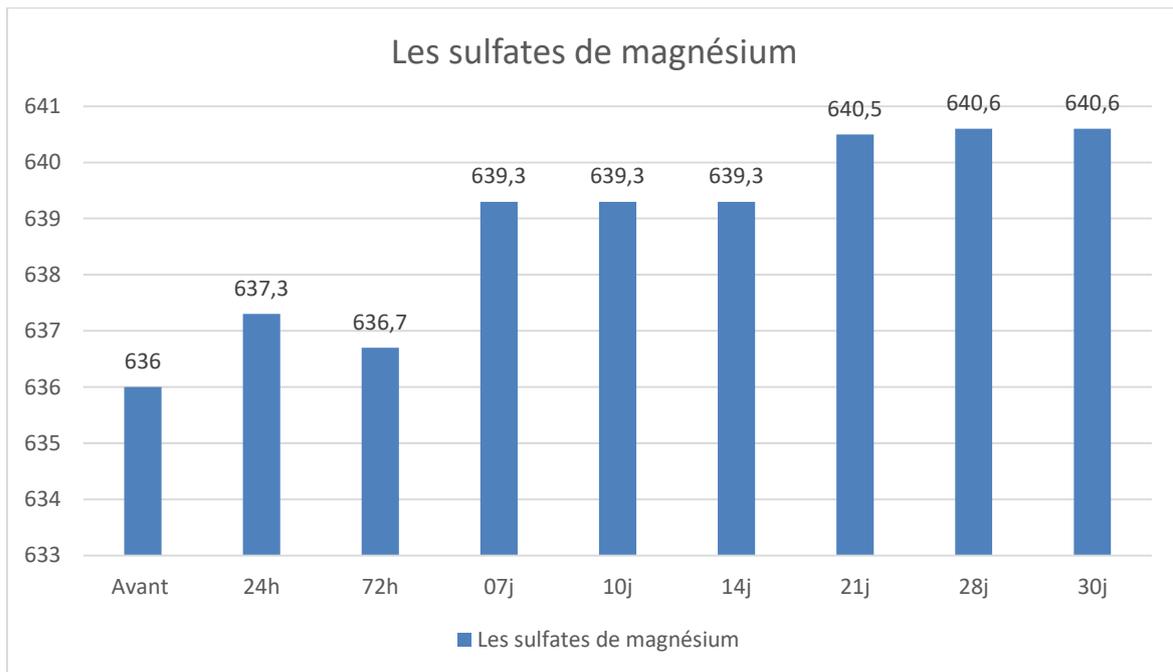


Figure IV.15 : Variation de masse des mortiers conservés dans le milieu de sulfates de magnésium

La variation de masse des échantillons de mortier conservés dans des sulfates de magnésium sur différentes périodes (24h à 30 jours). Elle montre comment la masse évolue au fil du temps, indiquant potentiellement des processus de dissolution ou de réaction chimique. L'analyse des données suggère des tendances significatives qui peuvent

influencer la durabilité et la résistance du matériau. Ces résultats fournissent des insights cruciaux pour évaluer l'impact des sulfates de magnésium sur les propriétés physiques du mortier à long terme.

3.5

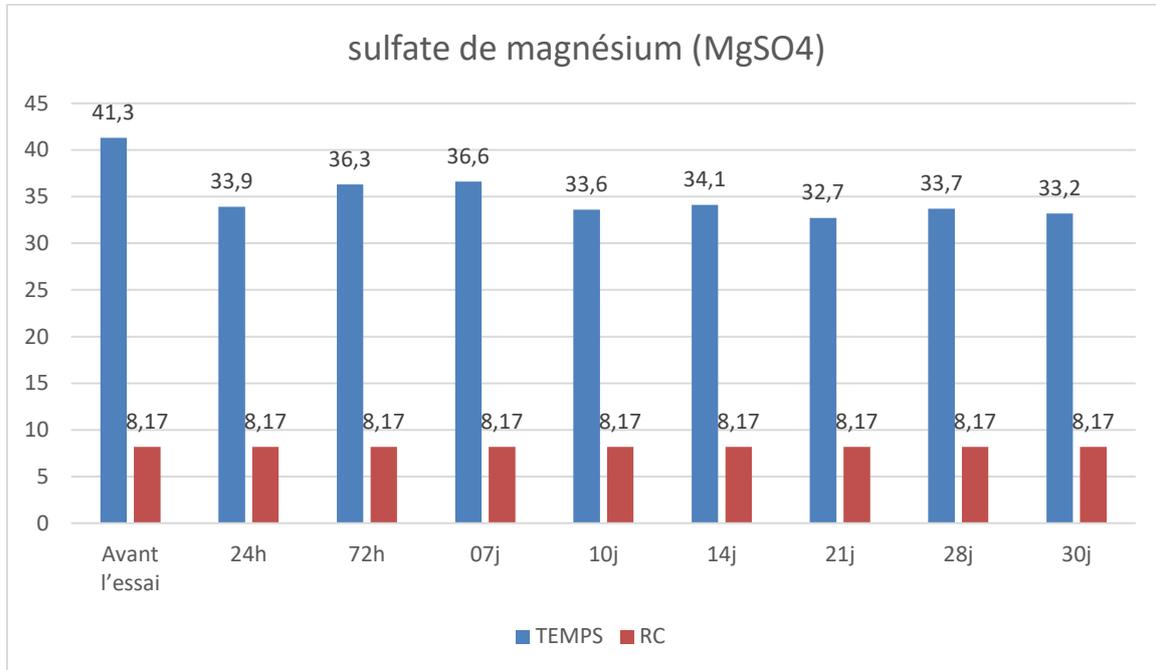


Figure IV.16 : Résistance à la compression en fonction de temps des mortiers conservés pour Sulfates de magnésium

Les données expérimentales montrent que les échantillons de sulfates de magnésium maintiennent une résistance à la compression constante de 8,17 MPa tout au long des périodes de test de 24 heures à 30 jours. La vitesse de propagation des ultrasons à travers ces échantillons reste également stable autour de $2,1 \times 10^{-4}$ après une certaine période de durcissement. Ces résultats suggèrent une cohérence dans les propriétés mécaniques et acoustiques des sulfates de magnésium sur la période d'essai étudiée.

IV.2.3. Essai au Dessiccateur

Les résultats de l'essai de dessiccateur sont représentés dans le tableau suivant :

Pour interpréter les résultats des tests de dessiccateur, nous devons calculer le taux d'humidité pour chaque échantillon. Le taux d'humidité est calculé en utilisant la différence de masse avant et après la dessiccation, rapportée à la masse initiale de l'échantillon.

Voici comment nous allons procéder :

- Calculer la différence de masse pour chaque échantillon.

Différence de masse : masse avant – masse après

- Calculer le taux d'humidité en utilisant la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = \frac{\text{Masse avant} - \text{Masse après}}{\text{Masse avant}} * 100$$

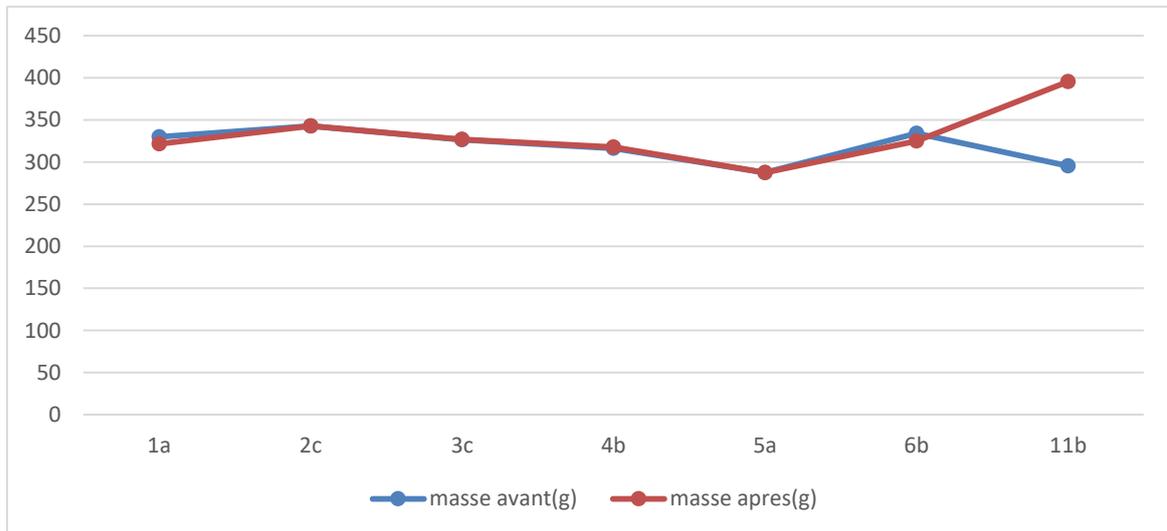


Figure IV.17 : Résultats du test au dessiccateur

A partir de courbes tracées et des résultats des pesées obtenues, Ce graphique montre que les masses des mortiers restent invariable sauf celles conservées dans le milieu sulfaté, précisément celles de sulfates de magnésium (MgSO_4), où on enregistre un gain de masses important, et cela revient à l'expansion qui est dû à la formation de l'étringite secondaire.

IV.2.4. La poussée d'Archimède et hydrostatique

Pour interpréter les résultats des tests de poussée d'Archimède, nous devons calculer le volume déplacé par chaque échantillon en utilisant la différence de masse entre l'échantillon sec et l'échantillon saturé. Ensuite, nous pouvons utiliser ce volume pour calculer la densité apparente de chaque échantillon.

La poussée d'Archimède nous dit que la perte de poids d'un objet immergé est égale au poids du fluide déplacé. En utilisant la différence entre la masse de l'échantillon sec et la masse de l'échantillon saturé, nous pouvons trouver le volume du fluide déplacé. Ensuite, nous pouvons calculer la densité apparente de l'échantillon en divisant la masse sèche par ce volume.

Les formules que nous utiliserons sont :

$$\text{Volume déplacé } V \text{ en cm}^3: V = \frac{\text{Masse sèche} - \text{Masse saturée}}{\text{densité de l'eau}}$$

(Note: La densité de l'eau est approximativement 1 g/cm³, donc V=Masse sèche – Masse saturée).

Densité apparente ρ en g/cm³:

$$\rho = \frac{\text{Masse sèche}}{V} = \frac{\text{Masse sèche}}{\text{Masse sèche} - \text{Masse saturée}}$$

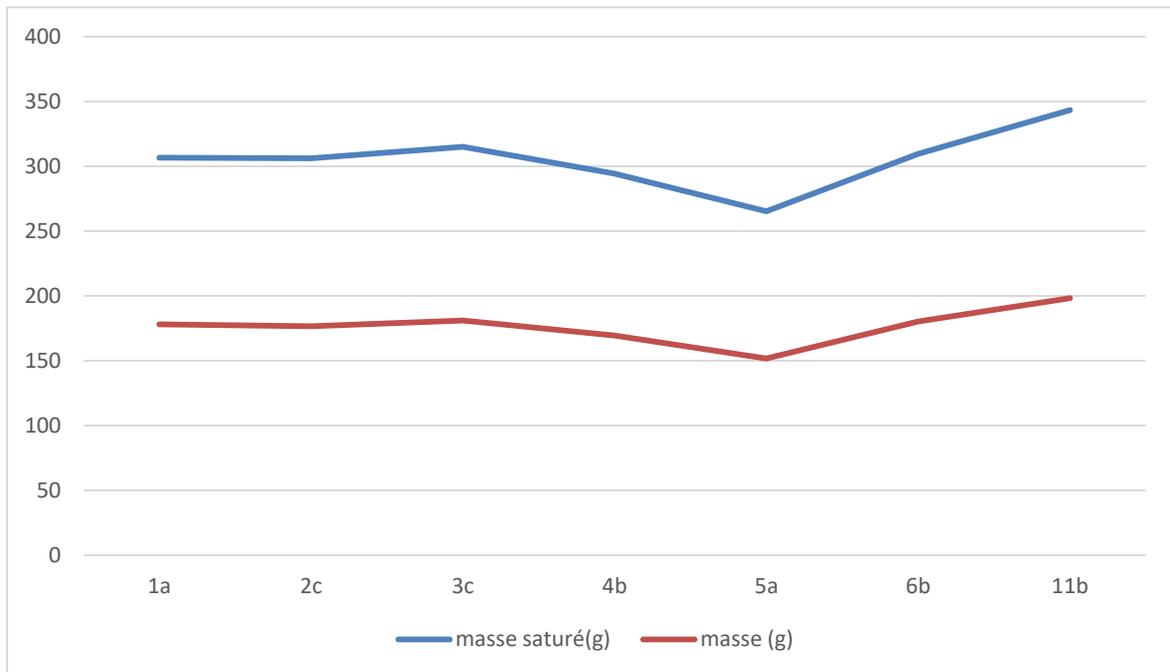


Figure IV.18 : Les résultats de La poussée d’Archimède

Ces courbes pourraient indiquer comment la masse des échantillons change en fonction de différents traitements ou conditions, en particulier lorsqu’ils sont saturés. la poussée d’Archimède fait référence à la force de flottabilité exercée par un fluide sur un objet immergé, ce qui suggère que ces mesures pourraient être liées à des expériences de flottabilité ou de densité.

Calcul du Volume et de la Densité des Échantillons :

1-Calculer la masse de la paraffine:

$$\text{Masse de la paraffine} = \text{Masse avec paraffine} - \text{Masse sans paraffine}$$

2-Calculer le volume de la paraffine:

La densité de la paraffine est approximativement 0,9g/cm³.

$$\text{Volume de la paraffine} = \frac{\text{Masse de la paraffine}}{0,9}$$

3-Calculer la poussée d'Archimède pour l'échantillon et la paraffine ensemble:

$$\text{Poussée} = \text{Masse avec paraffine} - \text{Masse dans l'eau}$$

4-Calculer le volume total de l'échantillon avec paraffine: La densité de l'eau est 1 g/cm³, donc le volume total est égal à la poussée.

Volume total (échantillon + paraffine) - Poussée

5-Calculer le volume de l'échantillon seul:

Volume de l'échantillon – Volume totale – Volume de la paraffine

6-Calculer la densité de l'échantillon:

$$\text{Densité} = \frac{\text{Masse sans paraffine}}{\text{Volume de l'échantillon}}$$

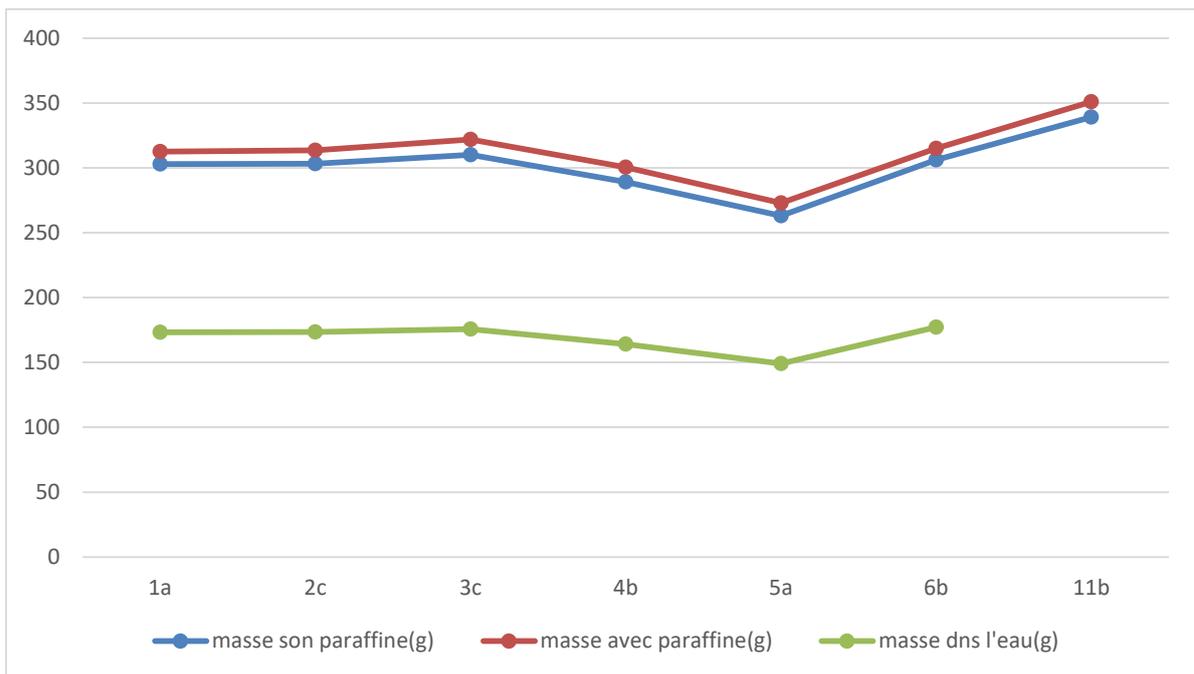


Figure IV.19 : Résultats de La poussé hydrostatique

La courbe montre les résultats de la poussée hydrostatique pour différents échantillons. Les masse des échantillons sans paraffine (courbe bleu) et avec paraffine (courbe rouge) sont presque identique, autour de 300g. la masse des échantillons immergé dans l'eau (courbe vert) est plus basse en raison de la poussée d'Archimède. Cela indique que la paraffine n'affecte pas significativement la masse, et confirme l'effet de la poussée hydrostatique

IV.2.5. La conductivité thermique:

La conductivité thermique est une mesure de la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Les valeurs de λ sont données en watts par mètre-kelvin (W/m·K).

Résultats obtenus:

Tous les échantillons ont presque une conductivité thermique similaire (autour de 2,46 W/m·K) :

Ces échantillons présentent des valeurs très proches et légèrement moins conducteurs thermiquement que les autres échantillons.

- Les échantillons ayant une conductivité thermique plus élevée (autour de 2,62 W/m·K) :

Ces échantillons présentent des valeurs de conductivité thermique plus élevées, ce qui indique qu'ils sont meilleurs conducteurs thermiques par rapport aux échantillons 1a, 2c, et 3c.

- L'échantillon 4b a la plus haute valeur de conductivité thermique, indiquant qu'il est le meilleur conducteur de chaleur parmi les échantillons testés.

-Échantillon manquant: 5a Il n'y a pas de donnée pour l'échantillon 5a, car n'a pas été testé.

-Homogénéité et Comparaison: La majorité des échantillons ont des valeurs de conductivité thermique assez similaires, sauf pour l'échantillon 4b qui a une conductivité thermique légèrement plus élevée. Donc on a une petite différence dans la composition où la structure de l'échantillon 4b par rapport aux autres échantillons.

- Les échantillons avec une conductivité thermique plus élevée (comme 4b) seraient plus efficaces pour les applications nécessitant une bonne conductivité thermique.

En somme, les résultats montrent une bonne cohérence générale parmi les échantillons, avec quelques variations qui peuvent être attribuées à de faibles différences internes.

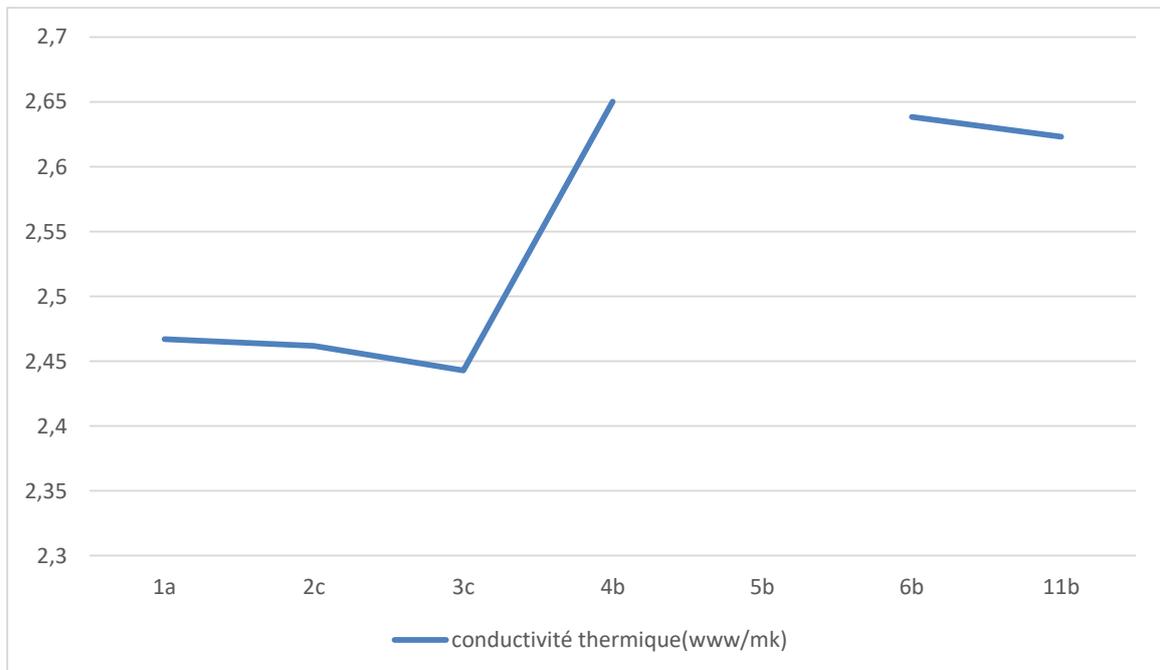


Figure IV.20 : Les résultats de La conductivité thermique

IV.3. Observations visuelles

Les observations visuelles des éprouvettes de mortier en contact avec les différents milieux étudiés sont un moyen d'évaluation de la dégradation de l'aspect extérieur des échantillons. Après 28 jours de conservation dans la solution de sulfate de sodium (Na_2SO_4), l'acide chlorhydrique (HCl), l'acide sulfurique (H_2SO_4), sulfate de magnésium (MgSO_4), les sulfates des calcium (CaSO_4), le mortier à base de ciment I 42,5, ont montré des pores visibles à l'œil nu. En effet, la surface des éprouvettes a changé de forme par rapport à celle conservées dans de l'eau distillée et de robinet.

IV.3.1. Les sulfates de sodium (Na_2SO_4)



Figure IV.21 : Eprouvettes attaquées par les sulfates de sodium (Na_2SO_4)

L'interprétation visuelle d'un mortier contenant de l'eau, du ciment et du sable (dans un rapport de 0,5) après une immersion dans une solution de sulfate de sodium (Na_2SO_4) pendant 30 jours.

Après 30 jours dans Na_2SO_4 : Teinte plus claire, présence de cristaux blancs, présence de dépôts de sulfate de calcium ou d'autres sels.

L'exposition prolongée à une solution de sulfate de sodium a provoqué une détérioration chimique et physique significative du mortier, une perte de masse et une diminution de la cohésion. La durabilité et la solidité du mortier sont donc gravement compromises par une attaque sulfatique prolongée.

IV.3.2. L'acide chlorhydrique (HCl)



Figure IV.22 : Epreuves attaqué par l'acide chlorhydrique (HCl)

Après 30 jours de conservation des échantillons de mortier dans HCl, on constate des épreuves blanchâtres avec des taches. Rugueuse, présence de petits trous. Plus friable, dépôts blancs à la surface. Observation de bulles initialement.

L'exposition prolongée à l'acide chlorhydrique a provoqué une dégradation chimique notable du mortier, avec décoloration, érosion de surface, décomposition structurelle, La solidité et la durabilité du mortier sont affectées, ce qui démontre la faible résistance à l'attaque acide.

IV.3.3. L'acide sulfurique (H₂SO₄)



Figure IV.23 : Epreuves attaqués par l'acide sulfurique (H₂SO₄)

Après 30 jours de conservation de nos mortiers dans la solution de H_2SO_4 : Blanchâtre ou jaunâtre. Rugueuse, érodée avec des trous et des creux. Friable, molle et moins dense. Présence de dépôts blancs de gypse.

L'exposition prolongée à l'acide sulfurique a provoqué une dégradation chimique sévère du mortier, avec formation de gypse, érosion de surface, désintégration structurelle et perte de masse. La solidité et la durabilité du mortier sont gravement compromises, indiquant une faible résistance à l'attaque acide.

IV.3.4. Sulfate de magnésium ($MgSO_4$)



Figure IV.24 : Echantillons de mortier attaqués par du sulfate de magnésium ($MgSO_4$)

Nos échantillons conservés dans la solution de $MgSO_4$: Légèrement blanchâtre ou gris clair, Présence de cristaux blancs, Présence de dépôts de sulfate de magnésium, Légère expansion observable.

L'immersion dans du sulfate de magnésium a entraîné une dégradation notable du mortier, avec formation de brucite, érosion de surface, désintégration structurelle, et fissuration. La solidité et la durabilité du mortier ont été compromises par cette exposition aux sulfates de magnésium.

IV.3.5. L'eau distillée



Figure IV.25 : Epreuve attaqué par l'eau distillé

L'interprétation visuelle d'un mortier contenant de l'eau, du ciment et du sable (dans un rapport de 0,5) après une immersion dans de l'eau distillée pendant 30.

Après 30 jours d'immersion dans l'eau distillée: Aucun changement majeur dans la couleur, la surface reste lisse et intacte, la texture reste solide et cohésive, sans efflorescence ni signe de dégradation.

Le mortier montre une bonne résistance et stabilité chimique lorsqu' 'il est immergé dans de l'eau distillée. L'absence d'agents agressifs dans l'eau distillée préserve les propriétés physiques et visuelles du mortier, indiquant une bonne durabilité.

IV.3.6. L'eau de robinet:



Figure IV.26 : Epreuves conservées dans l'eau de robinet

Après 30 jours d'immersion dans l'eau du robinet: Légère variation de teinte. Principalement lisse, Légère efflorescence blanche possible.

L'immersion dans l'eau du robinet pendant 30 jours n'entraîne pas de dégradation significative du mortier. Les minéraux dissous peuvent causer une légère efflorescence et des dépôts minéraux à la surface, mais les propriétés visuelles et physiques du mortier restent largement inchangées. Le mortier montre une bonne résistance à l'humidité avec des impuretés courantes.

IV.3.7. Les sulfates de calcium (CaSO_4)



Figure IV.27 : Echantillons de mortier attaqués par les sulfates de calcium (CaSO_4)

A l'œil nu, on constate clairement la dégradation chimique et physique du mortier. La formation de gypse cause une érosion de la surface, une désintégration structurelle et une perte de masse, compromettant ainsi la solidité et la durabilité du matériau. Les effets, bien que notables, sont moins sévères comparés à ceux causés par des sulfates plus agressifs comme le sulfate de magnésium.

IV.4. Analyse par diffraction des rayons x (DRX)

Les poudres des différents mortiers fabriqués et soumises aux cycles de dégradation sont analysées par DRX. Les différents spectres obtenus sont illustrés ci-après :

IV.4.1. Eau de robinet

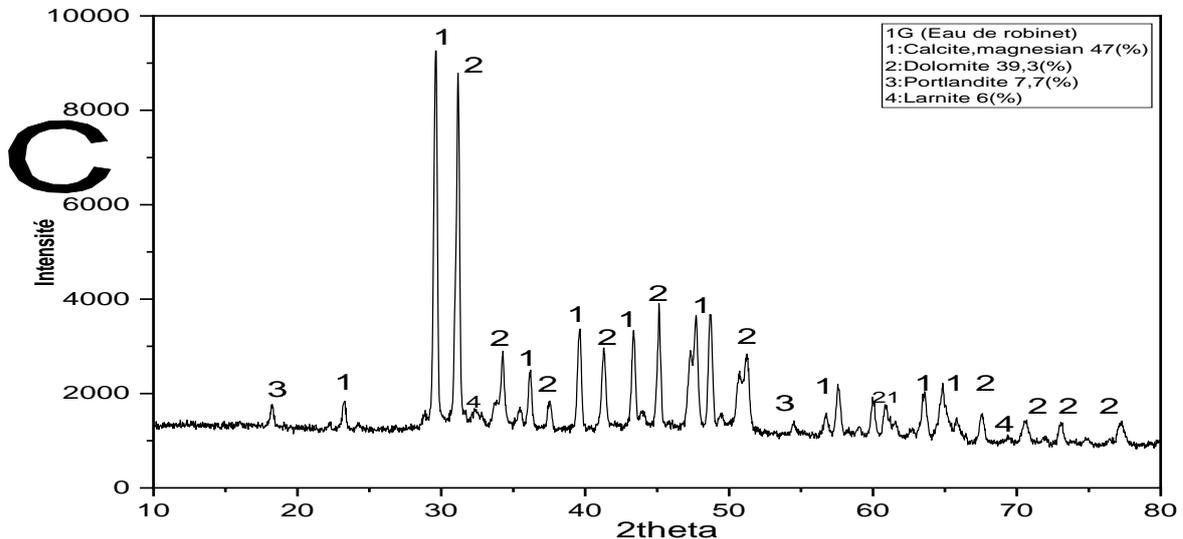


Figure IV.28 : Spectre DRX du mortier conservé dans l'eau de robinet.

L'eau de robinet semble donc contenir principalement des carbonates de calcium et de magnésium (calcite et dolomite), avec traces de composés hydroxylés (portlandite) et de silicates (larnite). Les proportions relatives des phases cristallines fournissent des informations sur la composition minéralogique de l'échantillon analysé.

Les spectres DRX du mortier conservé dans l'eau de robinet et dans l'eau distillée montrent des différences significatives. Le spectre de l'eau de robinet pourrait révéler des déplacements ou des intensités de pic différents par rapport à celui de l'eau distillée, indiquant des altérations potentielles dans la structure cristalline ou la composition du mortier. Ces observations suggèrent que l'eau de robinet pourrait influencer chimiquement le mortier, contrairement à l'eau distillée, qui est plus neutre et moins réactive.

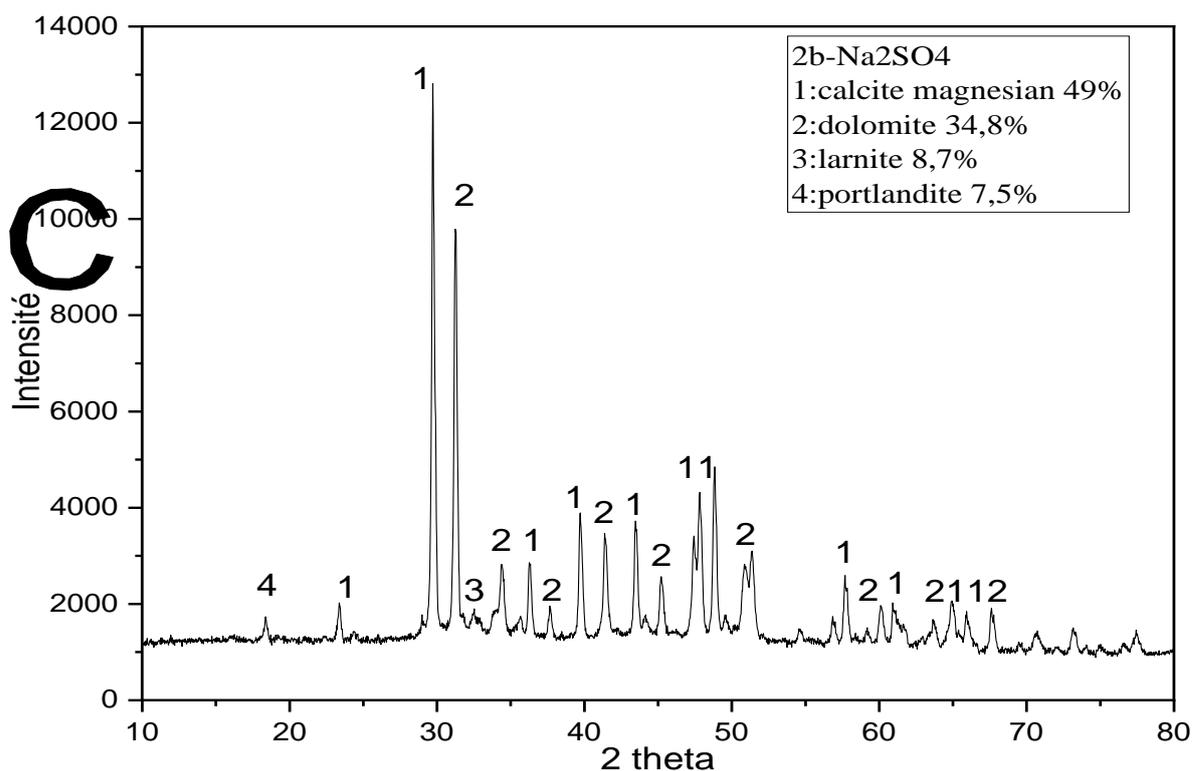
IV.4.2. Sulfate de sodium (Na_2SO_4)

Figure IV.29 : Spectre DRX du mortier conservé dans la solution de sulfate de sodium

Dans la solution de sulfate de sodium, le mortier présente une forte intensité de calcite magnésienne et dolomite, avec des quantités notables de larnite et portlandite. En comparaison, dans l'eau distillée, la calcite magnésienne et la dolomite restent dominantes, mais la larnite et la portlandite sont présentes en quantités moindres. Cette différence suggère une influence significative de la solution de sulfate de sodium sur la composition minéralogique du mortier, modifiant la présence relative des phases identifiées par spectre DRX.

Les résultats de l'identification des acides sulfuriques et chlorhydrique, et le sulfate de sodium et l'eau de robinet et distillée sont représentés dans les tableaux situés dans l'annexe(C).

IV.4.3. Acide chlorhydrique (HCL)

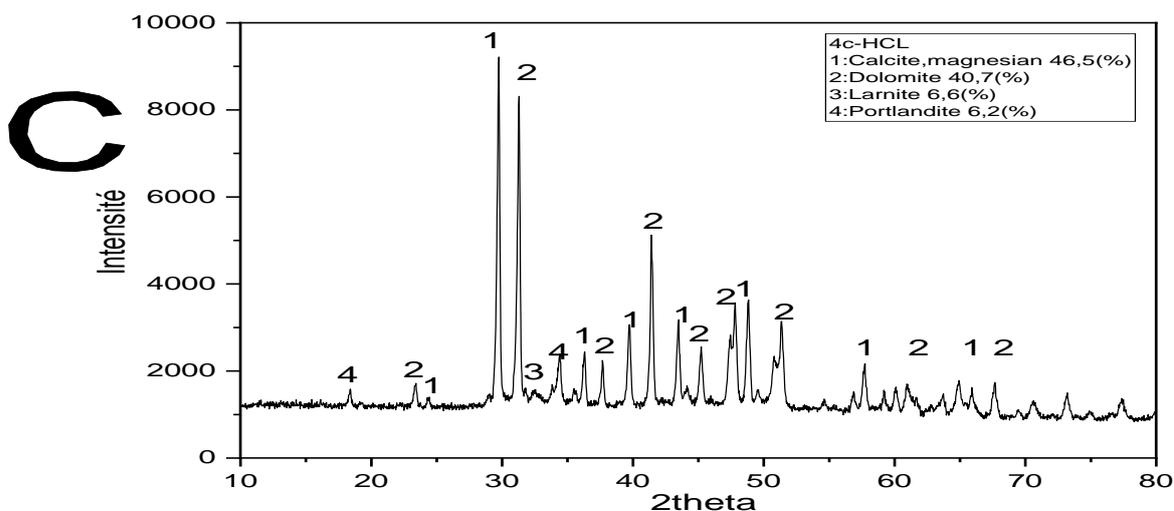


Figure IV.30 : Spectre (DRX) des mortiers conservés dans l'acide chlorhydrique (HCL)

. Le spectre DRX des mortiers exposés à l'acide chlorhydrique révèle une composition dominée par la calcite magnésienne (46,5%) et la dolomite (40,7%), avec des traces de larnite (6,6%) et de portlandite (6,2%). Le pic le plus intense correspond à la calcite magnésienne, suivi par la dolomite. En comparaison, le spectre DRX des mortiers dans l'eau distillée montrerait probablement une distribution minéralogique distincte, reflétant des conditions de conservation différentes sans l'effet corrosif de l'acide chlorhydrique.

IV.4.4. Acide sulfurique H2SO4

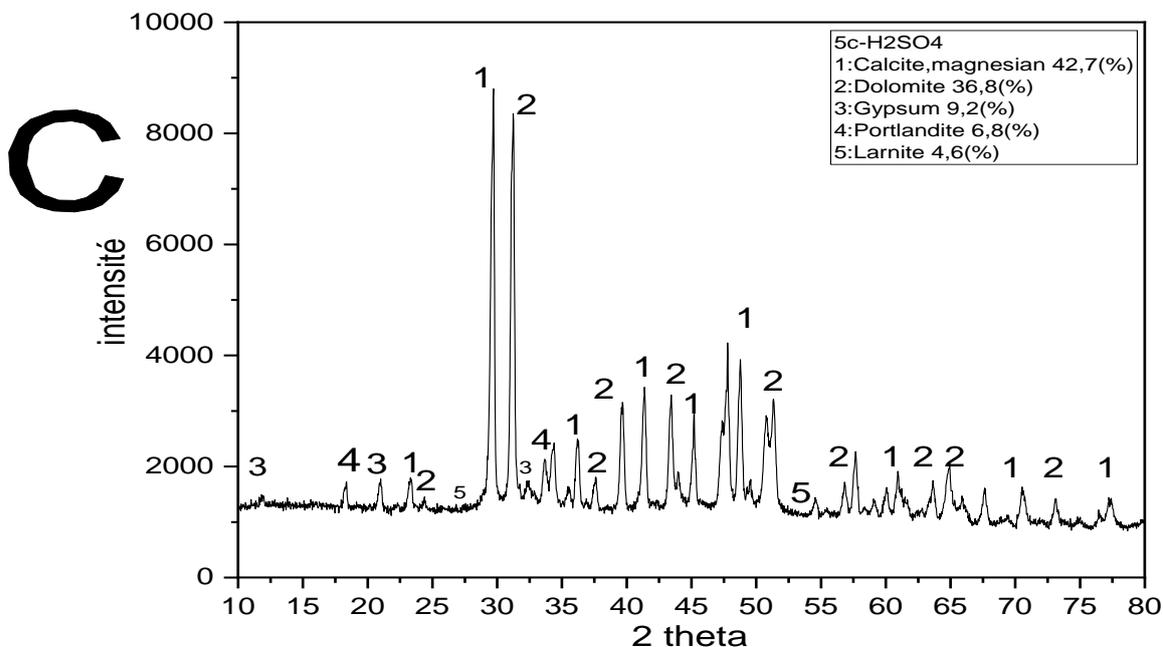


Figure IV.31 : Spectre (DRX) des mortiers de l'acide sulfurique (H2SO4)

Les spectres DRX montrent que les mortiers exposés à l'acide sulfurique présentent une concentration plus élevée de gypse et de portlandite, avec calcite magnésienne et dolomite comme principales phases. En comparaison, les échantillons conservés dans l'eau distillée montrent des quantités moindres de gypse et portlandite, avec une composition dominée par la calcite magnésienne et la dolomite. Les pics de DRX indiquent des différences dans l'abondance relative des phases, reflétant l'impact de l'environnement sur la composition minéralogique des mortiers.

IV.4.5. Eau distillée

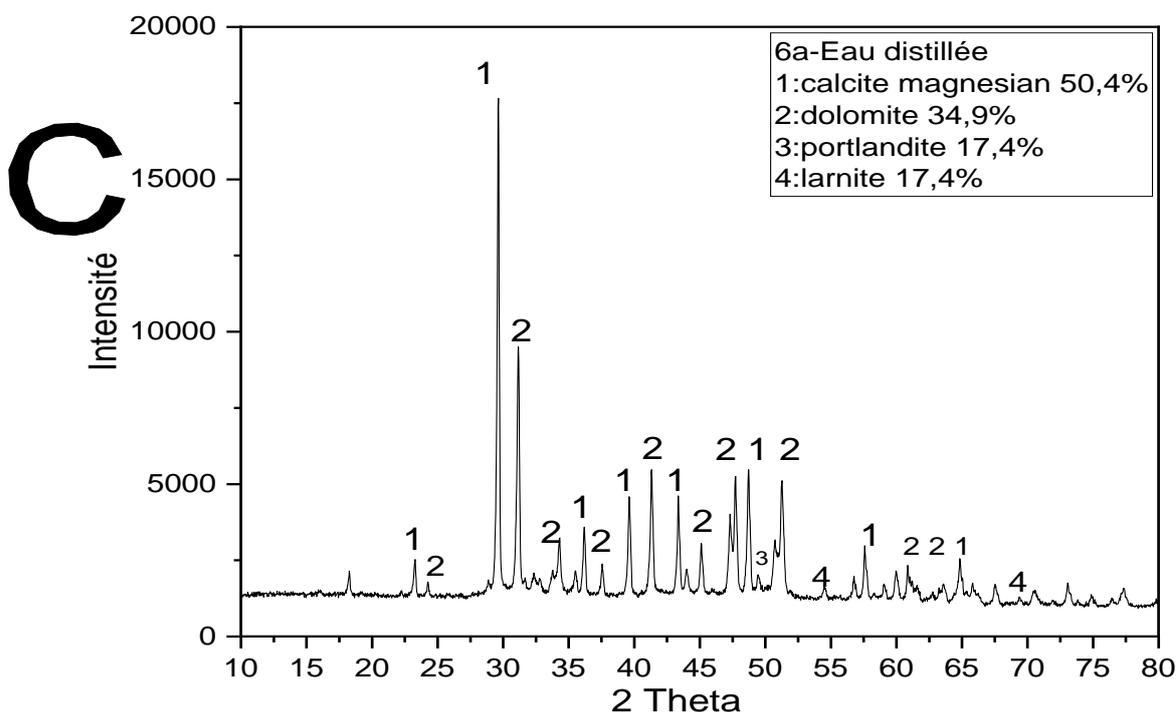


Figure IV.32 : Spectre DRX des échantillons conservés dans l'eau distillée

Le pic le plus intense (d'intensité la plus élevée) est étiqueté avec 1 indiquant une présence significative de calcite magnésienne. La dolomite et la phase 2 sont la plus présente, comme indiqué par les pics étiquetés 2. Les plus petits pics 3 et 4 représentent respectivement la larnite et le portlandien, présents en quantité égale mais plus faible que la calcite magnésienne et la dolomite. Les intensités relatives de ces pics peuvent être utilisées pour quantifier la phase, comme indiqué par les pourcentages dans la légende.

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté et discuté les différents résultats obtenus sur les différents essais mécaniques et physiques des mortiers conservés dans des milieux différents afin de voir leur comportement. Ces résultats sont présentés sous forme de tableaux en annexe, et aussi sous forme de courbes et histogrammes.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce mémoire se focalise sur l'étude de la dégradation des mortiers sous forme de prismes de 4x4x16 cm³ à base de ciment soumis aux attaques chimiques, notamment: l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique et les sulfates de magnésium, de calcium et de sodium. Des mortiers témoins ont été également testés dans l'eau de robinet et dans l'eau distillée.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer le comportement des différents échantillons de mortiers face aux agressions chimiques.

Les résultats obtenus dans cette recherche ont fourni des informations sur les matériaux cimentaires exposés à des attaques chimiques.

Les différentes conclusions tirées dans cette étude sont :

-Diminution de la Résistance: Les acides provoquent une perte de la résistance à la compression des mortiers. Cette dégradation est due à la dissolution des composants cimentaires, comme le calcium, qui assurent la cohésion du matériau.

-Différenciation entre les types d'acides: L'acide sulfurique tend à être plus agressif que l'acide chlorhydrique en raison de la formation de composés expansifs. Cependant l'acide chlorhydrique peut pénétrer plus rapidement en raison de sa nature plus agressive en termes de dissolution des carbonates.

-Différenciation entre les types des sulfates : Les attaques sulfatiques par le sodium, le magnésium et le calcium provoquent une dégradation significative des mortiers, entraînant une diminution de leur résistance mécanique et une augmentation de leur porosité. Les sulfates réagissent avec les composants cimentaires pour former des produits expansifs comme l'ettringite et le gypse, causant des fissures et des déformations. La durabilité et l'intégrité structurale des matériaux sont ainsi compromises.

-Influence de la composition principale: Les composantes des mortiers, notamment la quantité de ciment joue un rôle dans la résistance aux attaques chimiques.

-Analyse par diffraction par rayonnement X (DRX) : Cette analyse révèle sur les bétons et les mortiers, la composition minéralogique précise de ces matériaux, permettant d'identifier les phases cristallines présentes. Ces analyses montrent l'évolution des produits d'hydratation, la formation de nouvelles phase minérales lors des réactions chimiques, et la dégradation due à des agents agressifs comme les sulfates et les acides. La (DRX) aide ainsi

Conclusion Générale

à comprendre les mécanismes de dégradation et à évaluer la durabilité et la qualité des mortiers en fonction de leur composition minérale.

Les attaques des sulfates (sodium, calcium et de magnésium) et des acides (sulfurique, chlorhydrique) provoquent une dégradation importante des mortiers, réduisant leur résistance mécanique et augmentant leur porosité. Ces agents chimiques réagissent avec les composants cimentaires, formant des produits expansifs et solubles qui compromettent leur durabilité et intégrité structurelle.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]: V. PHOUMMAVONG « Cours en ligne Matériaux de Construction », Université national LAOS, 2006.
- [2] :et Bachir-y-chimies des matériaux industrielles, université Mohamed Boudiaf, faculté de chimie, département de génie des matériaux 2014 p12
- [3]: Y. CHERAIT et Z. NAFA, « élément de matériau de construction et essais », I-S-B. N: 9961_9548_7_4,
- [4]: BENHAMOU, « Comportement rhéologique des coulis de liants hydrauliques ultrafins destinée à l'injection », Thèse de doctorat en géologie de l'Ingénieur, l'université: Paris, ENMP,1994.
- [5]: NF EN 197-1: ciment composition spécification et critère de conformité des ciments courants p15 101-1
- [6]: <http://www.guidebeton.com/eau-gachage>
- [7]: NF EN 1008: Eau de gâchage pour béton s–Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, Y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton, P 18-211,
- [8]: BERRAIH MIMOUN. (ENSET Oran 2009/2010). « Etude des mortiers contenant de la pouzzolane naturelle et des déchets de verre » mémoire pour l'obtention du diplôme de magister en Génie Civil, option géo matériaux.
- [9]: Les mortiers, université Badji Mokhtar Annaba
- [10]: V. PHOUMMAVONG « Cours en ligne Matériaux de Construction ». Université national LAOS 2006.
- [11]: MEHTA, P. K. Performance of concrète in marine environnements ACI SP-65, pp120, 1980
- [12]: [Htpps: //www.docsity.com/fr](https://www.docsity.com/fr)
- [13]: « Les principales dégradations du béton » par Dominique Boussuge, pathologie – expert technique et scientifique en ouvrage bâtis,2020
- [14]: Mémoire processus des préparations mines des ouvrages en béton, université Mohamed Khider Biskra,
- [15]: Guide béton .com/pathologies du béton,
- [16]: [www.construire –habitat.com/dégradation –béton causes et conséquence](http://www.construire-habitat.com/dégradation-béton-causes-et-conséquence)
- [17]: « la réaction sulfatique sur ouvrages de travaux publics et de génie civil, le 20 mars 2023 »,
- [18]: Chapitre 1: durabilité du béton vis-à-vis attaque sulfatique, université de Djelfa Achour Ziane,

Références bibliographiques

- [19]: Université Abdelhamid Iben Badis de Mostaganem, mémoire: synthèse bibliographique sur les principales dégradations, promotion 2019-2020
- [20]: « les principales dégradations du béton » par Dominique Boussuge, pathologie –expert technique et scientifique en ouvrage bâtis, 2020
- [21]: ITMAIZEH EHAB. « Pathologie de structure en béton armé ». Mémoire de Master. Université LARBI TEBSSI- TEBSSA. 2016
- [22]: NA EN 1097-6: Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats, Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau, 2005. P 18-650-6.
- [23]: fiche technique du ciment livré par groupe industriel des ciments d'Algérie, société des ciments d'AIN EL KEBIRA, Conformément à la norme NA 442 édition 2013.
- [24]: S. ATTIL. Cour « travaux pratiques », département génie civil, université de Bejaïa.
- [25]: formulaire fournisseur par laboratoire des Travaux publics de l'est.
- [26]: S. ATTIL. Cour « travaux pratiques », département génie civil, université de Bejaïa
- [27]: mémoire fin d'étude mestre génie civil, option: structure et matériaux: des caractéristique mécaniques et durabilité des béton et mortiers à base de fibres métallique, madi Katia, ferchouli razika, 2013-2014
- [28]: Mémoire de Master académique, thème: DURABILITE DES MORTIERS A BASE DE PERLITE (10%, 15%, 20%, 25%) AUX ATTAQUES ACIDES (HCl, H₂SO₄) - SLAMANI Abdelkader, MERSALI Chaouki ;2022/2023
- [29]: DURABILITE DES BETON, « Collection de l'association technique de l'industrie des Liants hydraulique, sous-directeur de Jacques BARON et Jean Pierre OLLIVIER », presses de L'école nationale des ponts et chaussées – 49.rue de l'université.75007 Paris, 1992. Ligne, Volume 7 Numéro 2 | septembre 2006, mis en ligne le 08 septembre 2006
- [30]: - [G.D] [J.F]: G. Dreux et Jean Festa « nouveau guide du béton et ces conditions », Editions Eyrolles page271-272
- [31]: - [R. D] [R. L]: R. Dupain, R. Lanchon, J-C. Saint.Arroman, “granulats, sols, ciments et Bétons” Editions Casteilla. Page 180-181
- [32]: mémoire fin de cycle master, thème valorisation d'un rejet d'usinage (fibre métalliques) dans les bétons et mortiers, bâchi Kahina, boughanem djahida, 2017/2018
- [33]: [R. D] [R. L]: R.Dupain, R.Lanchon, J-C.Saint.Arroman, “granulats, sols, ciments et bétons” Editions Casteilla. Page 180-181
- [34]: mémoire fin de cycle master, thème valorisation d'un rejet d'usinage (fibre métalliques) dans les bétons et mortiers, bachi kahina, boughanem djahida, 2017/2018

Annexes

Annexe A

Tableau IV-1: les résultats de l'essai de compression

Echantillon	Compression (MPa)
Eau de robinet (1)	45,695
Sulfate de sodium (Na ₂ SO ₄) (2)	46,895
Calcium sulfate (CaSO ₄) (3)	44,948
L'acide chlorhydrique (HCL) (4)	40,022
Acide sulfurique (H ₂ SO ₄) (5)	26,682
Eau distillé (6)	43,902
Sulfates de magnésium (11)	28,357

Tableau IV-2: Les résultats de traction

Echantillon	Traction (MPa)
Eau de robinet (1)	8,94
Sulfate de sodium (Na₂SO₄) (2)	9,41
Calcium sulfate (CaSO₄) (3)	8,23
L'acide chlorhydrique (HCL) (4)	7,31
Acide sulfurique (H₂SO₄) (5)	6,93
Eau distillé (6)	7,62
Sulfates de magnésium (11)	9,31

Annexes

Annexe A

Résultat de la traction

Échantillon	Traction F (KN) / C (MPa)
1a	Effort F=5,37
	Contraint C=8,4
1b	F=6,29
	C=9,83
1c	F=5,51
	C=8,61
2a	F=5,82
	C=9,09
2b	F=5,8
	C=9,07
2c	F=6,44
	C=10,07
3a	F=4,92
	C=7,69
3b	F=5,37
	C=8,4
3c	F=5,28
	C=8,26
4a	F=4,89
	C=7,65
4b	F=4,38
	C=6,85
4c	F=4,75
	C=7,43
5a	F=3,99
	C=6,23
5b	F=4,55
	C=7,12
5c	F=4,55
	C=7,45
6a	F=4,88
	C=7,64
6b	F=4,94
	C=7,73
6c	F=4,79
	C=7,49
11a	F=6,12
	C=9,57
11b	F=5,74
	C=8,98
	F=6,017

Annexe B

Résultats à la compression

Echantillon	Compression moitié (1) F(KN) ---C(MPa)	Compression moitié (2) F(KN) --- C(MPa)
11a	Effort F= 40,63	F=47,77
	Contraint C=25,39	C=29,86
11b	/	/
	/	/
11c	F=40,78	F=52,31
	C=25,49	C=32,69
4a	F=46,94	F=75,49
	C=29,33	C=47,18
4b	/	/
	/	/
4c	F=80,83	F=52,90
	C=50,51	C=33,06
5a	/	/
	/	/
5b	F=42,93	F=44,45
	C=26,83	C=27,78
5c	F=47,18	F=36,21
	C=29,43	C=22,63
3a	F=72,74	F=60,05
	C=45,46	C=37,53
3b	F=76,53	F=78,32
	C=47,83	C=48,95
3c	/	/
	/	/
1a	/	/
	/	/
1b	F=72,29	F=65,83
	C=45,18	C=41,15
1c	F=90,53	F=63,83

Annexes

	C=56,56	C=39,89
6a	F=68,90	F=96,97
	C=38,68	C=60,61
6b	/	/
	/	/
6c	F=52,52	F=68
	C=32,82	C=42,5
2a	F=84,17	F=69,27
	C=52,6	C=43,29
2b	F=58,19	F=88,51
	C=35,37	C=55,32
	/	/

Annexe B

Tableau IV-3: les résultats des éprouvettes conservés dans l'eau de robinet

Échantillon	Jour		Poids (g)	Dimension (pieds à coulisse) (cm)	Ultrason (Temps de propagation des ondes) (µs)
Eau de robinet	Avant de mettre l'échantillon dans l'éprouvette	Prisme 1	654	16/4	41
	24h	Prisme 1	654,6	16/4	35
	72h	Prisme 1	650	16/4	35,7
	07j	Prisme 1	658	16/4	36,5
	10j	Prisme 1	658,6	16/4,1	32
	14j	Prisme 1	658,6	16/4,2	32,6
	21j	Prisme 1	659,4	16,1/4	31,2
	28j	Prisme 1	659,4	16,1/4	31,7
	30j	Prisme 1	662,06	16,1/4,2	32,1

Tableau IV-4: Les valeurs de vitesse de propagation et de résistance à la compression l'eau de robinet

Echantillon	Jours	Temps de propagation(µs)	Vitesse de propagation(m/s)	Résistance à la compression(MPa)
Eau de robinet ;	Avant l'essai	41	$2,56 \cdot 10^{-4}$	8,17
	24h	35	$2,18 \cdot 10^{-4}$	8,17
	72h	35,7	$2,23 \cdot 10^{-4}$	8,17
	07j	36,5	$2,28 \cdot 10^{-4}$	8,17
	10j	32	$2,00 \cdot 10^{-4}$	8,17
	14j	32,6	$2,03 \cdot 10^{-4}$	8,17
	21j	31,2	$1,94 \cdot 10^{-4}$	8,17
	28j	31,7	$1,96 \cdot 10^{-4}$	8,17
30j	32,1	$1,99 \cdot 10^{-4}$	8,17	

Tableau IV-5: Les résultats des éprouvettes conservés dans les Sulfate de sodium

Échantillon	Jour		Poids (g)	Dimension (pied à coulisse) (cm)	Ultrason (Temps de propagation des ondes) (μ s)
Sulfate sodium (Na ₂ SO ₄)	Avant de mettre l'échantillon dans l'éprouvette	Prisme 2	647,3	16/4	41
	24h	Prisme 2	650,6	16,2/4,1	34
	72h	Prisme 2	651,3	16,2/4,1	36,5
	07j	Prisme 2	652,6	16/4	35,23
	10j	Prisme 2	652,6	16,2/4,1	33,2
	14j	Prisme 2	652,6	16,2/4,2	32,6
	21j	Prisme 2	653,27	16,4/4	32,8
	28j	Prisme 2	652,66	16,2/4,1	32,77
	30j	Prisme 2	653,5	16,2/4,1	33,5

**Tableau IV-6: les valeurs de vitesse de propagation et de résistance à la compression
Sulfate de sodium (Na₂SO₄)**

Echantillon	Jours	Temps de propagation(μs)	Vitesse de propagation(m/s)	Résistance à la compression(MPa)
Sulfate de sodium (Na ₂ SO ₄)	Avant l'essai	41	2,56*10 ⁻⁴	8,17
	24h	34	2,09*10 ⁻⁴	8,17
	72h	36,5	2,25*10 ⁻⁴	8,17
	07j	35,23	2,20*10 ⁻⁴	8,17
	10j	33,2	2,05*10 ⁻⁴	8,17
	14j	32,6	2,01*10 ⁻⁴	8,17
	21j	32,8	2,00*10 ⁻⁴	8,17
	28j	32,77	2,02*10 ⁻⁴	8,17
	30j	33,5	2,06*10 ⁻⁴	8,17

Tableau IV-7: Les résultats des éprouvettes conservés dans les Sulfate de calcium

Échantillon	Jour		Poids (g)	Dimension (pied à coulisse) (cm)	Ultrason (Temps de propagation des ondes) (μs)
Calcium sulfate (CaSO ₄)	Avant de mettre l'échantillon dans l'éprouvette	Prisme 3	639,3	16/4	42
	24h	Prisme 3	642	16/4	34,5
	72h	Prisme 3	642	16,1/4	36,1
	07j	Prisme 3	643,3	16/4	36,2
	10j	Prisme 3	644	16,1/4,1	33,2
	14j	Prisme 3	643,3	16,1/4,2	34,6
	21j	Prisme 3	644,7	16,2/4	33,06
	28j	Prisme 3	644,1	16,1/4	33,4
	30j	Prisme 3	644,7	16,2/4,1	32,9

**Tableau IV-8: Les valeurs de vitesse de propagation et de résistance à la compression
Calcium sulfate (CaSO₄)**

Echantillon	Jours	Temps de propagation(μs)	Vitesse de propagation(m/s)	Résistance à la compression(MPa)
Calcium sulfate (CaSO ₄)	Avant l'essai	42	2,63*10 ⁻⁴	8,17
	24h	34,5	2,15*10 ⁻⁴	8,17
	72h	36,1	2,24*10 ⁻⁴	8,17
	07j	36,2	2,26*10 ⁻⁴	8,17
	10j	33,2	2,06*10 ⁻⁴	8,17
	14j	34,6	2,15*10 ⁻⁴	8,17
	21j	33,06	2,04*10 ⁻⁴	8,17
	28j	33,4	2,07*10 ⁻⁴	8,17
	30j	32,9	2,03*10 ⁻⁴	8,17

Tableau IV-9: Les résultats des éprouvettes conservés dans l'acide chlorhydrique

Échantillon	Jour		Poids (g)	Dimension (pieds à coulisse) (cm)	Ultrason (Temps de propagation des ondes) (μs)
L'acide chlorhydrique (HCL)	Avant de mettre l'échantillon dans l'éprouvette	Prisme 4	624,3	16/4	40,32
	24h	Prisme 4	610,6	16/4	35,7
	72h	Prisme 4	612,6	16/3 ,9	42,5
	07j	Prisme 4	614,6	16/4	36,4
	10j	Prisme 4	614,6	16/3,9	35,2
	14j	Prisme 4	614,6	16,1/4,1	35
	21j	Prisme 4	615 ,2	16,3/4	34,1
	28j	Prisme 4	615,2	16,1/4	33,6
	30j	Prisme 4	614,4	16,1/4	34,2

Tableau IV-10: Les valeurs de vitesse de propagation et de résistance à la compression L'acide chlorhydrique (HCL)

Echantillon	Jours	Temps de propagation(μ s)	Vitesse de propagation(m/s)	Résistance à la compression(MPa)
L'acide chlorhydrique (HCL)	Avant l'essai	40,32	$2,52 \cdot 10^{-4}$	8,17
	24h	35,7	$2,23 \cdot 10^{-4}$	8,17
	72h	42,5	$2,65 \cdot 10^{-4}$	8,17
	07j	36,4	$2,27 \cdot 10^{-4}$	8,17
	10j	35,2	$2,20 \cdot 10^{-4}$	8,17
	14j	35	$2,17 \cdot 10^{-4}$	8,17
	21j	34,1	$2,09 \cdot 10^{-4}$	8,17
	28j	33,6	$2,08 \cdot 10^{-4}$	8,17
	30j	34,2	$2,12 \cdot 10^{-4}$	8,17

Tableau IV-11: Les résultats des éprouvettes conservés dans l'acide sulfurique

Échantillon	Jour		Poids (g)	Dimension (pieds à coulisse) (cm)	Ultrason (Temps de propagation des ondes) (μ s)
Acide sulfurique (H ₂ SO ₄)	Avant de mettre l'échantillon dans l'éprouvette	Prisme 5	620	15,8/3,8	39,8
	24h	Prisme 5	617	16/4	34
	72h	Prisme 5	615	16/3,8	37,5
	07j	Prisme 5	604	16/4	36,5
	10j	Prisme 5	596	16,1/4	33,9
	14j	Prisme 5	585	16,1/4	34,7
	21j	Prisme 5	569,8	16,3/4	36,1
	28j	Prisme 5	557,1	16/3,9	36
	30j	Prisme 5	547,5	16/3,8	35,1

Tableau IV-12: Les valeurs de vitesse de propagation et de résistance à la compression Acide sulfurique (H₂SO₄)

Echantillon	Jours	Temps de propagation(μs)	Vitesse de propagation(m/s)	Résistance à la compression(MPa)
Acide sulfurique (H ₂ SO ₄)	Avant l'essai	39,8	2,52*10 ⁻⁴	8,17
	24h	34	2,12*10 ⁻⁴	8,17
	72h	37,5	2,35*10 ⁻⁴	8,17
	07j	36,5	2,28*10 ⁻⁴	8,17
	10j	33,9	2,10*10 ⁻⁴	8,17
	14j	34,7	2,15*10 ⁻⁴	8,17
	21j	36,1	2,21*10 ⁻⁴	8,17
	28j	36	2,25*10 ⁻⁴	8,17
	30j	35,1	2,19*10 ⁻⁴	8,17

Tableau IV-13: Les résultats des éprouvettes conservés dans l'eau distillé

Échantillon	Jour		Poids (g)	Dimension (pieds à coulisse) (cm)	Ultrason (Temps de propagation des ondes) (μs)
Eau distillé	Avant de mettre l'échantillon dans l'éprouvette	Prisme 6	641,3	15,6/3,8	41,6
	24h	Prisme 6	643,3	16/3,7	39
	72h	Prisme 6	645,3	16,1/4	39,3
	07j	Prisme 6	646	16,1/4	34,7
	10j	Prisme 6	646	16/3,9	32,1
	14j	Prisme 6	646	16,2/4,2	31,6
	21j	Prisme 6	645,9	16,2/4	31,5
	28j	Prisme 6	650,9	16,2/4,1	33,3
	30j	Prisme 6	646	16,1/4,1	33,9

Tableau IV-14: Les valeurs de vitesse de propagation et de résistance à la compression Eau distillé

Echantillon	Jours	Temps de propagation(μs)	Vitesse de propagation(m/s)	Résistance à la compression(MPa)
Eau distillé	Avant l'essai	41,6	$2,66 \cdot 10^{-4}$	8,17
	24h	39	$2,44 \cdot 10^{-4}$	8,17
	72h	39,3	$2,44 \cdot 10^{-4}$	8,17
	07j	34,7	$12,15 \cdot 10^{-4}$	8,17
	10j	32,1	$2,006 \cdot 10^{-4}$	8,17
	14j	31,6	$1,950 \cdot 10^{-4}$	8,17
	21j	31,5	$1,94 \cdot 10^{-4}$	8,17
	28j	33,3	$2,05 \cdot 10^{-4}$	8,17
	30j	33,9	$2,10 \cdot 10^{-4}$	8,17

Tableau IV-15: Les résultats des éprouvettes conservés dans les sulfates de magnésium

Échantillon	Jour		Poids (g)	Dimension (pieds à coulisse) (cm)	Ultrason (Temps de propagation des ondes) (μs)
Les sulfates de magnésium	Avant de mettre l'échantillon dans l'éprouvette	Prisme 11	636	15,9/4	41,3
	24h	Prisme 11	637,3	16/4	33,9
	72h	Prisme 11	636,7	16/3,9	36,3
	07j	Prisme 11	639,3	16/4	36,3
	10j	Prisme 11	639,3	16/4	33,6
	14j	Prisme 11	639,3	16/4	34,1
	21j	Prisme 11	640,5	16,2/4	32,7
	28j	Prisme 11	640,6	16,1/4	33,7
	30j	Prisme 11	640,6	16,1/4,1	33,2

Tableau IV-16: Les valeurs de vitesse de propagation et de résistance à la compression les sulfates de magnésium

Echantillon	Jours	Temps de propagation(μs)	Vitesse de propagation(m/s)	Résistance à la compression(MPa)
Sulfates de magnésium	Avant l'essai	41,3	$2,59 \cdot 10^{-4}$	8,17
	24h	33,9	$2,12 \cdot 10^{-4}$	8,17
	72h	36,3	$2,26 \cdot 10^{-4}$	8,17
	07j	36,6	$2,26 \cdot 10^{-4}$	8,17
	10j	33,6	$2,10 \cdot 10^{-4}$	8,17
	14j	34,1	$2,13 \cdot 10^{-4}$	8,17
	21j	32,7	$2,01 \cdot 10^{-4}$	8,17
	28j	33,7	$2,09 \cdot 10^{-4}$	8,17
	30j	33,2	$2,06 \cdot 10^{-4}$	8,17

Tableau IV-17: Les résultats d'essai de dessiccateur

Echantillon	Masse avant (g)	Masse après (g)
1a	329,9	321,4
2c	342,7	342,9
3c	326,4	326,9
4b	316,4	317,7
5a	287,6	287,3
6b	334,1	324,8
11b	295,2	395,3

Tableau IV-18: Différence de masse et taux d'humidité

Echantillons	Différence de masse(g)	Taux d'humidité%
1a	8,5	2,57
2c	-0,2	-0,06
3c	-0,5	-0,15
4b	-1,3	-0,41
5a	0,3	0,1
6b	9,3	2,78
11b	-100,1	-33,91

Tableau IV-19: Représente les résultats La poussé d'Archimède

Echantillon	Masse saturé (g)	Masse (g)
1a	306,53	178,05
2c	306,12	176,46
3c	314,91	181,04
4b	294,21	169,44
5a	265,24	151,6
6b	309,56	180,25
11b	343 ,22	198,25

Tableau IV-20: Volume et densité apparente

Echantillon	Volume déplacé V (cm ³)	Densité apparente ρ (g/cm ³)
1a	128,48	2,38
2c	129,66	2,36
3c	133,87	2,35
4b	124,64	2,36
5a	113,64	2,33
6b	129,31	2,39
11b	144,97	2,37

Tableau IV-21: Représente les résultats de La poussé hydrostatique

Echantillon	Masse son paraffine (g)	Masse avec la paraffine (g)	Masse dans l'eau (g)
1a	303	312,61	173,29
2c	303,27	313,54	173,53
3c	310,08	321,90	175,80
4b	289,29	300,66	164,24
5a	263,2	272,87	149,23
6b	306,32	315,10	177,09
11b	339,33	351,08	193,83

Tableau IV-22: représente les résultats La conductivité thermique

Echantillon	λ (w/m. k)
1a	2,4670
2c	2,4618
3c	2,4430
4b	2,6502
5a	/
6b	2,6384
11b	2,6231

Annexe C

Analyse par diffraction des rayons x

Tableau IV-18: identification de l'Eau de robinet

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ. [°2θ]	Scale Fac.	Chem. Formula
*	01-071-4892	62	Calcium Magnesium Carbonate	0.000	0.969	Ca Mg (CO ₃) ₂
*	98-004-0108	71	Calcite, Magnesian	0.000	0.975	C ₁ Ca _{0.936} Mg _{0.064} O ₃
*	98-004-3433	48	Portlandite	0.000	0.211	H ₂ Ca ₁ O ₂
*	01-072-1130	36	Calcium Silicate	0.000	0.180	Ca ₂ (Si O ₄)

Tableau IV-19: Identification de Sulfate de sodium Na₂SO₄

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ. [°2θ]	Scale Fac.	Chem. Formula
*	01-071-4892	37	Calcium Magnesium Carbonate	0.000	0.426	Ca Mg (CO ₃) ₂
*	98-004-0108	26	Calcite, Magnesian	0.000	0.330	C ₁ Ca _{0.936} Mg _{0.064} O ₃
*	98-004-3433	23	Portlandite	0.000	0.099	H ₂ Ca ₁ O ₂
*	01-072-1130	29	Calcium Silicate	0.000	0.077	Ca ₂ (Si O ₄)

Tableau IV-20: Identification d'Acide chlorhydrique HCL :

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ. [°2θ]	Scale Fac.	Chem. Formula
*	01-071-4892	52	Calcium Magnesium Carbonate	0.000	0.493	Ca Mg (CO ₃) ₂
*	98-004-0108	54	Calcite, Magnesian	0.000	0.485	C ₁ Ca _{0.936} Mg _{0.064} O ₃
*	98-004-3433	26	Portlandite	0.000	0.121	H ₂ Ca ₁ O ₂
*	01-072-1130	18	Calcium Silicate	0.000	0.099	Ca ₂ (Si O ₄)

Tableau IV-21: identification d'Acide sulfurique H₂SO₄

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ. [°2θ]	Scale Fac.	Chem. Formula
*	01-071-4892	37	Calcium Magnesium Carbonate	0.000	0.806	Ca Mg (CO ₃) ₂
*	98-004-0108	37	Calcite, Magnesian	0.000	0.875	C ₁ Ca _{0.936} Mg _{0.064} O ₃
*	98-004-3433	23	Portlandite	0.000	0.180	H ₂ Ca ₁ O ₂
*	01-072-1130	30	Calcium Silicate	0.000	0.190	Ca ₂ (Si O ₄)
*	98-016-1627	27	Gypsum	0.000	0.276	H ₄ Ca ₁ O ₆ S ₁

Tableau IV-22: Identification d'eau distiller

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ. [°2θ]	Scale Fac.	Chem. Formula
*	01-071-4892	40	Calcium Magnesium Carbonate	0.000	0.545	Ca Mg (CO ₃) ₂
*	98-004-0108	42	Calcite, Magnesian	0.000	0.684	C ₁ Ca _{0.936} Mg _{0.064} O ₃
*	98-004-3433	29	Portlandite	0.000	0.097	H ₂ Ca ₁ O ₂
*	01-072-1130	32	Calcium Silicate	0.000	0.094	Ca ₂ (Si O ₄)

Analyse par rayonne (FRX) :

Figure IV-1: Fiche technique des composantes de sulfate de sodium

	Material Test Report	
Test #1799 14/06/2024 à 17:44		
<h1>No Match</h1>	Unused 1 : Test Pièces Euro Unused 2 : Amar Unused 3 : Univ Bejaia	
No Match Number		
No Match		
No Match Number		
No Match		
No Match Number		
E.L 59,89% ^{+/-0,000%} Léger	Mg 5,23% ^{+/-0,387%} Magnesium	
Al 1,87% ^{+/-0,045%} Aluminum	Si 2,52% ^{+/-0,027%} Silicon	
S 1,05% ^{+/-0,007%} Sulfur	K 240,5 PPM ^{+/-20,6 PPM} Potassium	
Ca 27,72% ^{+/-0,028%} Calcium	Ti 546,9 PPM ^{+/-138,4 PPM} Titanium	
Mn 194,3 PPM ^{+/-29,9 PPM} Manganese	Fe 1,50% ^{+/-0,018%} Iron	
Zn 209,5 PPM ^{+/-10,7 PPM} Zinc	As 104,1 PPM ^{+/-5,5 PPM} Arsenic	
Sr 689,2 PPM ^{+/-7,9 PPM} Strontium	Sb 74,1 PPM ^{+/-17,9 PPM} Antimony	
Pb 188,3 PPM ^{+/-7,4 PPM} Lead		

Figure IV-2: Fiche technique des composantes de l'acide chlorhydrique



Material Test Report



Test #1803 14/06/2024 à 17:50

No Match

No Match Number

No Match

No Match Number

No Match

No Match Number

Unused 1 : Test Pièces Euro

Unused 2 : Amar

Unused 3 : Univ Bejaia

E.L 51,20% ^{±0,000%} Léger	Mg 1,74% ^{±0,478%} Magnesium
Al 1,54% ^{±0,045%} Aluminium	Si 1,20% ^{±0,022%} Silicon
S 10,81% ^{±0,025%} Sulfur	K 1579,6 PPM ^{±31,5 PPM} Potassium
Ca 31,77% ^{±0,033%} Calcium	Mn 179,1 PPM ^{±31,7 PPM} Manganese
Fe 1,41% ^{±0,018%} Iron	Cu 25,5 PPM ^{±6,0 PPM} Copper
Zn 163,9 PPM ^{±10,1 PPM} Zinc	As 95,1 PPM ^{±5,9 PPM} Arsenic
Sr 924,3 PPM ^{±3,5 PPM} Strontium	Sb 66,6 PPM ^{±15,1 PPM} Antimony
Pb 192,8 PPM ^{±8,0 PPM} Lead	

Figure IV-3: fiche technique des composantes d'acide sulfurique

		Material Test Report			
Test #1802 14/06/2024 à 17:49					
<h1>No Match</h1> <p>No Match Number</p> <p>No Match</p> <p>No Match Number</p> <p>No Match</p> <p>No Match Number</p>			Unused 1 : Test Pièces Euro Unused 2 : Amar Unused 3 : Univ Bejaia		
E.L 57,46% ^{+/-0,000%} Léger			Mg 1,91% ^{+/-0,439%} Magnésium		
Al 2,13% ^{+/-0,048%} Aluminium			Si 4,64% ^{+/-0,035%} Silicon		
S 9,82% ^{+/-0,023%} Sulfur			K 1677,5 PPM ^{+/-29,6 PPM} Potassium		
Ca 19,96% ^{+/-0,024%} Calcium			Ti 1595,1 PPM ^{+/-177,1 PPM} Titanium		
Cr 120,3 PPM ^{+/-36,3 PPM} Chromium			Mn 155,8 PPM ^{+/-27,2 PPM} Manganese		
Fe 3,58% ^{+/-0,026%} Iron			Cu 24,5 PPM ^{+/-5,7 PPM} Copper		
Zn 191,9 PPM ^{+/-10,3 PPM} Zinc			As 144,9 PPM ^{+/-7,4 PPM} Arsenic		
Rb 6,8 PPM ^{+/-1,8 PPM} Rubidium			Sr 760,5 PPM ^{+/-8,3 PPM} Strontium		

Figure IV-4: fiche technique des composantes de l'eau distillée



Material Test Report

Test #1801 14/06/2024 à 17:48



No Match

No Match Number

No Match

No Match Number

No Match

No Match Number

Unused 1 : Test Pièces Euro

Unused 2 : Amar

Unused 3 : Univ Bejaia

<p>E.L 63,07% ^{+/-0,000%} Léger</p>	<p>Mg 3,10% ^{+/-0,431%} Magnesium</p>
<p>Al 1,53% ^{+/-0,040%} Aluminium</p>	<p>Si 1,80% ^{+/-0,023%} Silicon</p>
<p>S 1345,8 PPM ^{+/-31,0 PPM} Sulfur</p>	<p>K 1798,4 PPM ^{+/-25,0 PPM} Potassium</p>
<p>Ca 29,06% ^{+/-0,028%} Calcium</p>	<p>Mn 137,2 PPM ^{+/-26,5 PPM} Manganese</p>
<p>Fe 9940,3 PPM ^{+/-141,6 PPM} Iron</p>	<p>Zn 94,9 PPM ^{+/-7,2 PPM} Zinc</p>
<p>As 48,8 PPM ^{+/-4,9 PPM} Arsenic</p>	<p>Sr 792,4 PPM ^{+/-8,2 PPM} Strontium</p>
<p>Sb 56,7 PPM ^{+/-16,4 PPM} Antimony</p>	<p>Pb 145,2 PPM ^{+/-7,2 PPM} Lead</p>

Figure IV-5: Fiche technique des composantes de l'eau de robinet

	Material Test Report		
Test #1800 14/06/2024 à 17:46			
No Match	Unused 1 : Test Pièces Euro Unused 2 : Amar Unused 3 : Univ Bejaia		
No Match Number			
No Match			
No Match Number			
No Match			
No Match Number			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> E.L 60,06% ^{+/-0,000%} <small>Léger</small> </td> </tr> </table>	E.L 60,06% ^{+/-0,000%} <small>Léger</small>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Mg 3,65% ^{+/-0,429%} <small>Magnesium</small> </td> </tr> </table>	Mg 3,65% ^{+/-0,429%} <small>Magnesium</small>
E.L 60,06% ^{+/-0,000%} <small>Léger</small>			
Mg 3,65% ^{+/-0,429%} <small>Magnesium</small>			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Al 1,69% ^{+/-0,044%} <small>Aluminum</small> </td> </tr> </table>	Al 1,69% ^{+/-0,044%} <small>Aluminum</small>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Si 1,39% ^{+/-0,022%} <small>Silicon</small> </td> </tr> </table>	Si 1,39% ^{+/-0,022%} <small>Silicon</small>
Al 1,69% ^{+/-0,044%} <small>Aluminum</small>			
Si 1,39% ^{+/-0,022%} <small>Silicon</small>			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> S 2,13% ^{+/-0,010%} <small>Sulfur</small> </td> </tr> </table>	S 2,13% ^{+/-0,010%} <small>Sulfur</small>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> K 1277,5 PPM ^{+/-24,5 PPM} <small>Potassium</small> </td> </tr> </table>	K 1277,5 PPM ^{+/-24,5 PPM} <small>Potassium</small>
S 2,13% ^{+/-0,010%} <small>Sulfur</small>			
K 1277,5 PPM ^{+/-24,5 PPM} <small>Potassium</small>			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Ca 29,65% ^{+/-0,029%} <small>Calcium</small> </td> </tr> </table>	Ca 29,65% ^{+/-0,029%} <small>Calcium</small>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Mn 197,2 PPM ^{+/-29,3 PPM} <small>Manganese</small> </td> </tr> </table>	Mn 197,2 PPM ^{+/-29,3 PPM} <small>Manganese</small>
Ca 29,65% ^{+/-0,029%} <small>Calcium</small>			
Mn 197,2 PPM ^{+/-29,3 PPM} <small>Manganese</small>			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Fe 1,17% ^{+/-0,015%} <small>Iron</small> </td> </tr> </table>	Fe 1,17% ^{+/-0,015%} <small>Iron</small>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Cu 16,6 PPM ^{+/-4,9 PPM} <small>Copper</small> </td> </tr> </table>	Cu 16,6 PPM ^{+/-4,9 PPM} <small>Copper</small>
Fe 1,17% ^{+/-0,015%} <small>Iron</small>			
Cu 16,6 PPM ^{+/-4,9 PPM} <small>Copper</small>			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Zn 159,3 PPM ^{+/-9,0 PPM} <small>Zinc</small> </td> </tr> </table>	Zn 159,3 PPM ^{+/-9,0 PPM} <small>Zinc</small>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> As 84,2 PPM ^{+/-5,0 PPM} <small>Arsenic</small> </td> </tr> </table>	As 84,2 PPM ^{+/-5,0 PPM} <small>Arsenic</small>
Zn 159,3 PPM ^{+/-9,0 PPM} <small>Zinc</small>			
As 84,2 PPM ^{+/-5,0 PPM} <small>Arsenic</small>			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Sr 693,9 PPM ^{+/-7,6 PPM} <small>Strontium</small> </td> </tr> </table>	Sr 693,9 PPM ^{+/-7,6 PPM} <small>Strontium</small>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Sb 78,3 PPM ^{+/-17,0 PPM} <small>Antimony</small> </td> </tr> </table>	Sb 78,3 PPM ^{+/-17,0 PPM} <small>Antimony</small>
Sr 693,9 PPM ^{+/-7,6 PPM} <small>Strontium</small>			
Sb 78,3 PPM ^{+/-17,0 PPM} <small>Antimony</small>			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;"> Pb 163,0 PPM ^{+/-6,7 PPM} <small>Lead</small> </td> </tr> </table>	Pb 163,0 PPM ^{+/-6,7 PPM} <small>Lead</small>		
Pb 163,0 PPM ^{+/-6,7 PPM} <small>Lead</small>			

Annexe D

Tableau II-1: fiche technique du ciment utilisé [22]

Compositions chimiques norme (EN 196-2)			Essais physiques norme (EN 196-3 et 6)		Garantie NA 442	Mesures
Éléments		Mesure	P. S	(g/cm ³)		3,22
SiO ₂ -T	%	20,82	SSB	cm ² /g		3318
Al ₂ O ₃	%	4,37	Temps de prise min	Début	≥60	211
Fe ₂ O ₃	%	5,34		Fin		316
CaO-T	%	63,38	Expansion mm	A. Chaud	≤10	0,09
MgO	%	1,42	Refus %	45μ		22,06
SO ₃	≤3%	2,15	Consistance normale	%		24,52
K ₂ O	%	0,27	S.C.A.E. K			
Na ₂ O	%	0,13				
CI	≤0,1%	0,000				
P. A. F	%	0,77				
CaO libre (PT207 CERILH 1970)	%	0,64				
R.Insoluble	%	0,80				
Composition potentielle du ciment (BOGUE)			Caractéristiques mécanique norme (196-1)			
C3S	%	60,316	R. flexion MPA	02 jours		3,8
C2S	%	12,06		28 jours		7,5
C3A	%	2,55	R. compression MPA	02 jours	≥10	16,4
C4AF	%	16,23		28 jours	≥42,5	46,4

Mécanisme de dégradation du mortier

Résumé

Les mécanismes de dégradation des bétons et mortiers sont influencés par plusieurs facteurs. La corrosion des armatures en acier, due à la pénétration de chlorures et de CO₂, est une cause majeure de détérioration. Les réactions chimiques interne, comme l'alcali-réaction, provoquent des expansions et des fissurations. Les cycles de gel-dégel entraînent la formation de fissures et l'éclatement de la surface.

Les attaques chimiques, notamment par les sulfates, dégradent la matrice du ciment. L'humidité et les cycles de séchage contribuent également à la détérioration.

Une compréhension approfondie de ces mécanismes est essentielle pour développer des matériaux plus durables et des stratégies de prévention efficaces.

Notre travail consiste à l'étude de :

- L'influence des attaques chimiques (sulfates et acides) sur le comportement mécanique (traction et compression) du mortiers et bétons en les comparants à un mortier et béton témoin).
- Influence de la Composition principale, notamment la quantité de ciment qui joue un rôle dans la résistance aux attaques chimiques.
- L'évolution des phases de cristallines des pâtes de ciment durci a été suivie par diffraction aux rayons X.

Mots clés : Mortier, Résistance, Béton, Attaques chimiques, Dégradation.

Abstract

The mechanisms of degradation of concrete and mortar are influenced by several factors. The corrosion of steel reinforcements, due to the penetration of chlorides and CO₂, is a major cause of deterioration. Internal chemical reactions, such as alkali-silica reaction, cause expansions and cracking. Freeze-thaw cycles lead to the formation of cracks and surface spalling.

Chemical attacks, especially by sulfates, degrade the cement matrix. Moisture and drying cycles also contribute to deterioration.

A thorough understanding of these mechanisms is essential for developing more durable materials and effective prevention strategies.

Our work involves studying:

- The influence of chemical attacks (sulfates and acids) on the mechanical behavior (tensile and compressive strength) of mortar and concrete by comparing them to a control mortar and concrete.
- The influence of the main composition, particularly the amount of cement, which plays a role in resistance to chemical attacks.
- The evolution of crystalline phases of hardened cement paste followed by X-ray diffraction.

Keywords: Mortar, Resistance, Concrete, Chemical attacks, Degradation..