

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences appliquées

Département de Génie Civil et Hydraulique

Mémoire fin d'études

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de technologie

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Arts

Présenté Par :

BOUKHELOUA Chafai – HARRATH Adel

Thème :

***PROTECTION DES OUVRAGES EN BÉTON DANS  
LES ZONES AGRESSIVES***

Soutenu publiquement le : 04/06/2024

Devant le jury composé de :

DJOUHRI Mohamed  
KENNOUCHE Samir  
BOUAKA Wafa  
HACHANI Mohamed Brahim

MCB (UKM Ouargla)  
Docteur en génie civil  
MCB (UKM Ouargla)  
Dr / Superviseur travaux SH

Président  
Examineur  
Encadreur  
Co-encadreur

Année Universitaire: 2023/2024



# DEDICACE

A ma mère est mon père source de mon courage et mon  
inspiration.

Mes deux frères Sam boukheloua, kenouz Mohammed

A toutes ma famille.

A tous mes amis qui ont toujours

été à mes côtés dans les bons et

mauvais moments.

A tous mes collègues de la promotion

Chafai

## DEDICACE

*Je dédie cet humble ouvrage :*

*A mes chers parents*

*A mes chers amis*

*À tous les membres de ma famille*

*dont je ne pouvais citer les noms.*

*Adel*

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, de nous avoir donné la patience, le courage et la volonté qui m'ont permis d'accomplir ce travail de recherche.

Nous remercions notre encadreur de recherche, Mme. BOUAKA Wafa, pour sa supervision, ses conseils précieux et son soutien inestimable tout au long de ce projet. Ses orientations et son expertise ont été cruciales pour mener à bien cette étude.

Nous remercions également notre Co-Encadreur de recherche, Dr. HACHANI Ibrahim, pour son soutien et ses conseils utiles qui ont grandement contribué au développement de ce travail.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude aux membres du jury : Dr. DJOUHRI Mohamed, et Dr. Kennouche Samir, qui m'ont fait l'honneur de prendre part au jury de cette mémoire.

Nous exprimons notre reconnaissance profonde à l'ensemble du personnel du laboratoire LTPS où on a réalisé nos essais. Et un grand merci aussi au laboratoire LEC et LNHC pour l'aide de compléter notre recherche.

Nos remerciements s'adressent également à M<sup>me</sup> MISSAOUI Asma - ingénieur au niveau du laboratoire ADE / Ouargla, pour l'aide de réalisation les analyses d'eau. Ainsi que la société SMCO MEKANI, pour avoir fourni le sable nécessaire pour la réalisation de ce travail.

Je remercie également les magasins de vente de produits de protection, le magasin SIKA dans la wilaya d'El Oued, et le magasin ABOU EL ALAA de quincaillerie à Ouargla, pour leur aide et pour avoir fourni les matériaux nécessaires à ma recherche.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à mes amis qui m'ont aidé dans ce travail : Mohamed KOUNOUZ, et ATLELI Mohamed Talal, pour leur soutien moral, leur aide et leurs encouragements constants. Leur aide et leur coopération ont été une source de motivation et de force pour moi.

Nous n'oublions pas de remercier aussi tous mes collègues et les enseignants du département de génie civil et hydraulique à l'université Kasdi Merbah de Ouargla, pour leur soutien et leurs encouragements continus tout au long de mes années d'études.

J'exprime ma gratitude sincère à ma famille pour leur amour, leur patience et leur soutien inconditionnel. Leur encouragement constant et leur compréhension ont joué un rôle essentiel dans l'achèvement de cette étude.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail.

## الملخص:

الخرسانة مادة تتميز بضعف مقاومتها تجاه العدوانية الكيميائية، مما يستلزم أحياناً حماية جدار العنصر الخرساني الذي سيكون على اتصال بالوسط العدواني.

هدف هذه الدراسة هو تقدير وتقييم أهمية وفعالية أنواع مختلفة من حماية الخرسانة في الأوساط ذات الملوحة العالية. في هذه الدراسة، تم دراسة السلوك الميكانيكي لعينة الخرسانة المكونة من (350 كجم/م<sup>3</sup> مع نوعين مختلفين من الأسمنت CPJ و CRS في وسطين مختلفتين للحفظ (ماء الحنفية - حفظ عادي / ماء السبخة - حفظ عدواني) ومع نوعين من الحماية: الحماية الكيميائية بالإيبوكسي / الحماية عن طريق التشريب بفلينتكوت. النتائج التي تم الحصول عليها تظهر أن الخرسانة ضعيفة المقاومة مع مرور الوقت في الوسط العدواني إذا كانت تعتمد على الأسمنت CPJ ، بينما يظهر الأسمنت المقاوم للكبريتات CRS نتائج أفضل، خاصة مع استخدام الإيبوكسي كمنتج حماية.

## الكلمات المفتاحية

العدوانية - الكبريتات - الأمراض - السبخة - الحماية

## Résumé :

Le béton est un matériau qui se caractérise par sa faible résistance vis-à-vis de l'agressivité chimique, ce qui nécessite parfois de protéger la paroi de l'élément en béton qui sera en contact avec le milieu agressive.

L'objectif de cette recherche est d'estimer et évaluer l'importance et l'efficacité des divers types de protection de béton dans des environnements de haute salinité.

Dans cette recherche, on a étudié le comportement mécanique des éprouvettes en béton dosées (350 kg / m<sup>3</sup> avec deux types de ciments différents : CPJ et CRS) dans deux milieux de conservation différents (eau du potable – conservation normalisé / eau du Sebkha – conservation agressive) et avec deux types de protection aussi : protection chimique à l'époxy / protection par imprégnation en Flintkoat.

Les résultats obtenus montrent quel béton est de faible résistance avec le temps dans le milieu agressif s'il est à base de ciment CPJ, le ciment résistant aux sulfates CRS montre des résultats meilleurs, surtout avec l'utilisation de l'époxy comme un produit de protection.

**Mots clés :** Agressivité - Sulfates - Pathologie - Sebkha - Protection.

## Abstract:

Concrete is a material characterized by its low resistance to chemical aggressiveness, which sometimes requires protecting the wall of the concrete element that will come into contact with the aggressive environment.

The objective of this research is to estimate and evaluate the importance and the use of various types of concrete protection in high-salinity environments.

In this research, we will study the mechanical behavior of concrete specimens (350 kg/m<sup>3</sup> used two different types of cements CPJ and CRS) in two different storage environments (tap water – normalized storage / Sebkha water – aggressive storage) and with two types of protection too: chemical protection with epoxy / protection by impregnation with Flintkoat.

The results showed that the concrete has a low resistance in the aggressive medium if it is based on CPJ cement; CRS cement shows better results, especially with the use of epoxy as a protective product.

**Keywords:** Aggressiveness - Sulfates - Pathology - Sebkha - Protection.

## LISTE DES TABLEAUX

N°	Tableau	Page
Tableau II.1	Classes d'exposition	10
Tableau III.1	Différentes composantes utilisés	20
Tableau III.2	valeurs de module de finesse.	21
Tableau III.3	Résultats de mesure du coefficient d'aplatissement des graviers.	23
Tableau III.4	Propreté superficielle des granulats.	23
Tableau III.5	Equivalent de sable.	24
Tableau III.6	valeurs des VB dessables utilisés	25
Tableau III.7	Résultats d'essai absorption.	26
Tableau III.8	Masse volumique absolue et apparente des granulats utilisés.	27
Tableau III.9	Coefficients de Micro De val.	27
Tableau III.10	Coefficients Los Angeles du gravier.	28
Tableau III.11	Analyse chimique sommaire des granulats.	29
Tableau III.12	Résultats d'analyse d'eau (Utilisé pour le gâchage et conservation normalisée)	30
Tableau III.13	Résultats d'analyse d'eau de Sebkhah (Conservation agressive)	30
Tableau III.14	Valeur des critères choisis pour la formulation des bétons.	31
Tableau III.15	Eprouvettes et leurs modes de protection, type de ciment et milieux de conservations	38
Tableau IV.01	Variation de l'eau de gâchage de 1 m <sup>3</sup> et le rapport E/C.	43
Tableau IV.02	La résistance à la compression – âge 14 jours -	45

## LISTE DES FIGURES

N°	Figure	Page
Figure I.1	Représentation schématique de la pâte de ciment hydraté [Jennings tiré de Nguyen, 2009	04
Figure I.2	Modèle de Feldman et Sereda, revue par Sierra	05
Figure I.3	Relation entre le coefficient de perméabilité à l'eau des pâtes de Ciment hydraté E/C	07
Figure II.1	Les attaques sulfatique	09
Figure II.2	Représentation des exigences ESA	11
Figure II.3	Mécanisme de l'attaque interne du sulfate ISA	12
Figure III.1	courbe granulométrique du sable.	21
Figure III.2	courbe granulométrique du gravier <sup>3/8</sup>	22
Figure III.3	courbe granulométrique du gravier <sup>8/15</sup>	22
Figure III.4	Equivalent de sable.	24
Figure III.5	Courbe du mélange de béton.	33
Figure III.6	Pourcentages des granulats dans les bétons.	34
Figure III.7	Compositionsoptimalesd'un 1m <sup>3</sup> desbétons	34
Figure III.8	Transmission surfacique	40
Figure III.9	Transmission directe	41
Figure IV.1	La variation de la masse volumique du béton à l'âge de 28 jours dans un milieu normalisé.	44
Figure IV.2	La variation de la masse volumique du béton à l'âge de 28 jours dans un milieu agressif.	45
Figure IV.3	Résistances à la compression des bétons dans un milieu normalisé.	46
Figure IV.4	Résistances à la compression des bétons dans un milieu agressif.	46
Figure IV.5	Résistances à la compression des bétons dans un milieu normalisé âge 60 jours.	48
Figure IV.6	Résistances à la compression des bétons dans un milieu agressif âge 60 jours	49
Figure IV.7	Résistances à la compression des bétons dans un milieu normalisé âge 90 jours.	50
Figure IV.8	Résistances à la compression des bétons dans un milieu agressif âge 90 jours.	51
Figure IV.9	Évolution de la résistance à la compression dans le milieu normalisé.	52
Figure IV.10	Évolution de la résistance à la compression dans le milieu agressif.	53
Figure IV.11	Vitesse du son des bétons dans un milieu normalisé à l'âge 28 jours.	54
Figure IV.12	Vitesse du son des bétons dans un milieu agressif à l'âge 28 jours.	54
Figure IV.13	Vitesse du son des bétons dans un milieu normalisé l'âge 90 jours	55
Figure IV.14	Vitesse du son des bétons dans un milieu agressif l'âge 90 jours	55
Figure IV.15	Évaluation de vitesse du son dans les différentes éprouvettes	56
Figure IV.16	Évaluation de vitesse du son dans les différentes éprouvettes	56

## LISTE DES PHOTOS

N°	Photo	Page
Photo II.1	fissuration du béton due au l'alcali-réaction	15
Photo II.2	dégradation due aux cycles de gel/dégel	16
Photo II.3	revêtement d'imperméabilisation	18
Photo III.1	Mesure de l'absorption de sable.	25
Photo III.2	Essai de la masse volumique (apparente et absolue).	27
Photo III.3	Outils et solutions pour les analyses chimiques des granulats.	28
Photo III.4	L'emplacement du Sebka.	35
Photo III.5	Appliquer une protection aux échantillons	36
Photo III.6	mesure de l'affaissement.	39
Photo III.7	Essai de compression	40
Photo IV.1	Forme d'éprouvette écrasée	48
Photo IV.2	Éprouvette humide après l'écrasement	45

# TABLE DES MATIERES

<b>DEDICACE</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICACE</b> .....	<b>II</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>IV</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTE DES PHOTOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITER I: LES CARACTERISTIQUES DU BETON DANS LES ZONES AGRESSIVE</b>	
<b>I.1 INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2 NOTION DE DURABILITE</b> .....	<b>3</b>
<b>I.3 MORPHOLOGIE DE LA MICROSTRUCTURE DU BETON</b> .....	<b>3</b>
<b>I.3.1 Hydratation du Ciment</b> .....	<b>3</b>
<b>I.3.2 Nature de l'eau dans le béton</b> .....	<b>4</b>
<b>I.4 MECANISME DE DEGRADATION DU BETON</b> .....	<b>5</b>
<b>I.4.1 Divers agent agressive</b> .....	<b>5</b>
<b>I.4.2 Modes d'action des agents agressive</b> .....	<b>6</b>
<b>I.5 CRITERS GENERAUX DE LA RESISTANCE DU BETON</b> .....	<b>6</b>
<b>I.5.1 Rapport eau / ciment E/C</b> .....	<b>6</b>
<b>I.5.2 Nature et dosage de ciment</b> .....	<b>7</b>
<b>I.6 CONCLUSION</b> .....	<b>7</b>
<b>CHAPITER II: PATHOLOGIES DES BETON</b>	
<b>II.1 INTRODUCTION</b> .....	<b>8</b>
<b>II.2 ROCESSUS D'ATTAQUES PAR LES SULFATES SEULS</b> .....	<b>8</b>
<b>II.2.1 LES INFLUENCE APPARENT AUX ATTAQUE SULFATEES</b> .....	<b>9</b>
<b>II.3 ATTAQUE PAR SULFATE DE MAGNESIUM DE CALCIUM ET DE SODIUM</b> .....	<b>13</b>
<b>II.4 FACTURE INFLUENTS SUR LA RESISTANCE DU BETON AUX SULFATES</b> .....	<b>14</b>
<b>II.5 RESISTANCE DU BETON FACE A L'ALCALI-REACTION</b> .....	<b>14</b>
<b>II.6 SECHAGE – MOULAGE &amp; GEL – DEGEL</b> .....	<b>16</b>
<b>II.7 TYPES ET METHODES DE PROTECTION DU BETON</b> .....	<b>17</b>
<b>II.7.1. PROTECTION INTERNE DU BETON</b> .....	<b>17</b>
<b>II.7.2. PROTECTION EXTERNE DU BETON</b> .....	<b>17</b>
<b>II.8 CONCLUSION</b> .....	<b>18</b>

## CHAPITRE III: MATÉRIAUX UTILISÉS ET FORMULATION DU BETON

III.1. INTRODUCTION.....	19
<b>III.2 LES MATÉRIAUX UTILISÉS .....</b>	<b>19</b>
III.3 ANALYSE GRANULOMETRIQUE.....	20
III.4 ESSAIS DE MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT DES GRANULATS ....	22
III.5 PROPRIÉTÉS DES GRANULATS.....	23
<b>III.5.1 ESSAI DE PROPRIÉTÉ SUPERFICIELLE DES GRANULATS.....</b>	<b>23</b>
III.6 Essais d'équivalent de sable.....	23
III.7 ESSAI AU BLEU DE MÉTHYLÈNE .....	24
III.8 COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU .....	25
III.9 MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE.....	26
<b>III.9.1 La masse volumique absolue.....</b>	<b>26</b>
III.9.2 La masse volumique apparente .....	26
III.10 ESSAI DE LA RÉSISTANCE À L'USURE ET AU CHOC .....	27
<b>III.10.1 MESURE DU COEFFICIENT MICRO DEVAL EN PRÉSENCE D'EAU.....</b>	<b>27</b>
III.10.2 MESURE DU COEFFICIENT LOS ANGELES .....	28
III.11 ANALYSE CHIMIQUE .....	28
III.12 ANALYSE CHIMIQUE DE L'EAU.....	29
III.13 LE CIMENT.....	30
<b>III.14 FORMULATION DU BETON PAR LA MÉTHODE DE DREUX-GORISSE .....</b>	<b>30</b>
<b>III.15 MÉTHODE DREUX-GORISSE.....</b>	<b>30</b>
III.15.1 Données de base.....	31
III.15.2 MÉTHODE DE CALCUL.....	31
<b>III.16 CONFECTION DES ÉPROUVETTES.....</b>	<b>34</b>
<b>III.17 LE MALAXAGE .....</b>	<b>35</b>
III.18 MOULAGE ET DEMOULAGE.....	35
III.19 CONSERVATION DES ÉPROUVETTES.....	35
<b>III.20 PROTECTION DES ÉPROUVETTES.....</b>	<b>36</b>
<b>III.21 PRÉSENTATION DES ESSAIS EXPÉRIMENTAUX .....</b>	<b>37</b>
<b>III.22 ESSAI SUR BETON FRAIS.....</b>	<b>39</b>
III.22.1 Mesure de la consistance .....	39
III.23 ESSAIS SUR BETON DURCI.....	39
III.23.1 Essai de compression AFNOR : Février 2003" NF P 18-455 .....	39
III.23.2 Essai de mesure vitesse du son (Ultrasonique).....	40
III.24 CONCLUSION .....	41

## CHAPITRE IV: RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 INTRODUCTION .....	43
<b>IV.2 EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR BÉTONS FRAIS.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.3 EXPLOITATION DES RÉSULTATS OBTENUS SUR BÉTONS DURCIS.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.3.1 ESSAI DE LA MASSE VOLUMIQUE DE BETON DURCI.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.3.2 ESSAI DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION .....</b>	<b>45</b>
<b>IV.3.3Essai Ultrasonique.....</b>	<b>53</b>
IV.4. CONCLUSION .....	57
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIES.....</b>	<b>61</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>65</b>

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

Le béton est considéré comme l'un des matériaux les plus utilisés dans la construction d'installations et d'infrastructures à travers le monde, en raison de sa grande durabilité et de sa dureté. Cependant, cette durabilité peut être testée dans des environnements agressifs tels que les zones côtières, les zones industrielles et les zones soumises à un changement climatique extrême. L'impact de facteurs environnementaux agressifs, tels que les sels, les produits chimiques et les changements thermiques, peut entraîner une détérioration du béton et réduire sa durée de vie, ce qui pose un défi majeur aux ingénieurs civils et aux professionnels de la construction.

Cette étude vise à passer en revue quelques méthodes de protection :

D'abord une comparaison entre des bétons confectionnés par deux types de ciment CPJ et CRS, ainsi deux types de protections de la paroi extérieure :

- Produit classique : badigeonnage par un dérivé bitumineux « Flintcoat »
- Produit innovant : badigeonnage par un produit de base époxydique.

À travers cette recherche, nous cherchons à fournir une compréhension globale des différentes méthodes qui peuvent être adoptées pour assurer la protection des structures en béton dans des environnements agressifs, en nous concentrant sur les applications pratiques et les enseignements tirés des projets antérieurs. Trouver des solutions efficaces et durables dans ce domaine contribue à améliorer la qualité des infrastructures et à augmenter leur durée de vie, ce qui profite aux sociétés et aux économies en général.

Pour réaliser ce projet, nous avons proposé le plan de travail suivant

**1/ La première partie :** est la recherche bibliographique, qui se divise en deux chapitres.

- **le premier chapitre :** Résistance du béton en milieu agressif

- **La deuxième chapitre :** Phénomènes pathologiques

**2/ La deuxième partie :** est l'aspect expérimental, qui se divise en deux chapitres

- **Le premier chapitre :** comprend les différentes méthodes expérimentales mises en œuvre pour déterminer les propriétés des matériaux utilisés, ainsi que l'étude de la composition et la réalisation de modèles d'essai du béton et de ses propriétés physiques et mécaniques.

- **La deuxième chapitre** : Résultats d'essais expérimentaux sur des échantillons de béton, à savoir essais de résistance et essais par ultrasons.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale suivie de quelques recommandations.

## **CHAPITER I**

# **LES CARACTERISTIQUES DU BETON DANS LES ZONES AGRESSIVE**

## CHAPITRE I : LES CARACTERISTIQUES DU BETON DANS LES ZONES AGRESSIVE

### I.1 INTRODUCTION

Les expériences antérieures ont prouvé que les milieux agressifs ont des effets élève sur les ouvrages en béton armée et leur durabilité, Ceci à nécessité d'étudier, améliorer et adapter des solutions innovante (formulations, matériaux, des méthodes de protection).

### I.2 NOTION DE DURABILITE

La durabilité du béton des ouvrages en génie civil est définie comme étant la capacité du béton de remplir les conditions dont il a été conçu et de résister pour une longue durée de vie sous l'effet des agents extérieurs soient des charges d'exploitations, dynamiques et autres ; ou sous l'effet des milieux plus ou moins agressifs, tels que (eaux de la nappe sphérique, eaux de mer, eaux usées, sole, sable...etc.). [1]

### I.3 MORPHOLOGIE DE LA MICROSTRUCTURE DU BETON

#### I.3.1 Hydratation du Ciment

L'hydratation est l'ensemble des réactions chimiques qui s'effectuent lors et après le mélange du ciment avec l'eau. Les qualités de ce liant tiennent à ces réactions thermiques dépendant du type de ciment.[2]

Le ciment anhydre est essentiellement composé de clinker dont les quatre constituants majeurs sont [3] :

60 - 65 % de silicate dicalcique  $C_3S$  ou  $(3CaO, SiO_2)$

20 - 25 % de silicate tricalcique  $C_2S$  ou  $(2CaO, SiO_2)$

8 - 12 % d'aluminate tétra calcique  $C_3A$  ou  $(3CaO, Al_2O_3)$

8 - 12 % d'alumine ferrite tétra calcique  $C_4AF$  ou  $(4CaO, Fe_2O_3, Al_2O_3)$ .

Pour un ciment dont les quantités de Silicate de Calcium Hydrat e (C-S-H) et de chaux Ca (OH)<sub>2</sub>

Dépendent essentiellement du rapport E/C et du temps de la réaction. Le C-S-H est un monocristal de forme lamellaire, qui peut être observé sous forme de deux ou trois feuilles sous un microscope le ctronique + balayage.

Les principaux composants d'une pâte de ciment sont :

50 + 70% de silicate de calcium Hydrat C-S-H,

25 + 27% de pentlandite (hydroxyde de calcium) Ca (OH)<sub>2</sub>,

7 + 10% de clinker non Hydrat.

Nous présentons ci-après la microstructure de la pâte de ciment, celle des C-S-H (Silicate de Calcium Hydrat), le statut de l'eau dans le béton, la porosité accessible à l'eau et la distribution de la taille des pores, ainsi que la structure de l'interface pâte/granulat (appelée auréole de transition).

Structure des C-S-H De nombreux modèles existent dans la littérature pour décrire la structure des C-S-H et leur morphologie, mais actuellement, elle est encore mal décrite et détaillée.

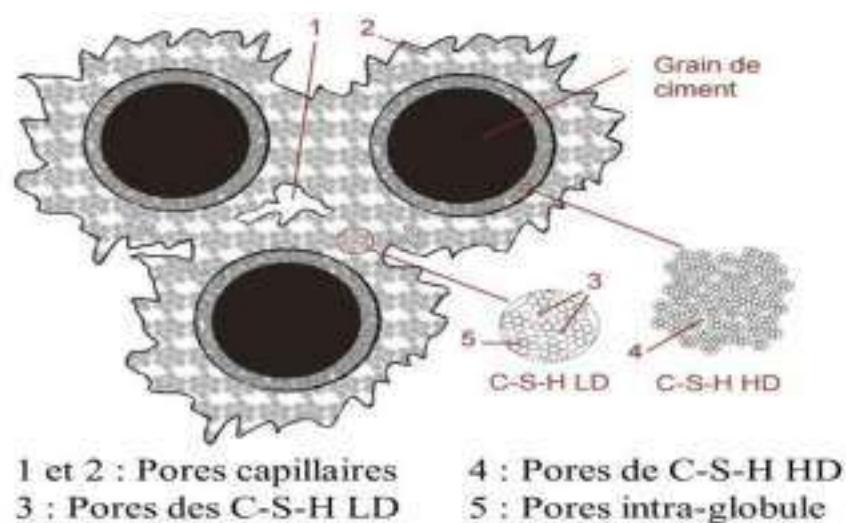
Les modèles les plus connus comprennent : le modèle de Powers-Brown yard... [3],

Le modèle Jennings (CM I et CM II) [3],

Le modèle de Feldman-Sereda (F-S modèle).

Le modèle propos par Feldman et Sereda... [Feldman 68] (figure I.1) [1]

Est généralement accepté pour comprendre la plupart des comportements de la pâte de ciment.



**Figure I.1:** Représentation schématique de la pâte de ciment hydraté [Jennings tiré de Nguyen, 2009]

[1]

### I.3.2 Nature de l'eau dans le béton

L'eau est considérée comme un élément essentiel dans la composition du béton, Il est ajouté lors du mélange afin l'hydratation de ciment, et deux types ont été classé (Eau Vaporable et Non vaporableselon la méthode de Sierra [5], comme montré ci-après et sur la figure (I.2) [1] :

L'eau non évaporable comprend :

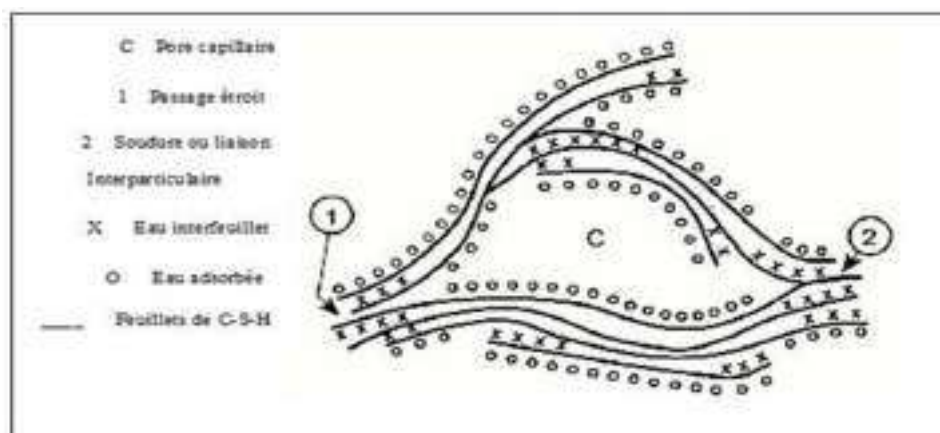
- ✓ **L'eau adsorbée la plus liée** : qui correspond à l'eau fixée entre les feuillets

des particules de gel C-S-H.

- ✓ **L'eau chimiquement liée** : qui est consommée au cours des réactions d'hydratation du ciment, et aussi elle est combinée avec d'autres composants à l'intérieure des hydrates.

Alors que l'eau évaporable elle comprend donc :

- ✓ **L'eau adsorbée la moins liée** : qui correspond à l'eau adsorbée sur la surface externe des particules.
- ✓ **L'eau capillaire** : qui est constituée de la phase condensée remplissant le volume poreux de la couche adsorbée et séparée de la phase gazeuse par des ménisques.
- ✓ **L'eau libre** : qui correspond à l'eau formée de la phase condensée et qui n'est plus dans le champ d'influence des forces superficielles.



**Figure I.2:** Modèle de Feldman et Sereda, revue par Sierra [5]

## I.4 MECANISME DE DEGRADATION DU BETON

### I.4.1 Divers agent agressive

Les milieux agressifs sont variés, ils peuvent être classés en trois catégories :[6]

- ✓ **Les gaz** : d'origine naturelle ou résultant de pollutions atmosphériques et fermentation, dont les plus fréquemment rencontrés sont les dioxydes de carbone, de soufre.
- ✓ **Les liquides organiques ou inorganiques** : qui indépendamment de leurs éventuels effets purement physiques agissent surtout par leur caractère acide ou basique et par les ions agressifs qu'ils peuvent contenir.

- ✓ **Les solides** : essentiellement des sols et des déchets d'origines divers.

#### **I.4.2 Modes d'action des agents agressive**

- ✓ **Mode d'action des gaz** : Le transfert dans le béton se fait par diffusion et de pond frottement de l'humidité relative du matériau.
- ✓ **Mode d'action des liquides** : le mouvement du liquide dans le béton se fait soit par gardien de pression hydraulique ou capillarité soit par diffusion ionique ou moléculaire. L'écoulement en phase liquide est engendré par les tensions capillaires, ou encore lorsque le béton est sec, il subit une ascension capillaire d'eau d'origine extérieure. [6]
- ✓ **Mode d'action des solides** : leurs capacités d'extraction et de passage en solution leur permet de s'infiltrer dans le béton comme un liquide.
- ✓ **Mode d'action des agents biologiques** : Les réactions biologiques peuvent conduire à la production des acides ou des gaz surtout l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S), ils entrent dans le béton par diffusion.

### **I.5 CRITERS GENERAUX DE LA RESISTANCE DU BETON**

#### **I.5.1 Rapport eau / ciment E/C**

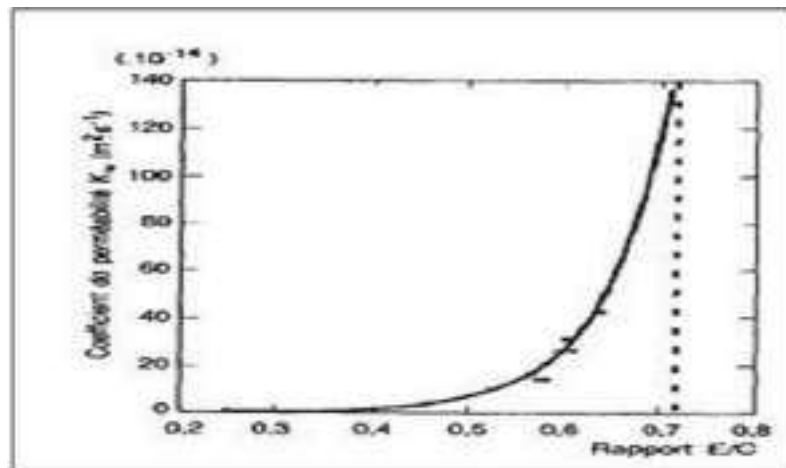
Le rapport ciment/ eau indique la relation entre le poids du ciment dans un mélange frais de mortier ou de béton et la quantité d'eau de gâchage

Le facteur eau/ciment donne la valeur inverse du rapport ciment/eau. Il indique le nombre de litres d'eau par kg de ciment [7]

Le rapport E/C est un critère très important de la résistance du béton, plus le rapport E/C est faible, plus la porosité diminue et plus la résistance à la compression est plus élevée. [7]

Donc la réduction de rapport E/C permet aussi de réduire le diamètre des pores, ainsi que la production d'un réseau de pores plus fin et discontinu [8].

La figure I.3: montre la relation entre le rapport E/C et la perméabilité de la pâte du ciment durci. [8]



**Figure I.3:** Relation entre le coefficient de perméabilité à l'eau des pâtes de Ciment hydraté E/C [8]

### I.5.2 Nature et dosage de ciment

Généralement la nature de l'agressivité du milieu extérieur indique le type de ciment à choisir ainsi que le dosage approprié afin d'obtenir une meilleure performance en présence d'agents agressifs, comme l'utilisation d'un ciment de faible teneur en C3A en milieu sulfatique ou marin, ou l'utilisation d'un ciment libérant peu ou pas de pentlandite dans un milieu acide. [1]

Le dosage élevé en ciment entraîne généralement sous l'action d'hydratation continue de la pâte de ciment, une porosité plus faible et une résistance à la compression plus élevée [9].

## I.6 CONCLUSION

Le béton est un système chimique fortement basique, évolutif, plus ou moins réactif au contact du milieu extérieur souvent plus « acide » (atmosphère, eaux, solutions salines, acides) mais qui, pour les durées de vie prévues par les normes, est durable 'il est fabriqué conformément aux règles de l'art.

Pour les milieux agressifs, le vecteur commun à tous les agents agressifs est l'eau qui dissout les composés gazeux ou solides. Pour obtenir un ouvrage durable et performant qui a exposé aux milieux agressifs, il doit au moins respecter quelques critères à savoir : le dosage et le type de ciment utilisé, le rapport E/C, le taux des additions minéraux et certainement la protection extérieure de la paroi.

**CHAPITER II**

**PATHOLOGIES DES BETON**

## CHAPITRE II : PATHOLOGIE DES BETON

### II.1 INTRODUCTION

Les pathologies du béton représentent un défi majeur dans le domaine du génie civil et de la construction. En tant que matériau le plus utilisé dans la construction, le béton est exposé à diverses conditions environnementales et chimiques qui affectent sa durabilité et ses performances. Les pathologies du béton, telles que les fissures, l'efflorescence, la corrosion des armatures et la dégradation due aux cycles de gel-dégel, posent des défis techniques et économiques importants.

Cette étude vise à comprendre les différents types de pathologies du béton, leurs causes et les mécanismes sous-jacents, afin de développer des stratégies efficaces de prévention et de réparation. En utilisant des matériaux de haute qualité, des techniques de construction avancées et une surveillance continue, il est possible d'améliorer la résistance des structures en béton et de réduire les coûts de maintenance, assurant ainsi la durabilité des infrastructures.

### II.2 ROCESSUS D'ATTAQUES PAR LES SULFATES SEULS

En raison de la demande croissante pour la réalisation des structures en béton dans des environnements agressives contre les attaques chimiques, notamment les attaques sulfatées, il y a eu une augmentation significative de la conception des éléments en béton ainsi que des différentes méthodes de protection de ces éléments, dans lesquelles nous nous intéressons dans cette étude dans le but d'améliorer la résistance aux forces néfastes de la nature, tout en préservant l'intégrité globale de la structure protégée.

Les ions sulfate présents dans les eaux souterraines, l'eau de mer et la matière organique décomposée constituent une menace majeure pour la durabilité globale des structures en béton construites dans des environnements tels que ceux de la (Photo II.1).

Les pénétrations de ces ions sulfatent dans les éléments en béton et leurs interactions au sein de la matrice de ciment conduisent à la fissuration et à la perte de résistance de la structure en béton [10].



**figure II.1:** Les attaques sulfatique

## II.2.1 LES INFLUENCE APPARENT AUX ATTAQUE SULFATEES

### a) Attaque de sulfate interne :

Il a été catégoriquement établi que l'apparition de fissures dans le béton provoquées par l'attaque des sulfates est principalement due à la formation d'ettringite [10].

Lorsque la formation d'ettringite se produit de manière homogène et dans les premières heures du coulage du béton, cela ne présente aucune menace pour l'élément en béton.

Cette forme d'ettringite apparaît à la suite de la réaction du gypse avec de l'aluminate de calcium anhydre comme dans l'équation (1)[11].



La réaction de formation précoce de l'ettringite agit comme un retardateur de prise au sein des mélanges de ciment [11] ... Le retard est dû à l'apparition d'un revêtement sur la surface des grains de ciment immédiatement après que le ciment ait été mélangé à l'eau. Cette forme de formation d'ettringite est appelée ettringite « primaire ». Le stade « secondaire » de formation de l'ettringite apparaît à des stades ultérieurs, généralement après plusieurs mois, voire plusieurs années.

Cette formation secondaire d'ettringite est également appelée formation d'ettringite retardée [12].

Classes d'exposition vis-à-vis La Réaction Sulfatique Interne : [28].

Tableau II.1: Classes d'exposition

Classes d'exposition	Description de l'environnement
XH1	Sec ou humidité modérée
XH2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alternance d'humidité et de séchage</li> <li>• Humidité élevée</li> </ul>
XH3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En contact avec l'eau</li> <li>• Immersion permanente</li> <li>• Stagnation d'eau à la surface</li> <li>• Zone de marnage</li> </ul>

**Observation** : Ces classes d'expositions spécifiques à la RSI sont complémentaires des 18 classes d'expositions de la norme NF EN 206/CN.

b) Attaque de sulfate externe :

L'attaque de sulfate externe se produit lorsque des ions sulfates provenant de l'environnement, par exemple d'eau ou du sol, pénètrent dans les pores de béton et à l'intérieur du sol [13]

L'ESA (Externat Sulfate Attaque) est déterminée par le contact du sol ou de l'eau, qui est riche en ions sulfate, avec la pâte de ciment. [13], les principales sources d'ions de sulfate pour l'attaque externe de sulfates sont les sols qui contiennent du calcium, du magnésium et des sulfates de sodium.

Selon [14] Pour que l'attaque du sulfate externe se produise, le béton doit avoir une grande perméabilité, il doit y avoir une source de sulfate et de l'eau. [11] présente une représentation d'agranissement de l'ESA (Externat Sulfate Attaque) comme indiqué à la (figure II.1).

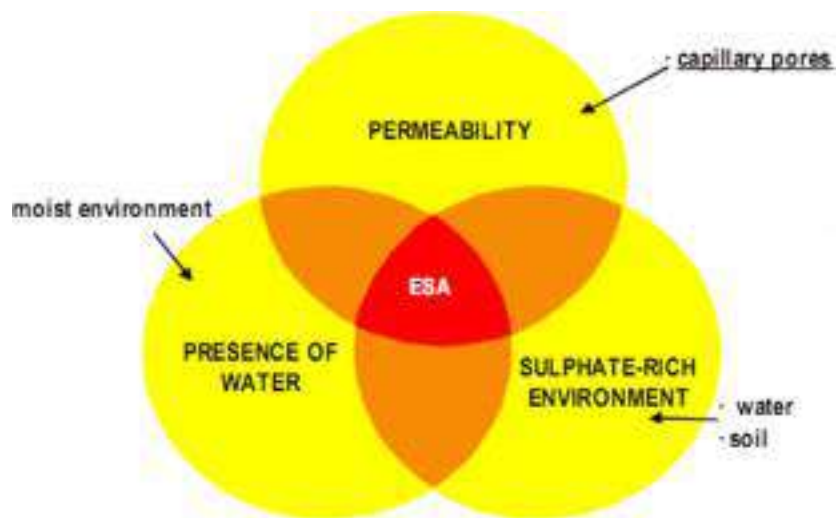
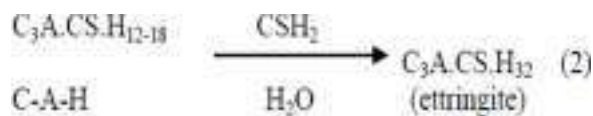


Figure II.2: Représentation des exigences ESA [11]

La forme éminente de l'attaque du sulfate sur la matrice interne du ciment est lorsque la source du sulfate réagit avec des hydrates d'aluminate de calcium et déshydrates de monosulfate, ce qui entraîne la formation d'étringite comme dans l'Eq 2



Ce processus est la principale réaction responsable de la génération de fissures et de la fissuration du béton [11] a également indiqué que l'attaque la plus défavorable des ions sulfate à l'intérieur de la matrice de ciment est lorsque la source de sulfates interagisse chimiquement avec

Le C-S-H et CH (silicate de calcium hydraté)  
 CH (carbone-hydrogène) en présence d'ions carbonate.

Le produit résultant est appelé thaumasite. C'est une condition rare qui s'accompagne d'une perte de force et de perte d'adhérence dans une plus grande mesure. La réaction est comme dans l'Eq 3.



c) Attaque interne au sulfate :

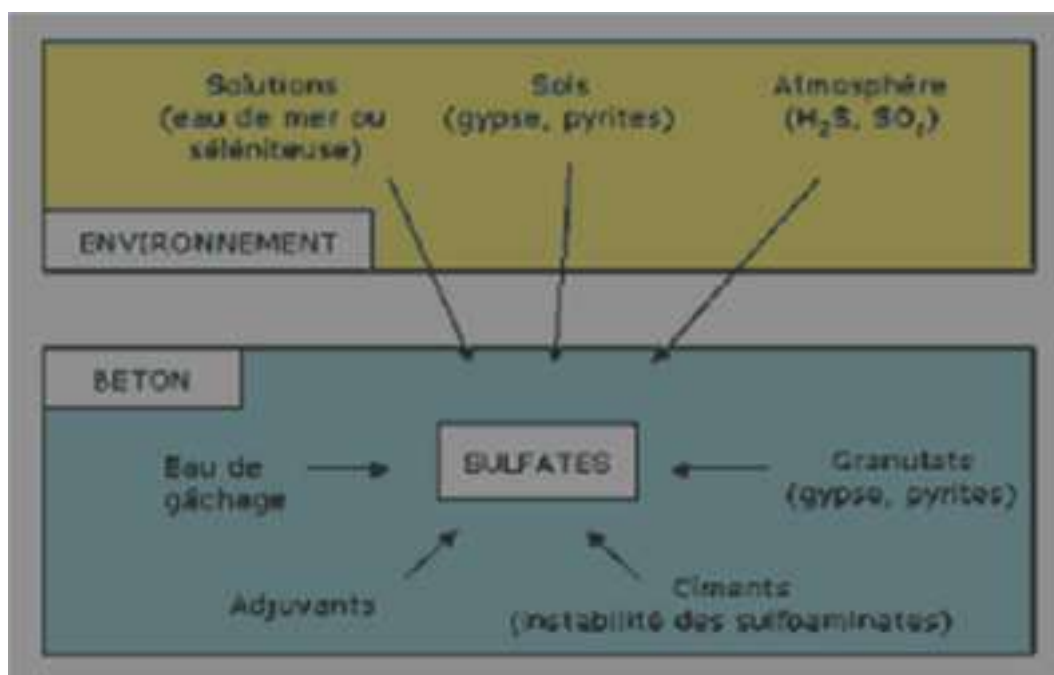
L'attaque interne des sulfates se produit dans un environnement exempt d'ions sulfate.

Cette attaque est générée par les ions sulfate tardifs qui sont libérés de la source contaminée des agrégats, soit avec du ciment ou du gypseum [16].

La nécessité de contrôler la teneur en sulfate des agrégats est donc obligatoire afin d'empêcher la génération d'une attaque interne.

D'autre part, l'attaque interne du sulfate générée par la libération tardive d'ions sulfates est liée à la décomposition thermique de l'étringite primaire ainsi qu'à l'émission de sulfates de C-S-H [17].

Une représentation d'agrammatique de L'ISA (Internal Sulfate Attack) a été présentée par [11]. Comme montre-la (Figure II.3)



**Figure II.3:** Mécanisme de l'attaque interne du sulfate ISA [11]

D'après [19]-[16] l'étringite primaire formée à un âge précoce est détruite par la cure à vapeur effectuée à des températures élevées ( $>70^{\circ}\text{C}$ ). Par conséquent, l'étringite apparaît à nouveau à des stades ultérieurs du béton durci qui sont exposés à l'eau, le résultat étant la fissure ou l'expansion de la masse du béton [11] a formulé le mécanisme de l'attaque interne du sulfate comme indiqué à (la figure II.2) dans laquelle l'exposition intermittente ou continue

à l'air saturé ou l'eau entraîne l'enflure ou la croissance du cristal au sein de la matrice de ciment, conduisant à la formation de fissures et finalement à un dommage à la structure par microcracks.

### II.3 ATTAQUE PAR SULFATE DE MAGNESIUM DE CALCIUM ET DE SODIUM

Les composants structurels en béton subissent une dégradation lorsqu'ils sont exposés à des environnements sulfatés. La diffusion d'ions sulfate à travers les pores du béton provoque la formation de produits expansifs tels que l'ettringite dans la microstructure interne du béton [21]

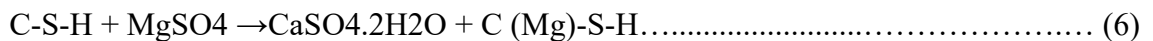
Les sulfates les plus agressifs vis-à-vis du béton sont les sulfates de magnésium, Calcium et de sodium.

Le sulfate de magnésium est très agressif et de double action du cation  $Mg^{2+}$  qui s'échange avec  $Ca^{2+}$  et l'anion  $SO_4^{2-}$ , suivant les réactions eq (4/6) :

$Ca(OH)_2 + MgSO_4 \rightarrow CaSO_4 + Mg(OH)_2$  (faible solubilité, alcalinité faible) (04) La formation d'ettringite expansif selon l'équation (5)



Substitution des ions  $Ca^{2+}$  par les ions  $Mg^{2+}$  dans les C-S-H selon l'équation (6) :



Les échanges de  $Mg^{2+}$  avec  $Ca^{2+}$  conduit à la formation de bursite  $Mg(OH)_2$  qui peut ralentir temporairement la pénétration des sulfates. Ils provoquent aussi la transformation sans propriétés liantes. Encore, la cristallisation d'ettringite, instable en présence de sulfate de magnésium, intensifie la réaction de formation de gypse.

Les sulfates de calcium présents dans les sols ou dans les eaux souterraines séléniteuses sous forme de gypse ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  ou  $CaSO_4$ ), généralement, sont très agressifs sur le béton, et caractérisés par une solubilité faible et lente que les sulfates d'ammonium ou de magnésium [21] l'ettringite expansif est le résultat de la réaction entre ces sulfates et les aluminates anhydres, et le nombre des molécules d'eau peut être de 32 ou de 31 selon la pression de vapeur ambiante [21]

Les sulfates de sodium sous forme de ( $Na_2SO_4$ ) sont très solubles, ils sont très agressifs sur le béton par la formation de gypse et l'ettringite expansive [21] Couramment, le gypse précipite est en fonction de concentration de  $SO_4^-$  au-delà de 1000 mg/l et de la teneur des aluminates anhydres.

Les S-H-C (silicate de calcium hydraté) moins sensible que la pentlandite ne sont pas affectées directement par les sulfates de sodium, mais sont néanmoins susceptible de se décomposées dans un deuxième temps par lixiviation partielle de leur chaux et formation de gypse [21].

## **II.4 FACTURE INFLUENTS SUR LA RESISTANCE DU BETON AUX SULFATES**

Pour chaque type d'ouvrage, les facteurs d'influence sur la dégradation sont donnés sous forme, selon les rapports de surveillance visuelle des ouvrages [21]

Pour faciliter et les données seront codifiées par des numéros comme suit :

Code 1 : Les facteurs liés à la nature des matériaux.

Code 2 : Les facteurs liés à la mise en œuvre.

Code 3 : Les facteurs liés à la conception.

Code 4 : Les facteurs liés à l'environnement (l'agressivité du sol et les conditions climatiques).

Code 5 : Les facteurs liés aux conditions d'exploitation.

Code 6 : Les facteurs liés au manque d'entretien

## **II.5 RESISTANCE DU BETON FACE A L'ALCALI-REACTION**

L'alcali-réaction résulte d'une réactivité entre certains ciments et certains granulats donnant lieu à la formation de produits gonflants (gels ou produits cristallisés).

Elle a été identifiée pour la première fois en 1940 dans une structure en béton en Californie.

Il est admis que l'alcali-réaction se présente sous trois types : réaction alcali-silice, réaction alcali-silicate et réaction alcali-carbonate :

► La réaction alcali-silice est la plus fréquente des alcali-réactions. Elle peut impliquer diverses variétés de silice et créer des gels siliceux de différentes microstructures. Les mécanismes de réaction et d'expansion seraient sensiblement les mêmes pour toutes les variétés de silice ;

➤ La réaction alcali-silicate. Sous ce vocable sont regroupées les réactions impliquant des silicates plutôt que de la silice. Ce serait notamment le cas de phyllosilicates du groupe des minéraux argileux gonflants ;

➤ La réaction alcali-carbonate. Ce type de réaction est peu répandu. Elle concerne essentiellement les calcaires dolomitiques argileux. Cette réaction ne génère pas de gels siliceux mais semble aboutir à un gonflement de minéraux argileux, ce qui pourrait la classer comme réaction alcali-silicate.

Les dégradations consécutives à l'alcali-réaction peuvent apparaître de façons diverses suivant les structures examinées, et même suivant les différentes parties d'un même ouvrage.

Il n'existe pas réellement de manifestations macroscopiques caractéristiques de l'alcali-réaction. Toutefois, la manifestation la plus visible est la fissuration du béton

Elle revêt différents aspects mais se présente le plus souvent sous la forme d'un réseau maillé, d'orientation anarchique ou suivant le ferrailage de la structure (Photo II.2) [21].



**Photo II.1:** fissuration du béton due au l'alcali-réaction [27].

L'alcali-réaction de type alcali-silice engendre des produits amorphes (gels), microcristallins ou cristallisés de composition silico-calco-alcaline. On peut observer ces produits très caractéristiques d'une alcali-réaction au microscope électronique à balayage. Suivant les cas, les produits peuvent être localisés à proximité des granulats, dans les fissures et les pores de la pâte de ciment, dans les veines ou les plans de clivage des granulats, et parfois à la surface des bétons sous forme d'exsudats.

Trois conditions doivent être réunies pour que l'alcali-réaction se développe dans un

béton :

La présence d'un granulats potentiellement réactif, une concentration en alcalins élevée dans la solution interstitielle du béton (ceci se traduisant par un pH élevé) et des conditions d'humidité suffisamment élevées [22]

La sévérité de la réaction alcali-silice dépend du degré de réactivité des granulats, mais aussi de leur granularité et de leur abondance dans le béton. De très nombreux granulats de types pétrographiques fort variés ont été reconnus comme réactifs.

## II.6 SECHAGE – MOULAGE & GEL – DEGEL

Grâce à l'étude présentée par ZhifuYang [23] sur l'effet combiné du cycle lent de gel-dégel et du cycle de séchage humide sur la durabilité du béton, nous avons constaté que le béton préfabriqué résiste mieux au cycle de gel. Dans un environnement saturé. Durcissement par rapport au béton restant à l'air.

Le béton contenant 5 % de fumée de silice a montré une résistance plus élevée dans des conditions de durcissement humide, mais n'a montré aucune amélioration dans des conditions de terrain découvert.

Le séchage et l'hydratation affectent la durabilité du béton au gel et au dégel, qui dépend de la durée du cycle de séchage et d'hydratation (Photo II.3) [23].



**Photo II.2:** dégradation due aux cycles de gel/dégel [26].

## II.7 TYPES ET METHODES DE PROTECTION DU BETON

La protection du béton est essentielle pour garantir sa durabilité et sa longévité. Les méthodes de protection peuvent être classées en deux grandes catégories : la protection interne et la protection externe.

### II.7.1. PROTECTION INTERNE DU BETON

La protection interne comprend les mesures prises lors de la fabrication et du mélange du béton pour améliorer sa résistance aux conditions environnementales agressives.

#### A. Utilisation d'additifs minéraux :

- Les pouzzolanes : comme les cendres volantes et les fumées de silice, qui contribuent à réduire la perméabilité et à augmenter la résistance chimique.

#### B. Utilisation d'additifs chimiques :

- Inhibiteurs de corrosion : ajoutés pour empêcher la corrosion des armatures en acier.

#### C. Contrôle du rapport eau/ciment (E/C) :

- Réduire le rapport eau/ciment améliore la durabilité du béton et réduit sa perméabilité.

#### D. Amélioration de la qualité du mélange :

- S'assurer de l'homogénéité complète des composants et d'un bon mélange pour garantir une distribution uniforme des additifs et des matériaux ajoutés.

### II.7.2. PROTECTION EXTERNE DU BETON

La protection externe comprend les applications et les mesures prises sur la surface du béton après son coulage et son durcissement.

#### A. Revêtements protecteurs :

- Revêtements époxy : utilisés pour protéger le béton des agents chimiques et de l'eau.



**Photo II.3:** revêtement d'imperméabilisation

B. Enduits hydrofuges :

- Enduits de silicone : réduisent l'absorption d'eau et offrent une protection contre la corrosion.

C. Protection cathodique :

- Utilisée pour empêcher la corrosion des armatures en acier en appliquant un courant électrique qui neutralise le processus de corrosion.

D. Traitement des surfaces :

- Rugosité de surface : améliore l'adhérence des revêtements et des membranes.

- Imprégnation avec des matériaux imperméabilisants : l'utilisation de matériaux tels que l'acrylique et le silicone pour remplir les pores et empêcher la pénétration de l'eau.

E. Utilisation de panneaux de protection externes :

- Installation de panneaux de protection tels que des panneaux de ciment ou des panneaux en plastique pour fournir une barrière supplémentaire contre les agents environnementaux nuisibles.

## II.8 CONCLUSION

En comprenant les causes et en appliquant correctement les mesures préventives, les risques peuvent être réduits et la durabilité des structures en béton améliorée. L'investissement dans la recherche et le développement de nouvelles technologies de protection est essentiel pour atteindre cet objectif, contribuant ainsi à réduire les coûts et à assurer la sécurité à long terme.

**CHAPITER III**

**MATÉRIAUX UTILISÉS ET FORMULATION DU**

**BÉTON**

## CHAPITRE III : MATERIAUX UTILISÉS ET FORMULATION DU BETON ET ESSAIS RÉALISÉS

### III.1. INTRODUCTION

Ce chapitre présente une analyse approfondie des propriétés des matériaux utilisés pour préparer les échantillons de béton pour l'étude. L'accent a été mis sur les détails techniques du processus de préparation et de test. Le chapitre a commencé par une description minutieuse du processus de préparation des échantillons de béton, y compris la sélection des matériaux de base et des additifs nécessaires, ainsi que la détermination des rapports de mélange optimaux. Ensuite, les tests physiques et chimiques effectués, tels que les tests de pression, ont été examinés. Tous les tests ont été effectués selon les normes internationales, dans des laboratoires spécialisés équipés des dernières technologies et équipements :

- Laboratoire des Travaux Publics du Sud « LTPS » - Unité d'Ouargla.
- Laboratoire Algérienne Des Eaux « ADE » - Unité d'Ouargla.
- Laboratoire Etudes & Contrôles « LEC » – Ouargla.
- Laboratoire National de l'Habitat et de la construction « LNHC » - Unité d'Ouargla.

En plus d'étudier la formulation et la fabrication de béton et leurs propriétés physique et mécanique (ultrasons, résistance à la compression).

### III.2 LES MATÉRIAUX UTILISÉS

Les éléments entrants dans la composition du béton : sable, gravier, ciment et eau de gâchage. Le tableau suivant résume toutes les composantes utilisées dans cette recherche et leurs provenances.

Tableau III.1: Différentes composantes utilisés.

	Matériau		Provenance
<b>Béton</b>	Sable Construction		Carrières Sidi Slimane -Région Touggourt.
	Gravier (3/8,8/15)		Concasseur BEN BRAHIM PK 50 vers HMD.
	Ciment		CPJ CEM II / B-L42.5N(ALMATINE)
			CRS CEM I 42.5 N-SR3 (AL MOKAOUEM)
	L'eau	<b>Gâchage</b>	Eau du robin et du LTPS
<b>Conservation (Sebkha)</b>		Sebkha El-Khafdji – Ouargla	
<b>Protection</b>	Protection chimique		Époxy Master Protect 1812
	Protection classique		Flintcoat

Dans cette recherche, et pour l'objet de confectionner un béton avec un sable pauvre du Sulfate, dans le but d'influer pas sur les résultats du mélange obtenu ; Pour cela, on a fait plusieurs essais sur différentes sablières (3 échantillons de sable) afin de sélectionner le sable de la carrière Sidi Slimane ramené de la centrale de béton de la société SMCO MAKNI-Ouargla.

### III.3 ANALYSE GRANULOMETRIQUE [29]

**Objectif :** Cet essai a pour objectif de déterminer la répartition des grains suivant leurs dimension sou grosseurs pour les granulats supérieurs au diamètre 0,08mm.

Les résultats de l'analyse granulométrique des granulats utilisés sont résumés dans les courbes ci-après :

➤ **Analyse granulométrique du Sable :**

La figure III.1 montre la courbe granulométrique du sable construction utilisée, il présente un sable fin de couleur jaunâtre.

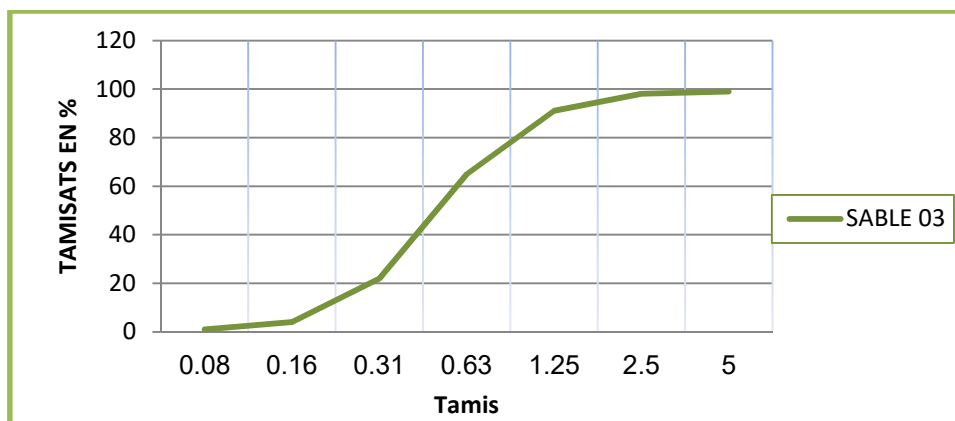


Figure III.1 : courbe granulométrique du sable.

La finesse d'un sable est définie par une grandeur appelée module de finesse " $M_F$ " [30]. Ce dernier est égal à :

$$M_F = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis (0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5)}$$

Les résultats obtenus pour le sable de Sidi Slimane sont :

Tableau III.2 valeurs de module de finesse.

Type de sable	MF	Spécification [30]	Interprétation
Sable	2.19	MF [2.2-2.8] préférentiel MF [1.8-2.2] trop fin MF [2.8-3.2] trop grossier	Sable trop fin

➤ **Analyse granulométrique du gravier :**

Les figures III.2 et III.3 montrent la courbe granulométrique du gravier de classe 3/8 et 8/15. La courbe du gravier 3/8 est entièrement à l'intérieur du fuseau de référence recommandé, d'autre part, la courbe du gravier 8/15 est située à la limite du fuseau de référence recommandé.

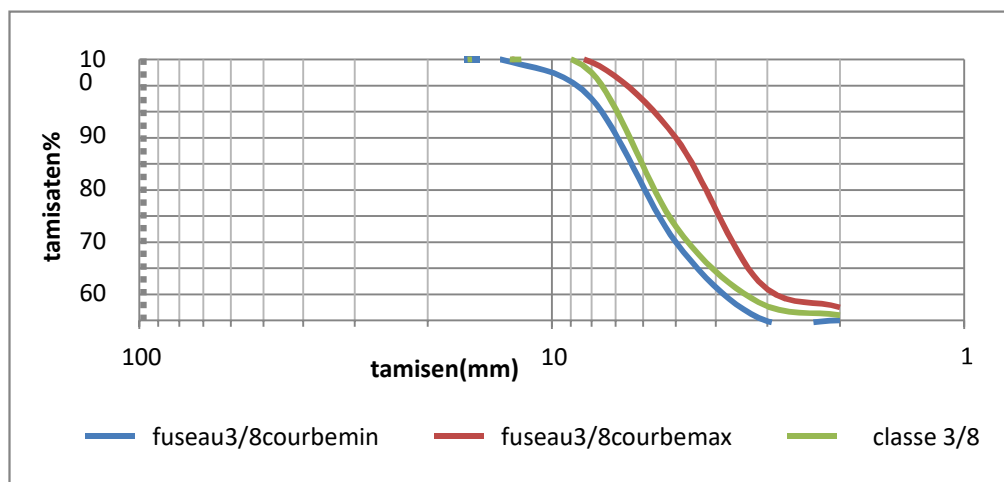


Figure III.2 : courbe granulométrique du gravier3/8.

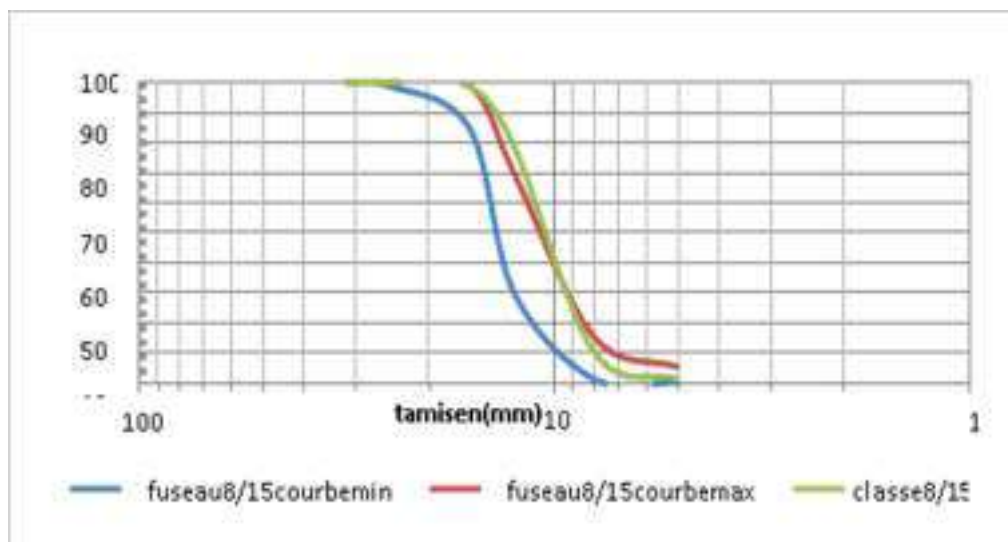


Figure III.3 : courbe granulométrique du gravier8/15.

### III.4 ESSAIS DE MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT DES GRANULATS [31]

**Objectif** : La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats. [32]

**Mode opératoire** : Le coefficient d'aplatissement s'obtient en faisant une double analyse granulométrique, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulats.

- Une série de tamis normalisés à mailles,
- Une série de tamis (grille) à fentes de largeurs **E** normalisées.

Les résultats de ces essais sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau III.3:** Résultats de mesure du coefficient d'aplatissement des graviers.

Gravier	3/8	8/15	Spécification [31]
A%	47.99	18.30	< 30%

### III.5 PROPRETÉ DES GRANULATS

#### III.5.1 ESSAI DE PROPLETE SUPERFICIELLE DES GRANULATS :

Contrairement aux sables, les graviers présentant des classes granulaires relativement grossières. Ainsi, le principe de séparation des agrégats des éléments fins ne se fera pas par sédimentation mais par lavage . La propreté superficielle sera calculée comme suite :

$$P (\%) = \frac{M_0 - M}{M} * 100$$

**Tableau III.4 :** Propreté superficielle des granulats.

Granulat	Propreté super ficelle (%)	Spécifications [33]
Gravier 3/8	0.72	<2%
Gravier 8/15	0.56	

\* On remarque que notre gravier est propre, ce qui aide à l'adhérence lors du mélange. Il n'est que légèrement supérieur à 3/8, mais cela ne l'altère pas.

### III.6 Essais d'équivalent de sable [36]

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable effectué sur une fraction 0/5 mm du matériau étudié. [34]

On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout au bout de 20 minute :

- a. **Hauteur<sub>h1</sub>** : sable propre + éléments fine(floculant).
- b. **Hauteur<sub>h2</sub>** : sable propre seulement.

On déduit l'équivalent de sable où on peut utiliser un piston comme la figure ci- dessous montre :

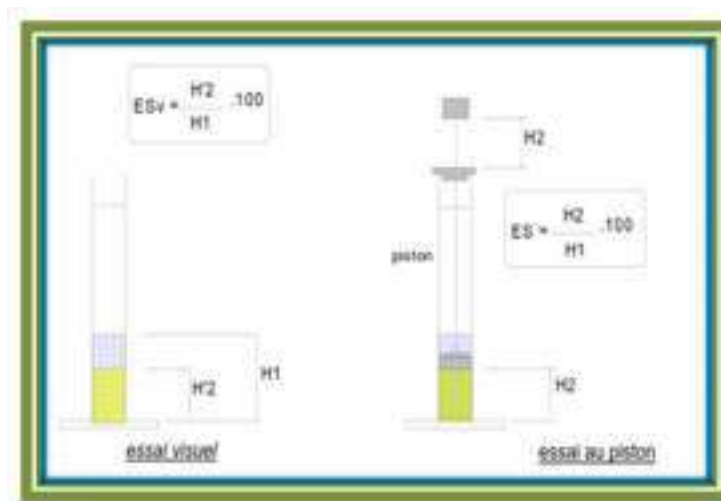


Figure III.4 : Equivalent de sable.

La valeur optimale de l'équivalent de sable (mesurée à vue sans l'aide d'un piston) est comprise entre 70 et 80, dans le cas des sables silico-calcaires tout au moins et ne contenant que peu de fines argileuses nocives dont la faible importance doit alors être confirmée par l'Essai «au bleu » (norme NFP 18-592).[34]

Tableau III.5: Equivalent de sable.

Classe granulaire	E.S (piston)	Spécifications [33]	Interprétation
Sable	80.23	SE >80	Sable très propre

On constate de bons résultats car le sable utilisé est lavé.

### III.7 ESSAI AU BLEU DE MÉTHYLÈNE [39]

**Objectif** : Essai utilisé pour la qualification des fines, et principalement pour quantifier la propreté des sables.

**Principe** : Une prise d'essai de granulats est mise en suspension dans de l'eau. Des doses de solutions de bleu de méthylènes sont progressivement ajoutées dans la suspension. L'absorption de la solution par la prise d'essai est vérifiée après chaque addition en effectuant un test à la tache sur du papier filtre. Lorsque du colorant libre est décelé de façon répétée, le test est arrêté, la valeur de bleu de méthylène noté MB est calculée (s'exprime alors en gramme de colorant adsorbé par kilogramme de l'échantillon testé).

Le **VB** s'exprime en gramme de colorant par kilogramme de sable.

$$VB = 10 \times \frac{V1}{M1}$$

Avec : **V1** : volume de bleu de méthylène en ml.

**M1** : masse de la prise d'essai en gramme.

**Tableau III.6** : valeurs des VB des sables utilisés.

Échantillon	VB	Spécification [33]
Sable	0.48	$VBS \leq 1,5$

### III.8 COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU [40]

Le coefficient d'absorption est défini comme un rapport entre la masse d'un échantillon imbibé par la masse sèche de cet échantillon.



**Photo III.1:** Mesure de l'absorption de sable.

Le coefficient d'absorption est obtenu par :

$$Ab = \frac{M_a - M_s}{M_s} * 100$$

Tels que : **Ms** : la masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C.

**Ma** : la masse de l'échantillon imbibé dans l'eau. [38]

La norme préconise pour un bon agrégat une capacité d'absorption d'eau **CA < 2.5%**.

Tableau III.7 : Résultats d'essai absorption.

Granulat	Ab%	Spécification [33]
Sable	0.28	< 2.5%
Gravier3/8	2.39	
Gravier8/15	1.68	

Du tableau III.7, nous remarquons que tous les granulats ont un coefficient d'absorption acceptable.

### III.9 MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE [41]

#### III.9.1 La masse volumique absolue

C'est la masse par unité du volume de la matière qui constitue le sable, sans tenir compte des vides qui peuvent prendre la contre les grains.

La formule qui permet de calculer ce paramètre est :

$$\gamma_s = \frac{M}{V_s}$$

Tels que :

$\gamma_s$  : La masse volumique absolue(g/cm<sup>3</sup>)

$M$  : La masse de l'échantillon(g)

$V_s$  : Le volume absolu (volume des grains solides) de l'échantillon(cm<sup>3</sup>)

#### III.9.2 La masse volumique apparente

Par définition la masse volumique d'un échantillon est le quotient de sa masse  $M$  Parson volume  $V_a$  qu'il occupe :

$\gamma_a$  : La masse volumique apparente(g/cm<sup>3</sup>)

$M$  : La masse de l'échantillon(g)

$V_a$  : Le volume apparent de l'échantillon(cm<sup>3</sup>)

$$\gamma_a = \frac{M}{V_a}$$

Les résultats résumés dans le tableau ci-dessous :

**TableauIII.8** : Masse volumique absolue et apparente des granulats utilisés.

Granulat	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (g/cm <sup>3</sup> )
Sable	2.62	1.65
Gravier3/8	2.60	1.22
Gravier8/15	2.60	1.33

**PhotoIII.2** : Essai de la masse volumique (apparente et absolue).

### III.10 ESSAI DE LA RÉSISTANCE À L'USURE ET AU CHOC

#### III.10.1 MESURE DU COEFFICIENT MICRO DEVAL EN PRESENCE D'EAU [42]

L'essai consiste à mesurer, dans des conditions normalisées, l'usure des granulats produits par frottement mutuels, en présence d'eau avec une charge abrasive, dans un cylindre en rotation. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

**TableauIII.9** : Coefficients de Micro De val.

Classes granulaire	MDE	Spécification [33]
Gravier8/15 - classe 10/14 -	26.64	<30 % Moyen à faible

\* On remarque que la quantité de friction est légèrement élevée

MDE = 26.64  $\approx$  27 % Donc notre gravier est Moyen à faible.

### III.10.2 MESURE DU COEFFICIENT LOS ANGELES [43]

L'essai consiste à mesurer la masse  $m$  d'éléments inférieurs à 1.6mm. Produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50mm) que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés. Dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau III.10:** Coefficients Los Angeles du gravier.

Granulat	Los Angeles	Spécification [33]
LA (%)	27.62	<35%béton exceptionnel

### III.11 ANALYSE CHIMIQUE [44]

L'analyse chimique des granulats consiste à déterminer le taux des composants suivants ;

- ✓ Les insolubles.
- ✓ Les carbonates  $\text{CaCO}_3$ .
- ✓ Les chlorures  $\text{NaCl}$ .
- ✓ Les sulfates  $\text{CaSO}_4$ .



**PhotoIII.3 :** Outils et solutions pour les analyses chimiques des granulats.

Le tableau suivant récapitule les résultats de l'analyse chimique effectuée sur les échantillons des différentes classes granulaires :

**Tableau III.11** : Analyse chimique sommaire des granulats.

Teneur en élément chimique (%)	Échantillons			
	Sable	Gravier3/8	Gravier8/15	Spécification [44]
Insolubles	96	25.6	-	-
Sulfates (SO <sub>3</sub> )	0.72	0.68	< 0,80	
Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	0.026	0.014	<0,01	
Carbonates (CaCO <sub>3</sub> )	2	85	-	

Selon l'analyse chimique sommaire réalisée à l'unité LTPS/Ouargla, on constate une légère augmentation de taux du chlorure, dans le gravier et le sable, qu'il ne sera pas influé sur les résultats prochainement.

### III.12 ANALYSE CHIMIQUE DE L'EAU

L'eau de gâchage doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable le convient toujours. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des bétons sont précisées dans la norme **NFEN 1008**. [45]

Les analyses d'eau de gâchage (tableau III.12) et d'eau de sebkha (tableau III.13) utilisés dans cette recherche, ont été réalisées au laboratoire **ALGERIENNE DES EAUX (ADE)**. Les résultats de l'analyse chimique d'eau sont résumés dans les tableaux ci-après :

**Tableau III.12** : Résultats d'analyse d'eau (Utilisé pour le gâchage et conservation normalisée)

DETERMINATIONS	RÉSULTATS	INTERPRETATIONS Norme NF EN 1008/ Juillet 2003
PH	7.51	PH ≥ 4
Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	753	Max. 1 000 mg/l
Chlorures Cl <sup>-</sup> (mg/l)	883.13	Max. 2 000 mg/l

**Tableau III.13** : Résultats d'analyse d'eau de Sebkhha (Conservation agressive)

DETERMINATIONS	RÉSULTATS	INTERPRETATIONS Norme NF EN 1008/ Juillet 2003
PH	7.77	PH $\geq$ 4
Sulfates $\text{SO}_4^{-2}$ (mg/l)	<b>11060</b>	Max. 1 000 mg/l
Chlorures $\text{Cl}^-$ (mg/l)	<b>82481.40</b>	Max. 2 000 mg/l

### III.13 LE CIMENT

On a utilisé dans cette recherche deux types de ciment :

Un ciment CPJ CEM II /BL 42.5N, (EL Mâtine), et un ciment CEM I 42.5 N-SR 3 (AL Mokaouam). Toutes les caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques de ces ciments sont présentées dans les fiches techniques (voir l'annexe)

### III.14 FORMULATION DU BETON PAR LA METHODE DE DREUX GORISSE

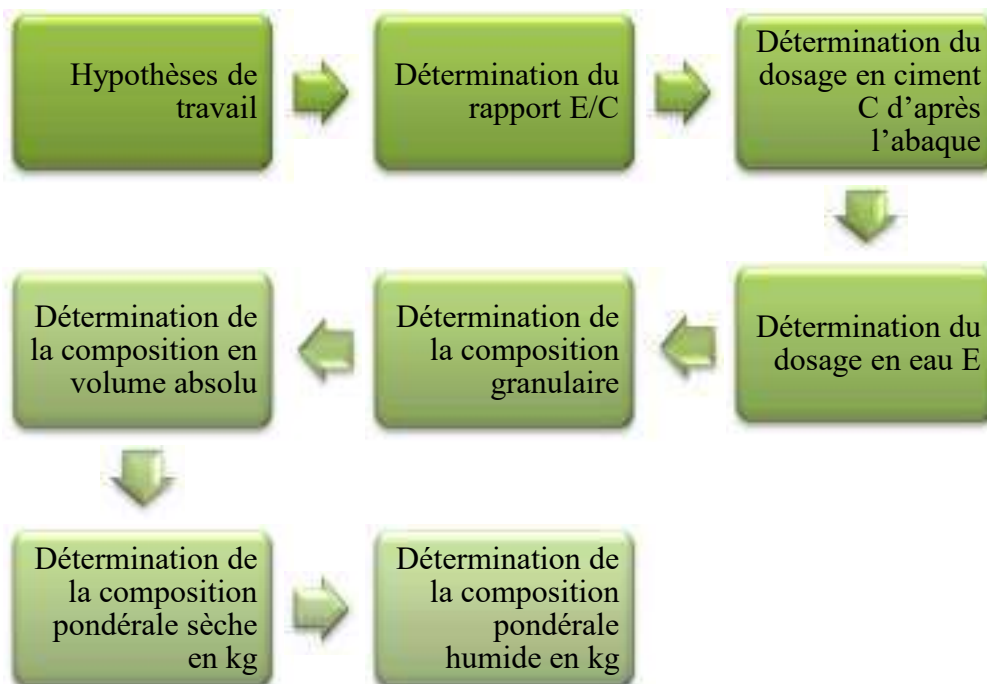
L'obtention et l'optimisation des formulations de béton reposent sur plusieurs critères majeurs : l'ouvrabilité, la résistance, la durabilité et le coût. Ces critères doivent être établis à partir des perspectives avant de rechercher le dosage de chaque composant,

Dans cette étude, nous déterminerons exactement le dosage optimal des différents composants du béton pour garantir à la fois : l'ouvrabilité, la résistance à la compression et la durée de vie souhaitable pour un béton ordinaire.

### III.15 METHODE DREUX-GORISSE

Cette méthode consiste à rechercher conjointement la résistance à la compression et l'ouvrabilité désirée à partir des données de base essentielles pour la formulation du béton telles que la dimension des granulats (D). La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges. Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport E/C, C et E, le mélange optimal à minimum de vides, la compacité du béton et les masses des granulats.

Les étapes de la **méthode de Dreux-Gorisse** peuvent être résumées en étapes comme suit :



### III.15.1 Données de base

Pour les mélanges de béton de cette étude on a choisi les critères exprimés dans les tableaux qui suit :

**Tableau III.14** : Valeur des critères choisis pour la formulation des bétons.

Critères	Valeur
Dimension maximale des granulats	D max = 20 mm
Ouvrabilité de consistance	Plastique
	Aff=8cm
Dosage en ciment	C=350kg/m <sup>3</sup>
Rapport E/ C	E/C = 0.56
Résistance caractéristique de mandée à 28jours	$F_{c28}=25$ MPa

### III.15.2 METHODE DE CALCUL

#### III.15.2 .1 Le dosage en ciment et en eau

Le dosage en ciment et en eau peut être déterminé à partir la relation de BOLOMEY:

$$F_c = G \cdot F_{ce} \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right) \quad (\text{V.1})$$

$$F_c = F_{c28} + 6 \text{ MPa} \quad (\text{V.2})$$

Avec:

$F_c$ : Résistance moyenne en compression désirée (à 28 jours) en MPa.

$F_{ce}$ : Classe vraie du ciment (à 28 jours) en MPa.

$C$ : Dosage en ciment (en  $\text{kg/m}^3$ ).

$E$ : Dosage en eau (en litre pour  $1\text{m}^3$ ).

$G$ : Coefficient granulaire, ( $D=20$ ).

La résistance moyenne en compression du béton (à 28 jours),  $F_{c28}=25\text{MPa}$ .

A partir de la relation V.1 on trouve les rapports suivants :

- le rapport  $\frac{C}{E} = 1.68$
- le dosage en ciment  $C=350 \text{ kg/m}^3$ ;
- le dosage en eau  $E=196 \text{ L/m}^3$ .

### III.15.2.2 Les proportions volumétriques des classes granulaires

Les courbes granulométriques des granulats sont présentées sur la Figure III.5. On procède à la représentation linéaire de la courbe granulaire de référence  $OAB$  qui selon DREUX–GORISSE,

le point de brisure  $A$  de la courbe de référence est à l'abscisse  $\frac{D}{2}=10 \text{ mm}$  son ordonnée est donnée par [54]:

$$Y=50-\sqrt{D+K+K_s+K_p} \quad (\text{V.3})$$

Où  $K$  est un coefficient de correction fonction du dosage en ciment, de la puissance de vibration et de l'angularité des granulats. Dans notre cas, on opte une valeur de  $K=0$ .

Le coefficient  $K_s$  est un terme correcteur qui tient compte du module de finesse du sable. Il a pour expression :

$$K_s = 6.Mf - 15 \quad (\text{V.4})$$

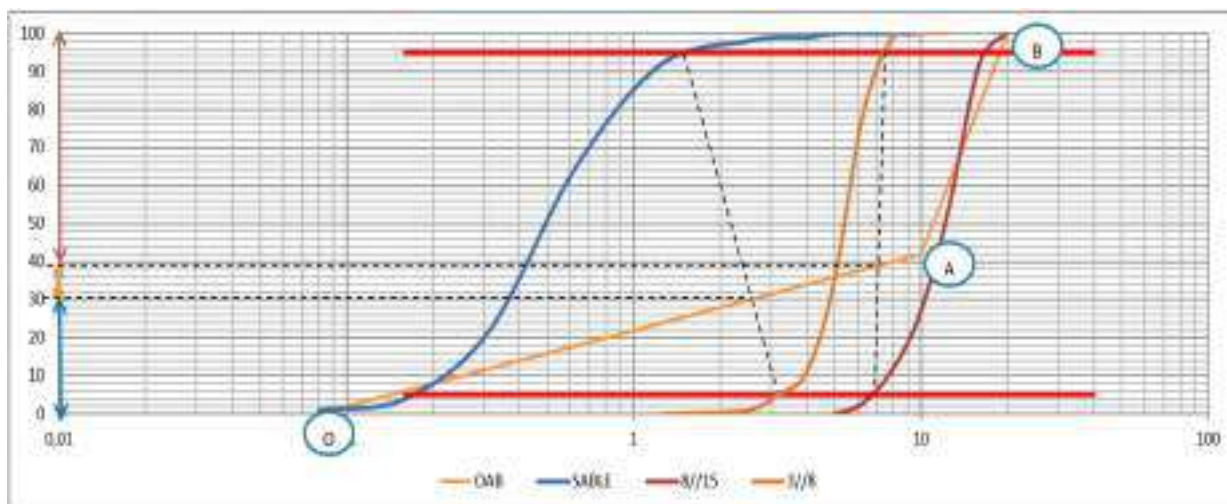
Relation dans laquelle  $Mf$  représente le module de finesse, module qui varie entre 2 et 3 généralement.

Pour le sable utilisé:  $Mf=2,19$ , soit  $K_s=-1,86$ .

Donc l'ordonnée correspondant est:  $Y=41.83\%$

Le coefficient  $K_p$  n'est appliqué que lorsque le béton doit présenter un maximum de plasticité ; (cas des bétons pompables). On adoptera une valeur de ce coefficient entre 5 et 10 selon la plasticité désirée.

Pour déterminer les pourcentages en volumes absolus de granulats permettant la confection d'un mélange à minimum de vide, il est nécessaire de tracer comme indiqué sur la figure ci-après :



**Figure III.5 :** Courbe du mélange de béton.

La ligne de partage entre les deux granulats s'obtient en joignant le point 95% de la courbe du sable au point 5% de la courbe du gravier 3/8 et la deuxième ligne de partage entre les deux graviers 3/8 et 8/15 (95%, 5%). Les deux points de rencontre des deux lignes de partage avec la courbe de référence  $OAB$  donne le partage des pourcentages de sable et de gravier 3/8 et 8/15, soit:

- Pourcentage de sable corrigé  $SC=34\%$ .
- Pourcentage de gravier  $G_{3/8}=9\%$ .
- Pourcentage de gravier  $G_{8/15}=57\%$ .



Figure III.6. : Pourcentages des granulats dans les bétons.

Après le choix du coefficient de compacité de béton ( $\gamma$ ) qui est fonction de (D), de la consistance et de l'efficacité de serrage, on peut déterminer le dosage de chaque agrégat pour  $1\text{m}^3$  ;

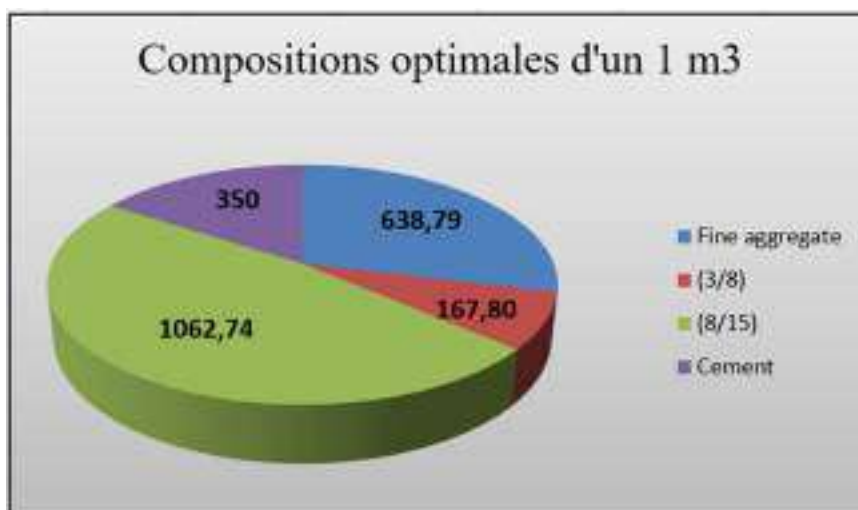


Figure III.7. : Compositions optimales d'un  $1\text{m}^3$  des bétons.

### III.16 CONFECTION DES EPROUVETTES

Conformément à la norme européenne NF EN12390-1, pour les besoins de notre étude et selon la nature des essais réalisés, on a utilisé des moules cubiques ( $15 \times 15 \times 15$ )  $\text{cm}^3$ , pour les deux mélanges à base de ciment CPJ et CRS, sont confectionnées pour la détermination de la résistance à la compression ainsi que pour l'essai d'ultrasonique.

### III.17 LE MALAXAGE

Conformément à la norme NF 18.404, les constituants, après avoir été pesés, sont introduits du plus gros au plus fin à l'intérieur du malaxeur (le ciment étant introduit juste avant le sable). Le malaxage prend une minute à sec et se prolonge durant deux minutes après l'ajout de l'eau. Le malaxage est exécuté à l'aide d'un malaxeur au niveau de LTPSud.

### III.18 MOULAGE ET DEMOULAGE

Après le malaxage, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage.

Le remplissage des moules est exécuté en deux couches vibrées jusqu'à l'élimination des bulles d'air du béton. Le but de la vibration est le remplissage parfait du moule. À la fin du coulage, il faut raser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes NF P18-422 et NF P18-423. La face supérieure de l'éprouvette doit être lissée et bien finie.

### III.19 CONSERVATION DES EPROUVETTES

On a choisi dans cette étude, deux environnements pour la conservation des éprouvettes de béton :

- 1) Un milieu de conservation agressif : Nous avons utilisé l'eau de Sebkhah El-Khafdji, dans les conditions suivantes :  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . La figure III.17 montre l'emplacement du Sebkhah.
- 2) Un milieu de conservation normalisé : dans l'eau du potable à une température de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .



Photo III.4: L'emplacement du Sebkhah.

### III.20 PROTECTION DES EPROUVETTES

Pour la méthode de protection, nous avons utilisé deux produits différents :

1) **Protection chimique** : à l'aide d'un produit à base d'époxy Master Protect 1812, commercialisé sous le nom de BASF 1812.

Ce produit est une peinture époxy en émulsion bi-composante à base de résines pigmentées et durcies. Il est spécialement conçu pour protéger le béton et l'acier et, après application, formera une couche esthétique et hautement résistante aux produits chimiques. Leurs caractéristiques et le mode d'application sont présentés dans la fiche technique (voir l'annexe).

On a apporté ce produit du magasin ...sika el oued. / Willya El oued.

2) **Protection classique** : en imprégnant le mur d'une couche de Flintkoat, une émulsion de bitume anionique ultra-stable.

Il est utilisé pour l'imprégnation des supports en béton des toitures plates et des ouvrages d'art destinés à recevoir une étanchéité par membranes bitumineuses.

Après 14 jours d'une conservation normalisée de tous les échantillons, nous avons appliqué deux couches pour chaque type de protection.



**Photo III.5:** Appliquer une protection aux échantillons

### III.21 PRÉSENTATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX

Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés de béton témoin et béton protégé par le produit classique ou le produit d'époxy et comparer ceux-ci aux propriétés de béton témoin.

Chaque essai est réalisé sur trois éprouvettes de la même composition, et la valeur moyenne des 3 essais a été prise comme valeur caractéristique. Le tableau III.12 décrit, pour chaque essai réalisé, les éprouvettes de bétons préparés ainsi que leurs modes de protection, type de ciment utilisé et le milieu de conservation.

Tableau III.15: Epreuves et leurs modes de protection, type de ciment et milieux de conservations

ESSAI	Éprouvettes préparés	Conservation après démoulage à 24 heures	Modes de protection	Milieu Conservation après protection	Nombre Epreuves testés
Résistance à la compression	Cubique (15×15×15) cm	Dans l'eau normalisée À T=20 ±2°C pendant 14 jours	Témoin (Sans protection)	Eau potable à T=20 ±2°C (*)	3
				Eau Agressive à T=20 ±2°C (*)	3
			Protection Époxy	Eau potable à T=20 ±2°C (*)	3
				Eau Agressive à T=20 ±2°C (*)	3
			Protection Flintkoat	Eau potable à T=20 ±2°C (*)	3
				Eau Agressive à T=20 ±2°C (*)	3
Ultrasonique	Cubique (15×15×15) cm	Dans l'eau normalisée À T=20 ±2°C pendant 14 jours	Témoin (Sans protection)	Eau potable à T=20 ±2°C (*)	2
				Eau Agressive à T=20 ±2°C (*)	2
			Protection Époxy	Eau potable à T=20 ±2°C (*)	2
				Eau Agressive à T=20 ±2°C (*)	2
			Protection classique Flintkoat	Eau potable à T=20 ±2°C (*)	2
				Eau Agressive à T=20 ±2°C (*)	2
<b>∑ 90 éprouvettes CPJ + ∑ 90 éprouvettes CRS = ∑ 180 Éprouvettes</b>					

(\*) : Conservation pendant 28, 60 et 90 jours

## III.22 ESSAI SUR BETON FRAIS

### III.22.1 Mesure de la consistance [47]

Le contrôle de l'ouvrabilité est effectué à l'aide de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams qui consiste à :

- ✓ Mouler des troncs de cône en béton (basedediamètre20cm, partie haute de diamètre 10cm).
- ✓ Remplir le cône en trois couches piquées chacune par 25 coups avec une tige métallique de 16 mm de diamètre a extrémité arrondie.
- ✓ Sou le ver le moule avec précaution et mesurer la hauteur l'affaissement en cm.



**PhotoIII.6** : mesure de l'affaissement.

## III.23 ESSAIS SUR BETON DURCI

### III.23.1 Essai de compression AFNOR : Février 2003" NF P 18-455 [48]

L'essai de résistance à la compression a été effectué par l'application d'un effort de chargement sur une éprouvette cubique ( $15 \times 15 \times 15$ ) cm, avec une vitesse de 0.6/12, dans le sens perpendiculaire à l'axe de coulage, jusqu'à rupture dans une presse d'essai de compression.

L pairesse utilisée est une machine de type ayant une capacité maximale de 3000 KN.



**Photo III.7 :** Essai de compression

### III.23.2 Essai de mesure vitesse du son (Ultrasonique) (NFP18 – 418)

L'essai d'auscultation dynamique, par vitesse du son, consiste à mesurer le temps de propagation d'ondes sonique dans une éprouvette de béton à l'aide d'un appareil à ultrasons, L'essai a été effectué conformément à la norme française P18 - 418. La vitesse de propagation du son est calculée par la formule suivante :

$$V=d/t \text{ (m/s)}$$

Où :

D : Distance entre faces de l'éprouvette mesurée en mètres,

T : Temps de propagation d'ondes en secondes

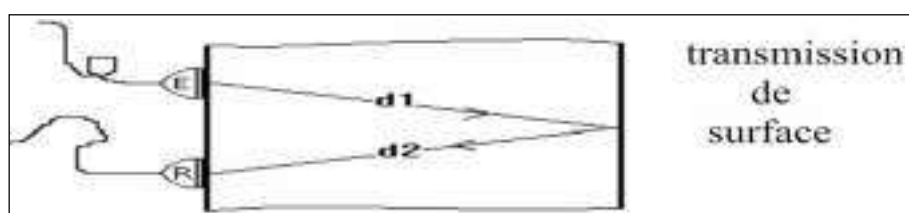
V : les vitesses de propagation du son calculées, sont exprimées en mètres par seconde, sous la forme de la moyenne des valeurs mesurées sur trois éprouvettes.

#### III.23.2.1 Type de propagation d'ondes

Dans notre mémoire On a basé sur deux méthodes de mesure :

##### a. Transmission surfacique :

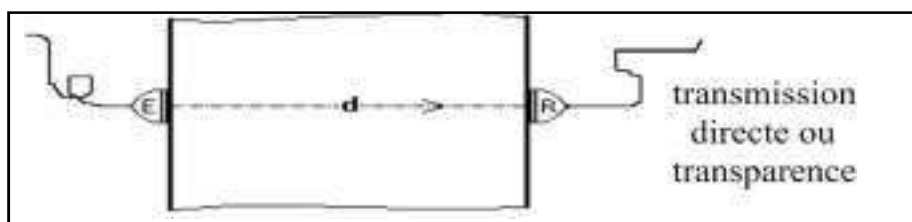
On pose le transducteur l'un près de l'autre



**Figure III.8:** Transmission surfacique

**b. transmission directe :**

On pose les transducteurs l'un en face de l'autre



**Figure III.9:** Transmission directe

**III.24 CONCLUSION**

Sur la base des résultats obtenus grâce à une série d'essais standards sur les composants en béton de cette étude, nous pouvons conclure ce qui suit :

\*Le sable étudié est un sable légèrement fin, avec une courbe granulométrique diffuse, et un bon équivalent du sable, car il est lavé.

\* Gravier propre, de forme adaptée et de bonne résistance à l'abrasion et aux chocs. Nous avons seulement constaté que l'aplatissement gravier 3/8 est légèrement élevée. Cependant, les deux types ont eu des résultats acceptables.

\*En ce qui concerne les analyses chimiques, nous avons observé une augmentation du chlore dans les deux échantillons.

\*De manière générale, nos granulats ont des propriétés répondant aux normes et spécifications, soit une densité satisfaisante.

\*L'eau utilisée comme composant du béton dans cette étude est conforme aux normes de l'industrie du béton. Par contre, l'eau utilisée comme milieu de conservation agressive, on constate que les Sulfates et chlorures sont supérieurs aux spécifications de conservation.

\* Concerne le ciment utilisé dans cette recherche, on a produit 2 types de béton : à base de ciment CPJ, et à base de ciment CRS.

\* le mode de protection adopter est : un mode classique par le Flintcoat et un produit chimique par un époxy Master Protect 1812.

\* déterminer la formulation théorique des composants des deux mélanges du béton utilisés (à base de CPJ et CRS).

\* effectuer un essai pour le béton frais (mesure de l'affaissement) ; après la conservation normalisée de tous les éprouvettes (pendant 14 jours) on a appliqué les 2 produits sur chaque type de béton.

\* Après la conservation sous différentes conditions spécifiques pour chaque béton, on a réalisé des essais pour étudier le comportement mécanique, selon la nature du ciment utilisé, le mode de protection et selon le milieu de conservation (agressif ou normalisé).

**CHAPITRE IV**

**RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

## CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### IV.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on a présenté les résultats de différents tests, notamment la résistance mécanique de compression, la masse volumique et l'essai de mesure de son ultrasonique. Dans deux environnements différents (agressif et normalisé), cette étude vise à déterminer l'efficacité de différentes méthodes de protection, à réduire les pathologies résultant des attaques chimiques et à améliorer la durabilité du béton.

### IV.2 EXPLOITATION DES RESULTATS OBTENUS SUR BÉTONS FRAIS

L'essai réalisé sur les bétons frais est la mesure de l'ouvrabilité évaluée à l'aide du cône d'Abrams. La consistance désirée pour ces bétons est une ouvrabilité plastique.

Afin de faciliter la comparaison des types de béton entre eux, tous sont fabriqués à ouvrabilité constante appréciée par un affaissement au cône d'Abrams de l'ordre de 8 cm de la classe de consistance des bétons plastiques. Le tableau IV.1 suivant donne des indications sur les quantités d'eau totales réellement utilisées dans les mélanges ainsi que les quantités effectivement ajoutées aux mélanges.

**Tableau IV.1** : Variation de l'eau de gâchage de 1 m<sup>3</sup> et le rapport E/C.

	Eau calculée (l)	Eau ajoutée (l)	Eau efficace (l)	E/C (l)	Affaissement
CPJ	157,5	48,3	205,8	0.56	8
CRS	157,5	50,6	208,1	0,56	

D'après les études similaires sur le béton confectionné par un ciment CPJ et béton à base de ciment CRS et à travers ces résultats, il est montré que la demande en quantités d'eau de gâchage dans le cas des bétons à base de ciment CRS est plus importante que celle demandée dans le cas du béton à base de ciment CPJ. Cela est probablement lié à la nature chimique de chaque type de ciment, car le ciment CPJ nécessite plus d'eau que le ciment CRS. Ces remarques coïncident avec les données de la bibliographie. [49]

### IV.3 EXPLOITATION DES RÉSULTATS OBTENUS SUR BÉTONS DURCIS

Les essais et les mesures réalisés sur les bétons durcis sont des essais destructifs (résistance à la compression) et des essais non destructifs (mesure des masses volumiques et l'ultrasonique).

#### IV.3.1 ESSAI DE LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DE BETON DURCI

Les éprouvettes moulées sont conservées à l'air libre et à température ambiante (température à l'intérieur du laboratoire) durant 24 heures après le coulage. Juste après le démoulage elles sont immergées dans l'eau normalisé.

Après 28 jours de placement dans les divers milieux de conservation, on a mesuré la masse volumique avant l'essai d'écrasement. Les résultats des masses volumiques apparente pour les différents types de béton sont présentés dans les figures IV.1 et IV.2.

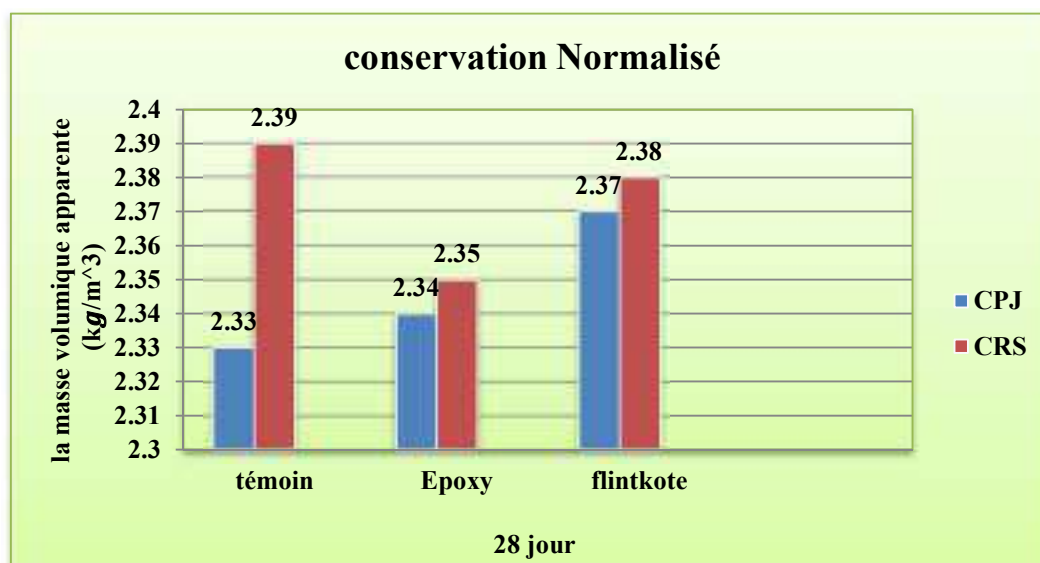
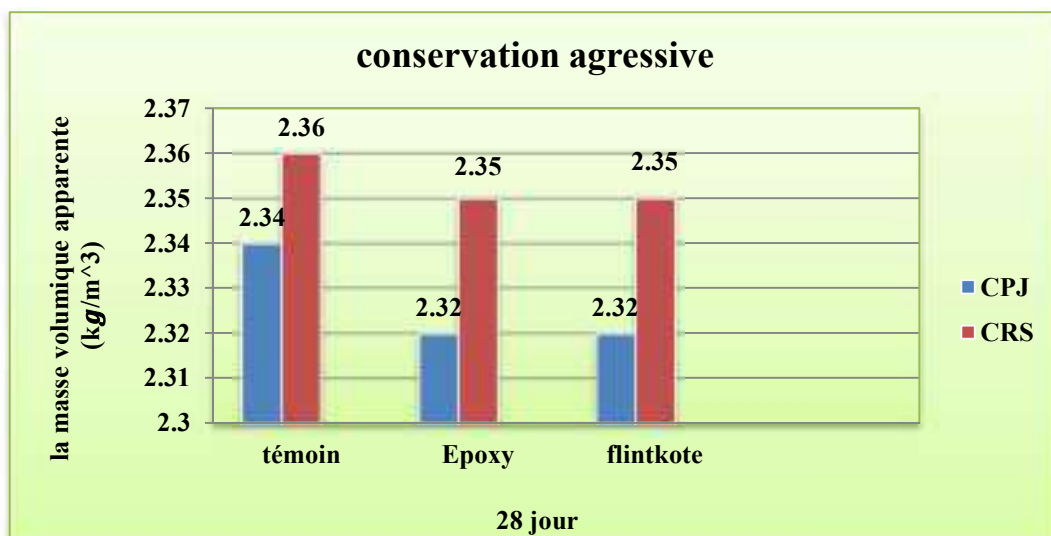


Figure IV.1: La variation de la masse volumique apparente du béton à l'âge de 28 jours dans un milieu normalisé.



**Figure IV.2:** La variation de la masse volumique apparente du béton à l'âge de 28 jours dans un milieu agressif.

On a constaté que les masses volumiques apparentes des bétons durcis à base de ciment CPJ est moins que la masse volumique des bétons durcis à base d'un ciment CRS : ceci s'explique par le fait que la masse volumique du ciment CPJ ( $2,93 \text{ g/cm}^3$ ) est faible que la masse volumique du ciment CRS ( $3,13 \text{ g/cm}^3$ ).[50][51]

### IV.3.2 ESSAI DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION

Avant l'application des produits de protection, on a réalisé un essai de compression pour voir une idée sur la résistance de béton avant la conservation dans les différents milieux (normalisé/agressif). Ces résultats sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.2 :** La résistance à la compression – âge 14 jours -

Béton à base	Milieu de conservation	Masse Volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	RC (14 jours) – Avant la protection _ (MPa)
Ciment CPJ	Normalisé	22,68	23,06
Ciment CRS	( $20 \pm 2$ ) C°	23,43	26,71

Après la protection par les deux produits, les résultats obtenus des résistances à la compression à différents âges (28 jours, 60 jours et 90 jours) pour les divers mélanges, sont illustrés dans les figures suivantes. Chaque valeur représente la moyenne de 3 essais.

## a- La résistance à la compression à 28 jours :

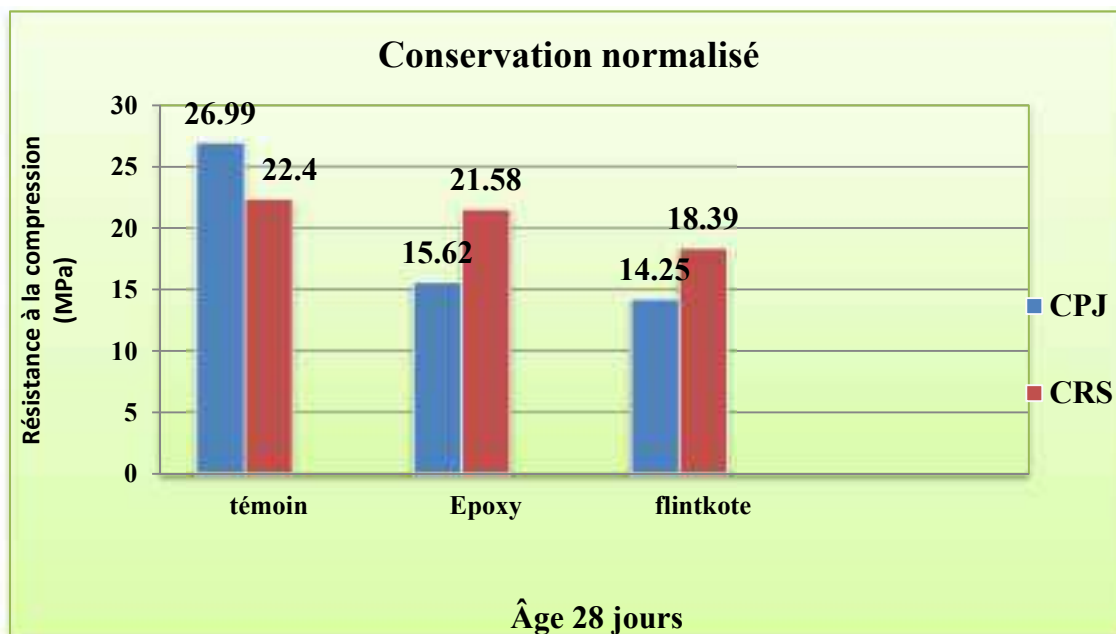


Figure IV.3 : Résistances à la compression des bétons dans un milieu normalisé.

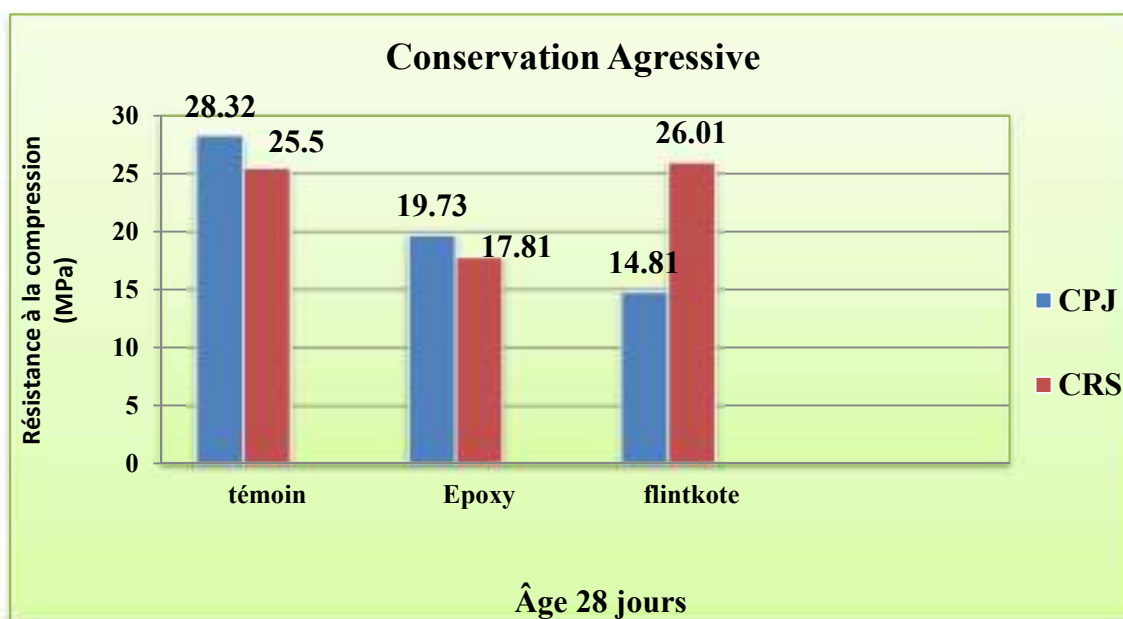


Figure IV.4: Résistances à la compression des bétons dans un milieu agressif.

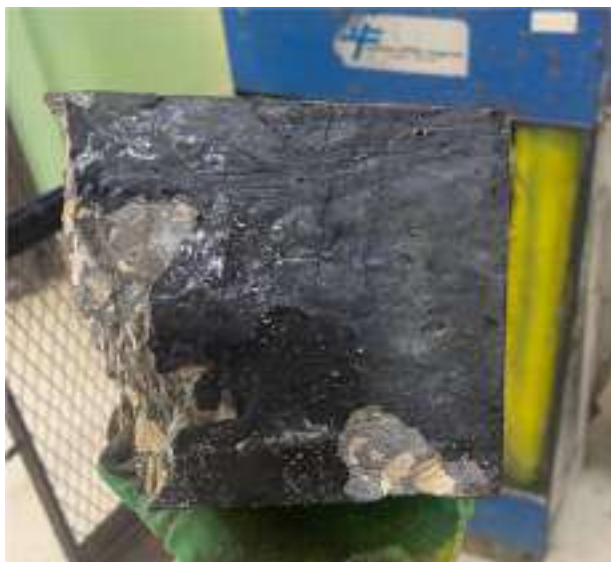
D'après les résultats obtenus par les figures IV. 1 et IV.2 on peut observer les constatations suivantes :

- La résistance à la compression augmente entre 14 (avant la protection) et 28 jours pour les mélanges des divers milieux de conservation (Normalisé/Aggressive).
- Conservation milieu normalisé :

- ✓ La résistance à la compression du béton CPJ est plus que le béton à base de ciment CRS.
  - ✓ La résistance à la compression du béton CPJ diminue par rapport aux deux modes de protections, cette diminution est de l'ordre de 42,13% pour l'époxy et de 47,21% pour le Flintkoat.
  - ✓ La résistance à la compression du béton CRS diminue par rapport aux deux modes de protections, cette diminution est de l'ordre de 3,66% pour l'époxy et de 17,9% pour le Flintkoat.
  - ✓ La diminution de la résistance à la compression est remarquable par rapport au béton à base de CPJ, on remarque une chute de résistance qui représente la résistance minimale des bétons protégé par le Flintkoat.
- Conservation milieu agressif :
- ✓ La résistance à la compression du béton CPJ est plus que le béton à base de ciment CRS pour le béton témoin et protégé par époxy, par contre, le mode de protection de Flintkoat donne une résistance à la compression du ciment CRS plus que le ciment CPJ ; cette valeur est capable dû au mal écrasement des éprouvettes.
  - ✓ La résistance à la compression du béton CPJ diminue par rapport aux deux modes de protections, cette diminution est de l'ordre de 30,34% pour l'époxy et de 47,71% pour le Flintkoat.
  - ✓ La résistance à la compression du béton CRS diminue par rapport au mode de protection par époxy, cette diminution est de l'ordre de 30,16%, par contre on remarque une augmentation de résistance pour le Flintkoat, cette augmentation est d'ordre de 2% par rapport le béton témoin.
- Pour les deux milieux de conservation, on remarque que la résistance à la compression diminue par rapport aux deux modes de protections.
- Le béton témoin, à base de ciment CPJ ou CRS, présente une résistance à la compression acceptable dans le milieu de conservation agressive, qui peut atteindre 28,32 MPa (CPJ) et 25,5 MPa (CRS) à 28 jours dans le milieu agressif.
- Concernant l'interprétation de ces résultats pour les échantillons placés dans les deux environnements, les deux types de ciments utilisés, et pour les échantillons témoins : la diminution est dû à la forme de fracture de l'échantillon (éprouvette mal écrasée) comme indiqué dans la photo IV.1.

En plus des sels présent dans l'environnement agressif, et les composantes chimiques des produits de protection présentent un impact significatif sur les résultats de résistance.

On outre, le béton protégé (époxy ou Flintkoat) garde l'humidité (de conservation) qui influent négativement aussi sur la résistance (photo IV.2).



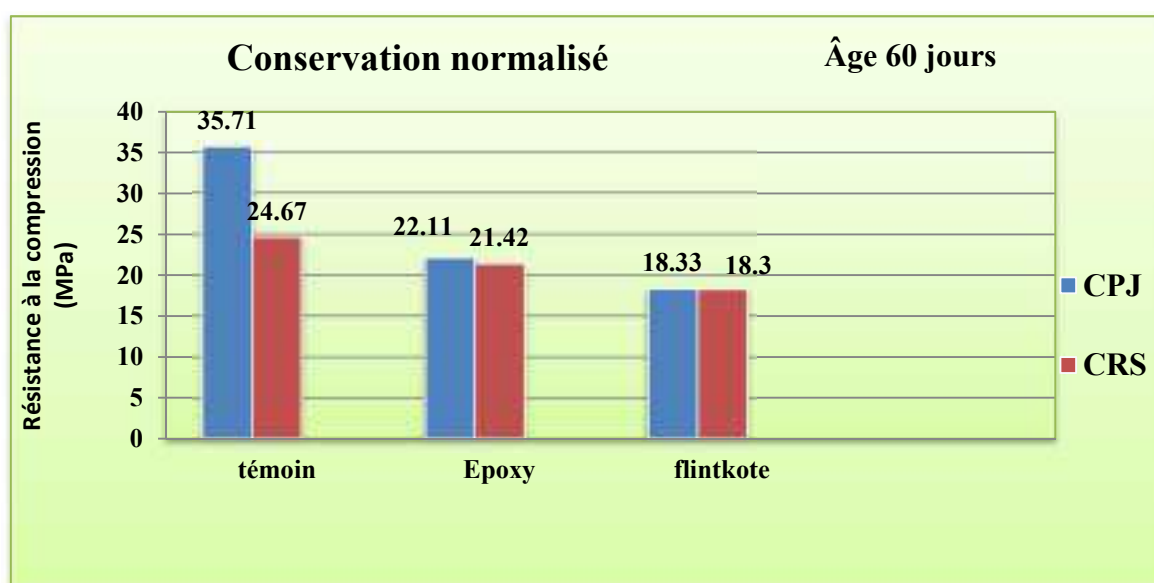
**Photo IV.1** : Forme d'éprouvette écrasée



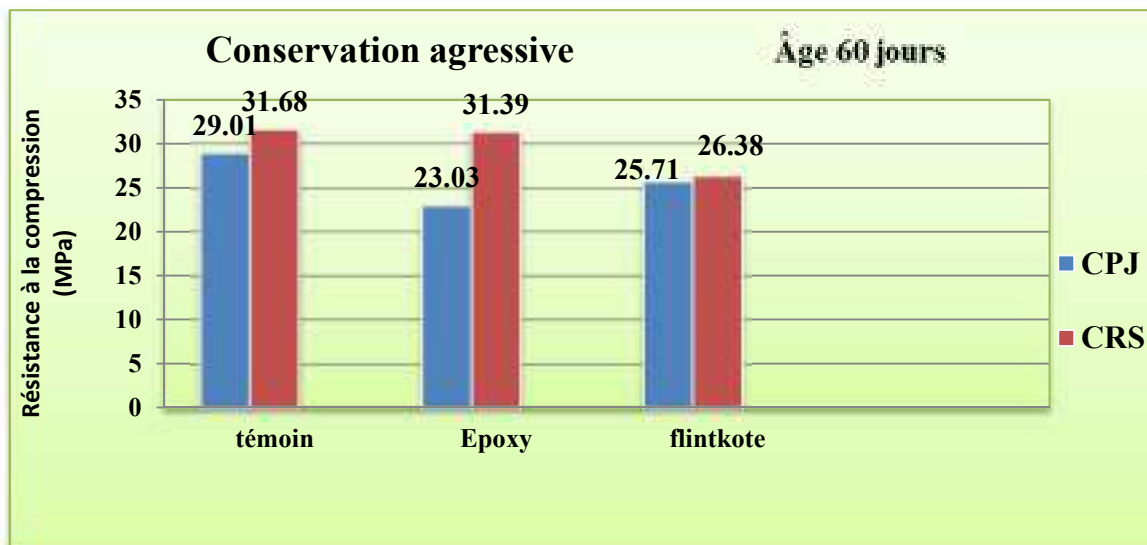
**Photo IV.2** : Éprouvette humide après l'écrasement

#### b- La résistance à la compression à 60 jours :

Les résultats obtenus pour la résistance à la compression de 60 jours d'âge pour un béton en de différents milieux de conservations et modes de protections, sont présentés dans les figures IV.3 / IV.4 ci-dessous :



**Figure IV.5** : Résistances à la compression des bétons dans un milieu normalisé âge 60 jours.



FigureIV.6 : Résistances à la compression des bétons dans un milieu agressif âge 60 jours

A travers les résultats obtenus, on remarque que la valeur de résistance des échantillons augmente de plus en plus à l'âge de 60 jours par rapport aux résultats obtenus à l'âge de 28 jours. On peut observer aussi les constatations suivantes :

- Conservation milieu normalisé :

- ✓ La résistance à la compression du béton CPJ est plus que le béton à base de ciment CRS.
- ✓ La résistance à la compression du béton CPJ diminue par rapport aux deux modes de protections, cette diminution est de l'ordre de 38,09% pour l'époxy et de 48,67% pour le Flintkoat.
- ✓ La résistance à la compression du béton CRS diminue par rapport aux deux modes de protections, cette diminution est de l'ordre de 13,18% pour l'époxy et de 25,82% pour le Flintkoat.
- ✓ La plus faible résistance à la compression est enregistrée pour le béton (CPJ et CRS) protégé par le Flintkoat conservé dans le milieu normalisé, qui donne une valeur de 18,3 MPa (résistance non acceptable).

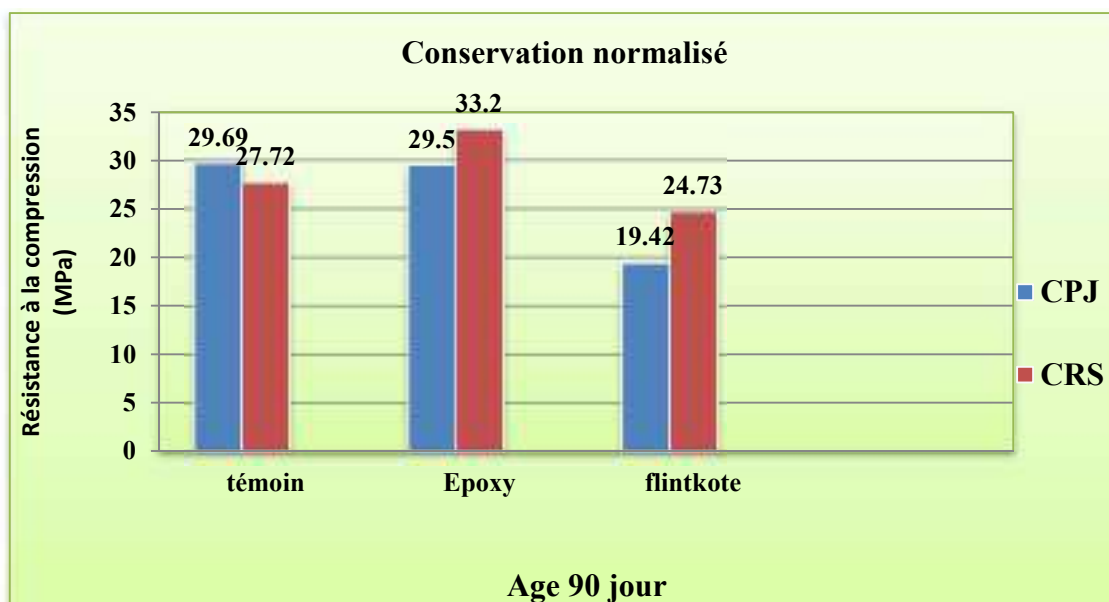
- Conservation milieu agressif :

- ✓ La résistance à la compression du béton CRS est plus que le béton à base de ciment CPJ pour les divers types de béton.
- ✓ La résistance à la compression du béton CPJ diminue par rapport aux deux modes de protections, cette diminution est de l'ordre de 20,62% pour l'époxy et de 11,38% pour le Flintkoat.

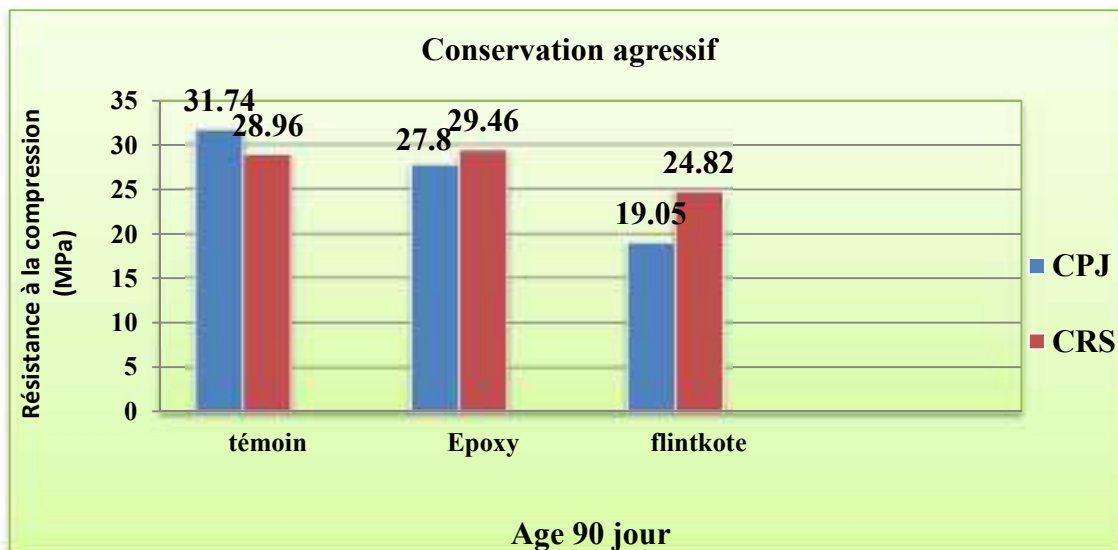
- ✓ La résistance à la compression du béton témoin CRS reste stable par rapport au mode de protection époxy, et une légère diminution de résistance est d'ordre de 15,04% pour le béton protégé par le Flintkoat.
- Pour les deux milieux de conservation, on remarque que la résistance à la compression diminue par rapport aux deux modes de protections.
- Le béton témoin et protégé par l'époxy CRS/CPJ, présente une résistance à la compression acceptable dans le milieu de conservation agressive, qui varie entre 29 MPa et 31 MPa.
- La diminution des résultats d'échantillons dans l'environnement normalisé est due à la forme de la fraction présente dans l'échantillon. On également remarque la présence d'humidité dans certains échantillons, ce qui affecte logiquement sur les résultats.

### c- La résistance à la compression à 90 jours :

Les résultats obtenus pour la résistance à la compression à 90 jours d'âge pour un béton en différents milieux sont présentés dans les figures IV.5 /IV.6 ci-dessous :



FigureIV.7 : Résistances à la compression des bétons dans un milieu normalisé âge 90 jours.



**FigureIV.8** : Résistances à la compression des bétons dans un milieu agressif âge 90 jours.

A travers les résultats obtenus, on remarque que la valeur de résistance des échantillons augmente de plus en plus à l'âge de 90 jours par rapport aux résultats obtenus à l'âge de 28 et 60 jours. On peut observer aussi les constatations suivantes :

-Conservation milieu normalisé :

- ✓ La résistance à la compression du béton CRS protégé (époxy /Flintkoat) est plus que le béton à base de ciment CRS sans protection.
- ✓ La résistance à la compression du béton témoin CPJ reste stable par rapport au mode de protection époxy, et une diminution de résistance est de 34.60% pour le béton protégé par le Flintkoat.
- ✓ La résistance à la compression du béton CRS époxy augmenté par rapport aux béton témoin, cette augmentation est d'ordre 19.76%, par contre pour le béton CRS Flintkoat qu'enregistre une diminution de résistance par rapport aux béton CRS témoin, cette diminution est de l'ordre 10.78%.
- ✓ La plus faible résistance à la compression est enregistrée pour le béton (CPJ) protégé par le Flintkoat conservé dans le milieu normalisé, qui donne une valeur de 19.42 MPa (résistance non acceptable).

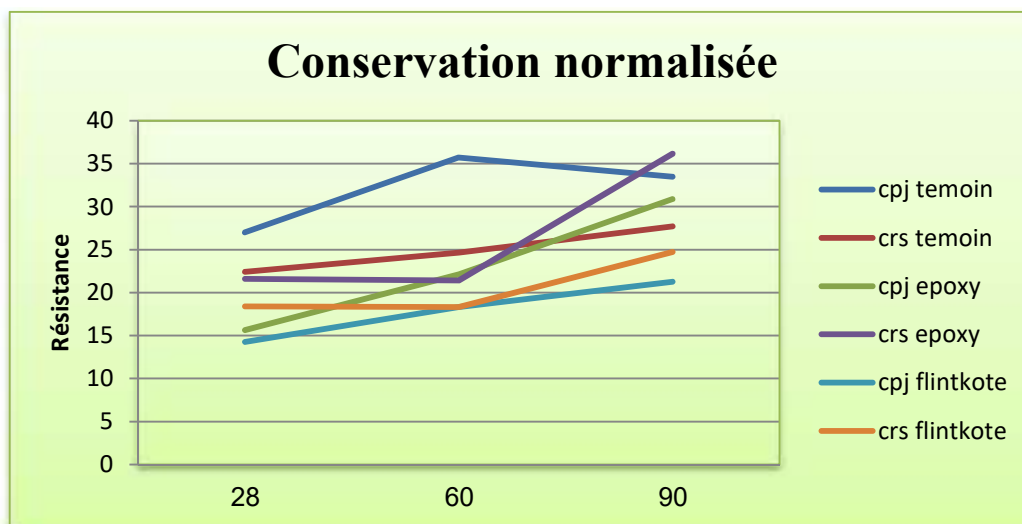
- Conservation milieu agressif :

- ✓ La résistance à la compression du béton CRS est plus que le béton à base de ciment CPJ pour les bétons protégés soit par époxy ou Flintkoat.

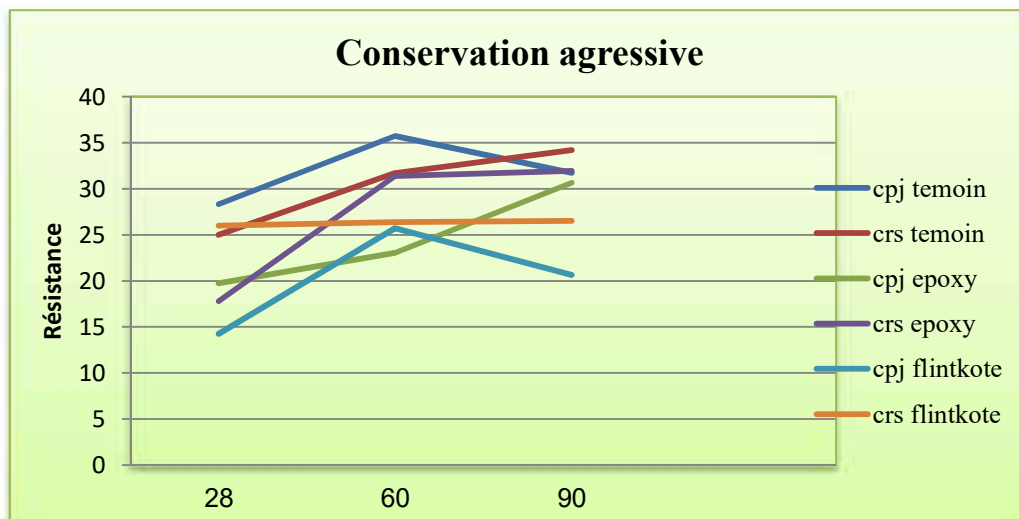
- ✓ La résistance à la compression du béton CPJ augmente par rapport aux deux modes de protection, et cette augmentation s'élève à environ 12.41% pour l'époxy et 39.98% pour le béton protégé par le Flintkoat.
  - ✓ La résistance à la compression du béton témoin CRS reste stable par rapport au mode de protection époxy, et une diminution de résistance est d'ordre de 14.29% pour le béton protégé par le Flintkoat.
- Pour les deux milieux de conservation, on remarque que la résistance à la compression diminue par rapport aux deux modes de protections.
- Le béton témoin et protégé par l'époxy CRS, présente une résistance à la compression acceptable dans le milieu de conservation agressive, qui varie entre 28,96 MPa et 29,46 MPa, successivement.

Ces résultats sont du capablement aux formes de rupture des échantillons et à la présence de grandes quantités de sels et de sulfates présents dans l'environnement dans lequel il a été stocké, ainsi qu'à la composition chimique présente dans le produit et le ciment.

Les figure IV.7 et IV.8 présentent une évaluation des résultats de divers milieux de conservation, mode de protection et type de ciment utilisés.



**Figure IV.9 :** Évolution de la résistance à la compression dans le milieu normalisé.



**Figure IV.10** : Évolution de la résistance à la compression dans le milieu agressif.

Les figures IV.7 et IV.8 montrent une évolution ordinaire de la résistance à la compression des différents types de béton (CPJ ou CRS), dans les deux milieux de conservation (normalisé/agressif) et selon les deux modes de protections (époxy/Flintkoat), à l'âge de 28, 60 et 90 jours. La résistance à la compression des éprouvettes peut être classée de la plus élevée à la moins élevée comme suit :

- Milieu normalisé : CRS époxy, CPJ témoin, CPJ époxy, CRS témoin, CRS Flintkoat, CPJ Flintkoat, ayant les valeurs maximale et minimale respectives de 33,2 MPa et 19,42 MPa, à l'âge de 90 jours. Cette valeur enregistrée pour ce type de béton (CRS époxy) dû à la réaction chimique entre les grains de ciment CRS qui est un ciment résistant aux sulfates et le produit époxy.
- Milieu agressif : CRS témoin, CRS époxy, CPJ témoin, CPJ époxy, CRS Flintkoat, CPJ Flintkoat, ayant les valeurs maximale et minimale respectives de 31,74 MPa et 19,05 MPa, à l'âge de 90 jours.

La résistance à la compression pour le béton à base de ciment CPJ soit témoin ou protégé par le produit classique Flintkoat, diminue à l'âge de 90 jours. Cette résultat donne une bonne idée sur l'époxy qui donne une résistance plus élevée que celle à 60 jours des résultats (augmentation des résistances en fonction d'âge).

### IV.3.3 Essai Ultrasonique

Les résultats de l'essai d'auscultation dynamique, soit la vitesse de la propagation du son appliqué sur les éprouvettes, sont regroupés sur la **figure IV.9-figure IV.14** ci-après :

## a- Essai auscultation Ultrasonique à 28 jours :

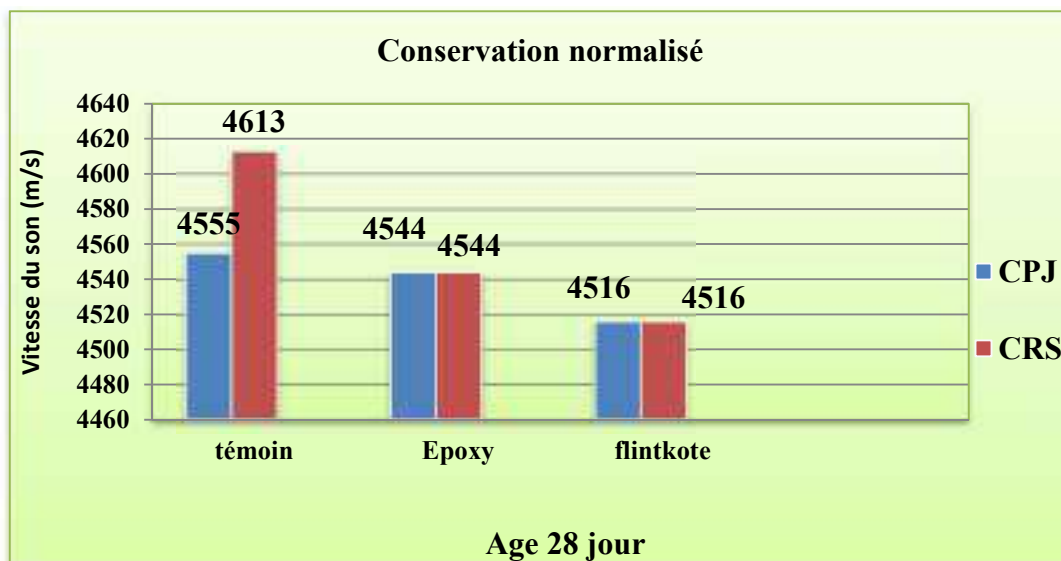


Figure IV.11: Vitesse du son des bétons dans un milieu normalisé à l'âge 28 jours.

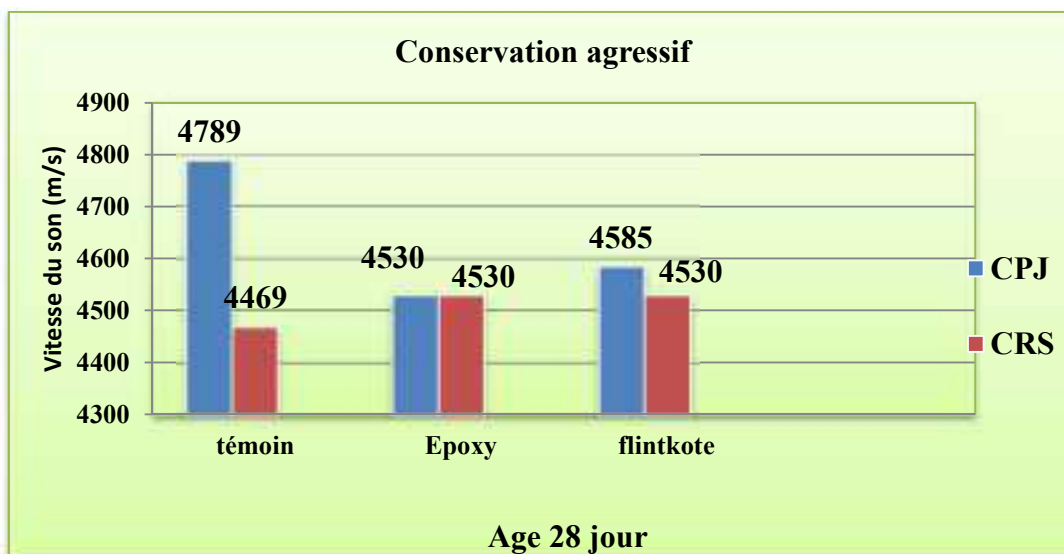
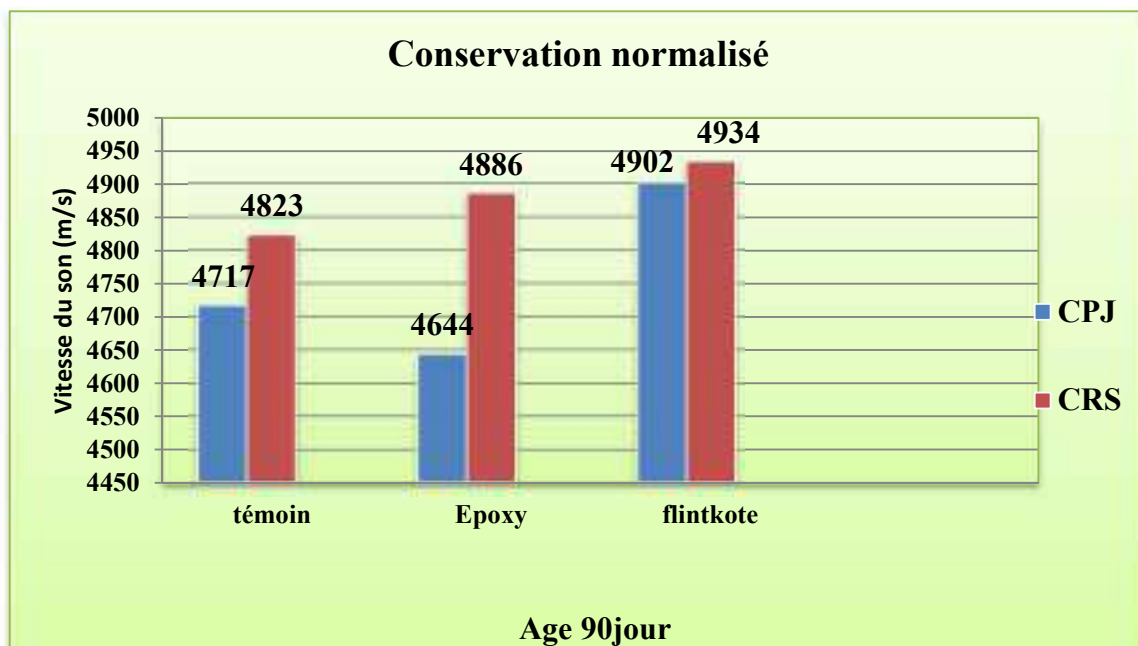
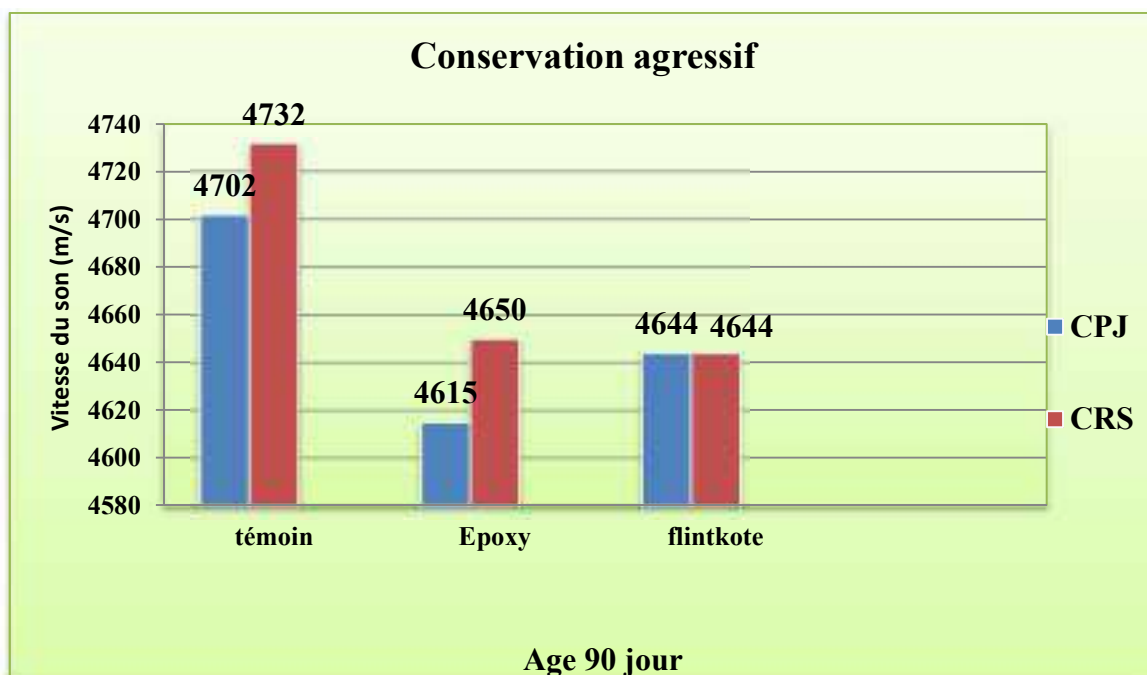


Figure IV.12: Vitesse du son des bétons dans un milieu agressif à l'âge 28 jours.

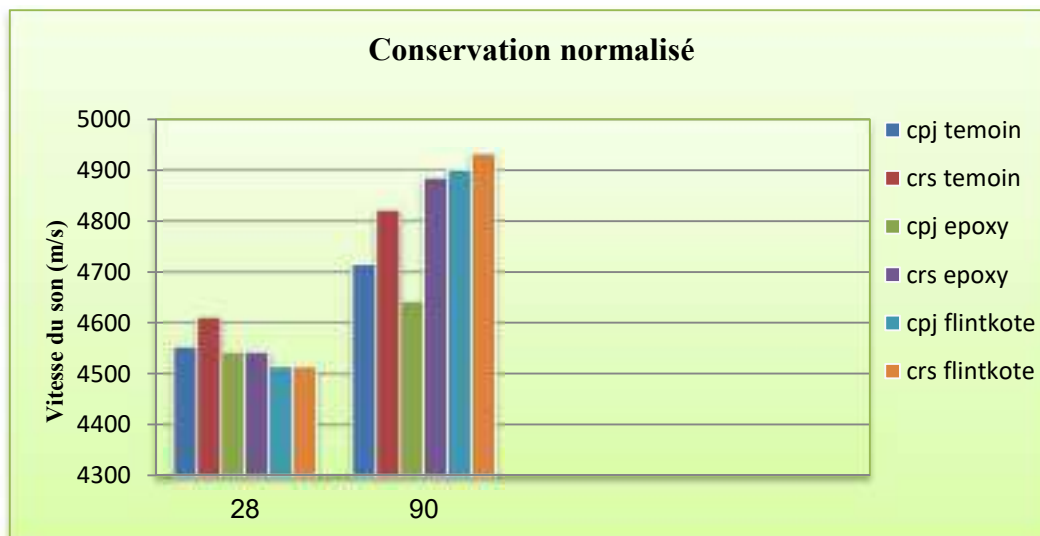
## b- Essai auscultation Ultrasonique à 90 jours :



FigureIV.13 : Vitesse du son des bétons dans un milieu normalisé l'âge 90 jours

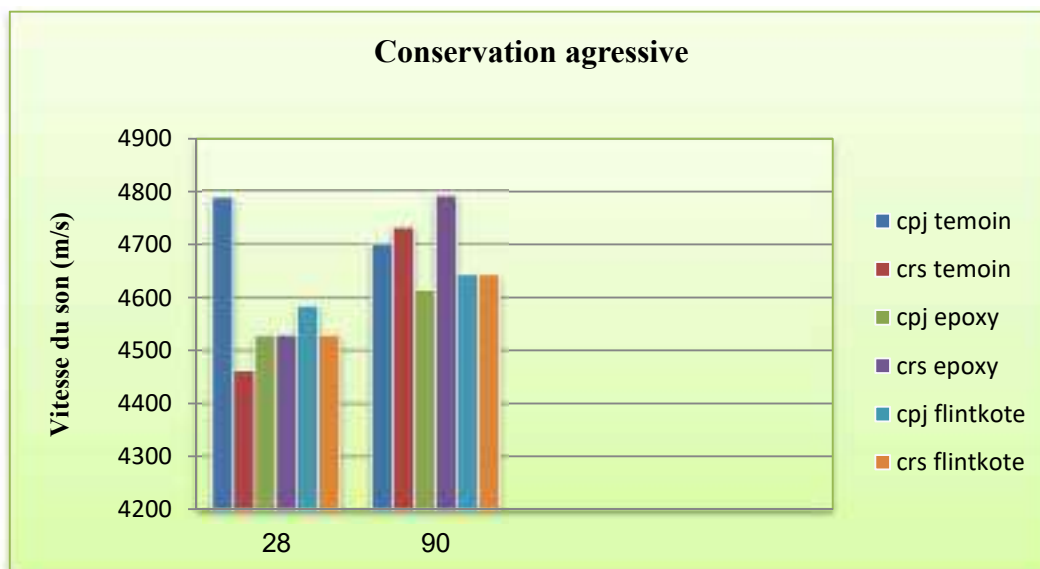


FigureIV.14: Vitesse du son des bétons dans un milieu agressif l'âge 90 jours



**Figure IV.15** : Évaluation de vitesse du son dans les différentes éprouvettes

Du béton à l'âge de 28 et 90 jours dans le milieu normalisé.



**Figure IV.16** : Évaluation de vitesse du son dans les différentes éprouvettes

Du béton à l'âge de 28 et 90 jours dans le milieu agressif.

D'après les figures précédentes et les résultats obtenus, on constate que :

- Les figures montrent la variation de vitesse du son en fonction des différents types de protection, les milieux de conservation et le type de ciment utilisé dans les différentes éprouvettes à 28 et 90 jours.
- La vitesse du son de béton augmente avec l'augmentation de l'âge du béton, mais

- diminue avec l'application des produits de protection dans les mélanges CPJ/CRS.
- On peut noter que, la vitesse de son du béton témoin est excellente (Selon Soshiroda et Voraputhaporn (2006))  $V \geq 4572$  m/s excellente) pour tous les béton fabriquées, mise à part, les bétons : CRS témoin – CPJ et CRS époxy – CRS flintcaot (à l'âge de 28 jours) ; mais ils restent toujours acceptables (bon béton :  $3658 \text{ m/s} \leq V < 4572 \text{ m/s}$  selon Soshiroda et Voraputhaporn)
  - On peut constater une diminution de la vitesse de propagation de son en fonction dans les différentes compositions à 28 jours par rapport le béton témoin, dans le milieu agressif.
  - À l'âge de 90 jours, les résultats sont similaires pour l'environnement agressif et normalisé, c'est-à-dire que les mélanges sont homogènes, ce qui confirme les résultats trouvés lors du processus d'écrasement.

#### IV.4. CONCLUSION

Le but de ce travail est d'étudier et de démontrer la nécessité de différentes méthodes de protection du béton dans des zones agressives des ouvrages en béton : d'un part, pour un béton à base de ciment CRS déjà fabriquer pour l'utilisation dans ce milieu (agressif) ; et de béton à base de ciment CPJ pour étudier le cas le plus défavorable et voir l'efficacité des produits de protection. Pour cette raison, on a étudié le comportement mécanique du béton dans différents environnements agressifs et normalisés, et d'après les différents résultats expérimentaux, nous a permis de dégager l'essentiel de ce qu'on peut retenir comme résultats de ce chapitre :

- La consommation d'eau de gâchage et l'ouvrabilité de béton dépend le type de ciment utilisé.
- La masse volumique sont généralement plus importantes pour les bétons à base de ciment CRS à celles du béton à base de CPJ, c'est un facteur important qui influe sur les performances mécaniques de béton.
- Le pourcentage de sel et de sulfates présents dans la zone affecte grandement les propriétés du béton.
- Le béton protégé présente une résistance à la compression supérieure à celle du béton non protégé dans les différents environnements de conservation. Cependant, le béton non protégé a montré dans certains cas une résistance à la compression supérieure à celle du béton protégé, et cela est dû aux composantes chimiques présents dans le produit et au ciment résistant à l'eau.

- On remarque que la forme de rupture ou écrasement des éprouvettes joue un rôle important dans la résistance à la compression.
- L'humidité restante dans les éprouvettes à un effet négatif sur la résistance à la compression.
- Meilleure résistance à la compression est enregistrée pour le béton CRS époxy dans le milieu normalisé, et CRS témoin dans le milieu agressif ; ce résultat dû à la réaction chimique entre les grains de ciment CRS qui est un ciment résistant aux sulfates, ce qui confirme les résultats des recherches précédentes. [53]
- Les résultats de résistance à la compression de béton à base de ciment CPJ (protégé par l'époxy) donne des valeurs acceptables, ce qui nous donne une bonne idée de l'utilisation de ce produit et ce type de ciment CPJ dans les cas les plus défavorables.

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de cette recherche est d'estimer et évaluer l'importance et l'efficacité des divers types de protection de béton dans des environnements de haute salinité. Pour cette raison, nous avons étudié le comportement mécanique du béton dans deux environnements extrêmement agressif/normalisé en utilisant deux types de ciment CPJ/CRS et deux modes de protection pour garantir sa résistance.

Tout en menant une recherche basée conjointement sur une recherche bibliographique et un travail expérimental.

- Concernant la recherche bibliographique, on présente un aperçu général sur les bétons et leurs comportements mécaniques dans le premier chapitre, et une généralité sur les pathologies du béton en plus particulière les maladies dû à l'agressivité des sulfates.
- En deuxième partie, travail expérimental : On a étudié les caractéristiques des granulats et leur influence sur les propriétés essentielles du béton, les essais ont montré que :
  1. Le sable de construction de la carrière Sidi Slimane utilisé c'est un sable a des caractéristiques d'origine siliceux, avec une valeur de sulfates acceptable pour l'utilisation du béton, de couleur jaunâtre, à granulométrie étalée et un module de finesse présente un sable fin.
  2. Pour les deux classes de gravier utilisées (3/8 et 8/15), elles sont d'origine calcaire provenant de la carrière Ben Brahim PK 50, de couleur blanchâtre.
  3. L'eau de gâchage est celle du robinet de laboratoire des travaux public du sud de faible salinité.
  4. Nous avons choisi, comme un milieu agressif, l'eau de Sebkhà à proximité de la région d'El-Khafdji- Ouargla, de force salinité.
- ✓ L'étude expérimentale des différents types de bétons obtenus, a été élaborée en trois étapes :
  1. En première étape, on a confectionné les différents bétons d'après la méthode de « Dreux - Gorisse » avec les différents types de ciment utilisé CPJ/CRS.
  2. La deuxième étape, c'est l'application des différents produits de protection époxy/Flintkoat sur les différents bétons confectionnés, après l'âge de 14 jours.
  3. La troisième étape, c'est la réalisation des essais de reconnaissance pour la détermination les propriétés mécaniques et physique des différents bétons étudiés, à différents âges 28, 60 et 90 jours.

D'après les résultats trouvés nous ressortons les remarques suivantes :

- ✓ Le pourcentage de sel et de sulfates présents dans la zone affecte grandement les propriétés du béton.
- ✓ Le béton protégé présente une résistance à la compression supérieure à celle du béton non protégé dans les différents environnements de conservation.
- ✓ On remarque que la forme de rupture ou écrasement des éprouvettes joue un rôle important dans la résistance à la compression.
- ✓ L'humidité restante dans les éprouvettes a un effet négatif sur la résistance à la compression.
- ✓ Meilleure résistance à la compression est enregistrée pour le béton CRS époxy dans le milieu normalisé, et CRS témoin dans le milieu agressif ; ce résultat dû à la réaction chimique entre les grains de ciment CRS qui est un ciment résistant aux sulfates, alors, l'utilisation du ciment CRS est une solution très efficace pour les constructions en béton à Ouargla.
- ✓ Les résultats de résistance à la compression de béton à base de ciment CPJ (protégé par l'époxy) donne des valeurs acceptables, ce qui nous donne une bonne idée de l'utilisation de ce produit et ce type de ciment CPJ dans les cas les plus défavorables.
- ✓ L'utilisation du ciment non résistant aux sulfates CPJ, appliqué avec une couche de protection classique (Flintkoat) ainsi que sans protection, comparée au ciment résistant aux sulfates CRS dans l'environnement agressif de Ouargla montre une dégradation notable de la résistance du béton, en particulier après 90 jours.
- ✓ L'utilisation de produits époxy comme protection pour le béton fabriqué avec les ciments CPJ et CRS a montré des résultats très satisfaisants en termes d'amélioration de la résistance mécanique du béton immergé dans des environnements agressifs.

D'après les résultats obtenus par cette recherche, et en vue d'une future utilisation, nous recommandons de compléter cette recherche par les axes suivants :

- ❖ Une étude basée sur les réactions chimiques de ciment CRS se développent en présence du sulfate, avec le produit époxy.
- ❖ Appliquer le produit de protection sur le béton après l'âge de 28 jours.
- ❖ Améliorer les techniques de protection en ajoutant des matériaux spécifiques dans le mélange pour empêcher la pénétration de l'eau et appliquer des protections extérieures.
- ❖ Faire une étude profonde à propos l'influence de la protection en époxy sur la résistance de béton à long terme.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] R. Duval et H. Hormain, « La durabilité des bétons vis-à-vis des eaux agressives », La Durabilité des bétons, pp :351-391, Collection de l'association technique de l'industrie Des liants hydrauliques, ISBN 2-85978-184-6, Edition de l'école des ponts et chaussées, 49, Rue de l'université, 75007 Paris, 1992
- [2] Georges Dreux, « Nouveau guide de béton », 4ème édition Eyrolles 61, boulevard saint -Germain, 75005 Paris, 1985
- [3] BENIA Mounir, « Influence de la surface spécifique des ciments aux ajouts minéraux Sur le comportement mécanique du mortier et du béton à base de matériaux locaux », Mémoire de Magistère, Université de Mohammed Boudiaf de M'sila 2007
- [4] MOKAOUEM, ciment pour béton en milieu agressifs », Fiche technique, de l'Usine De LAFARGE en Algérie, 2012
- [5] GAGNE.R, « Durabilité et réparations du béton », Cours en ligne de la durabilité de Béton, GCI-714, site internet ([www.civil.Usherbooke.ca/cours/gci174](http://www.civil.Usherbooke.ca/cours/gci174)), Université de Sherbrooke, 29 Aout 201
- [6] AMRIOU.A, « Détection par rayon x de la dégradation du béton sous l'effet des Agressions chimiques (sulfates) », Mémoire de Magistère, Département de Génie Civil, Université de M'sila, Mars 2009
- [7] BOUALLEG S, « Effet des milieux agressifs sur les caractéristiques de durabilité des Bétons et des matrices cimentaires », Mémoire de Magistère, Département de Génie Civil, Université de M'sila, Septembre 2004
- [8] GAGNE.R, « Durabilité et réparations du béton », Cours en ligne de la durabilité de Béton, GCI-714, site internet ([www.civil.Usherbooke.ca/cours/gci174](http://www.civil.Usherbooke.ca/cours/gci174)), Université de Sherbrooke, 29 Aout 201
- [9] R. Duval et H. Hormain, « La durabilité des bétons vis-à-vis des eaux agressives », La Durabilité des bétons, pp :351-391, Collection de l'association technique de l'industrie Des liants hydrauliques, ISBN 2-85978-184-6, Edition de l'école des ponts et chaussées, 49, Rue de l'université, 75007 Paris, 1992
- [10]. M. Ismail et al., "Inhibiting Sulphate Attack on Concrete by Hydrophobic Green Plant Extract", Advanced Materials Research, Vol. 250-253, (2011), pp 3837-3843.
- [11] Colleparidi, M., "Damage by Delayed Ettringite Formation - A Holistic Approach and New Hypothesis", Concrete International, Vol. 21, No. 1, January 1999, pp. 69-74.
- [12] Stark, J., Bollmann, K. And Seyfarth, K., "Ettringite - Cause of Damage, Damage Intensifier or Uninvolved Third Party?", ZKG International, v. 51, No. 5, 1998, pp. 280-292.

- [13] Klemm, W.A. and Miller, F.M., "Plausibility of Delayed Ettringite Formation as a Distress Mechanism - Consideration at Ambient and Elevated Temperatures", Proceedings, 10th International Congress on the Chemistry of Cement, Gothenburg, Sweden, 4i 59, 1997, pp. 10.
- [14] Stark, J., Bollmann, K. And Seyfarth, K., "Ettringite - Cause of Damage, Damage Intensifier or Uninvolved Third Party?", ZKG International, v. 51, No. 5, 1998, pp. 280-292
- [15] M. Collepari, "A State-of-the-Art Review on Delayed Ettringite Attack on Concrete"
- [16] Improving the Quality of Life through Better Construction. A Vision for the Next, Sheffield, 1999, pp. 15-25.
- [17] Heinz, D. and Ludwig, U., "Mechanism of Secondary Ettringite Formation in Mortars and Concretes Subjected to Heat Treatment", Concrete Durability - Katharine and Bryant Mather International Symposium, SP- 100, ACI, Detroit, Mich. 1987, pp. 2059-2071.
- [18] Lewis, M.C., Scrivener, K., and Kelham, S., "Heat Curing and Delayed Ettringite Formation", Materials Research Society Symposium Proceedings, Editor S. Diamond, Materials Research Society, Pittsburgh, 1995, pp. 67-76.
- [19] Taylor, H.F.W., "Cement Chemistry", 2nd Edition, Thomas Telford Publishing, London, 1997, pp. 459
- [20] Lawrence, C.D., "Physiochemical and Mechanical Properties of Portland Cements", Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 4rth Editions, Arnold Publisher, Edited by P.C. Hewlett, 1998, pp. 343- 419.
- [21] Pierre Humbert, Alain Dubouchet, Gérard Fezans et David Remaud. CESAR- LCPC, un progiciel de calcul dédié au génie civil. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, 256–257 :7–37, 2005.
- [22] LCPC. Aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne. Technique et méthodes des LPC. LCPC, Paris, 2003
- [23] Zhifu Yang, « Freezing-and-thawing durability of pervious concrete un de rsimulatefield condition », ACI Materials Journal, Titeln° 108-M21, March-April, 2011.
- [24] Le béton en milieux sulfatés Publié à l'origine en avril 1974 E.G. Swenson.
- [25]. Norme européenne EN-1504 « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton ».
- [26] Thèse de Sara Al Haj Sleiman
- [27][https://www.myscience.ch/fr/news/2018/a\\_quoi\\_sont\\_dues\\_les\\_expansions\\_et\\_les\\_fissures\\_du\\_beton-2018-empa](https://www.myscience.ch/fr/news/2018/a_quoi_sont_dues_les_expansions_et_les_fissures_du_beton-2018-empa)
- [28] <https://www.infociments.fr/fascicule-de-documentation-fd-p-19-011>
- [29] Norme française AFNOR, Analyse granulométrique (NFP 18-560 septembre 1990).

- [30] Norme française AFNOR, Module de finesse (norme NF P18-304)
- [31] Norme française AFNOR, Essai de mesure du coefficient d'aplatissement
- [32] des granulats (Norme NF En933-3).
- [33] [https://www.memoireonline.com/11/12/6448/m\\_Etude-de-quelques-essais-realises-sur-les-materiaux-de-construction-laboratoire-NBR-Centre-Casab10.html](https://www.memoireonline.com/11/12/6448/m_Etude-de-quelques-essais-realises-sur-les-materiaux-de-construction-laboratoire-NBR-Centre-Casab10.html), consulté le 13/02/2018 à 21 :01.
- [34] Norme française AFNOR, Granulats Définitions, conformité, spécifications (Norme XP P 18- 540 Octobre 1997)
- [35] GHOMARI. F et BENDIOUIS.A. <<Cours de matériaux de construction>>. Université Aboubekr Belkaid.2007-2008
- [36] Norme française AFNOR, Essai d'équivalent de sable (norme NF P 18 598).
- [37] <https://www.researchgate.net/publication/299598984>, consulté le 23/02/2018 à 22 :53.
- [38] Dreux G., Festa J. 1998. « Nouveau guide de béton et ces constituants » Eyrolles- P358.
- [39] Norme française AFNOR, Essai au bleu de méthylène (NF EN 933-9).
- [40] Norme française AFNOR, coefficient d'absorption d'eau (NF P 18-554 Décembre 1990).
- [41] Norme française AFNOR, Mesure de la masse volumique (NF P 94-604 Novembre 1993)
- [42] Norme AFNOR, Mesure du coefficient Micro Dévale en présence d'eau (NF P 18-572 Décembre 1990).
- [43] Norme française AFNOR, Mesure du coefficient los Angeles (NF P 18-573 Décembre 1990)
- [44] Norme française AFNOR, Analyse chimique (NF 15-461).
- [45] Norme française AFNOR d'eau de gâchage, (NF EN 1008), Juillet 2003.
- [46] Boufedah. A, Thèse de magister. Influence de la granularité sur les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaires, p : 26,29. Université Mantouri, costantine.2011
- [47] AFNOR : 1999" NF P 18-439 : Essai pour béton frais – Partie 2 : Essai d'affaissement"
- [48] AFNOR : Février 2003" NF P 18-455 : Essai pour béton durci – Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes "
- [49] Design and Control of Concrété Mixtures" publié par le Portland Cement Association) 2008
- [50] Fiche Technique ; MATINE ciment béton exigeant CEMII/B-L42.5NNA5042.
- [51] Fiche technique : CRS CEM I 42.5 N-SR3 (AL MOKAOUEM)
- [52] Soshiroda K., Voraputhaporn Y., Nozaki, 2006. Early-stage inspection of concrete quality in structures by combined nondestructive method. Materials and Structures

[53] ABIMOULOUD Y, 2017. « Contribution à l'étude de l'effet de la remontée des eaux de la nappe phréatique de Ouargla sur le béton à base de matériaux locaux », thèse doctorat, université d'UKMO.

[54] CHERAIT Y, NAFA Z., (2007), Eléments de matériaux de construction et essais, Collection : le livre de génie civil, Direction de la publication universitaire de Guelma

# ANNEXE

**Tableau récapitulatif**

milieu	témoin				Protection epoxy				Protection flintkote			
	Eau robinet		Eau agressive		Eau robinet		Eau agressive		Eau robinet		Eau agressive	
	CPJ	CRS	CPJ	CRS	CPJ	CRS	CPJ	CRS	CPJ	CRS	CPJ	CRS
28 jour												
Résistance	26.99	22.4	28.32	25.5	15.62	21.58	19.73	17.81	14.25	18.39	14.81	26.01
Masse volumique	2.33	2.39	2.34	2.36	2.34	2.35	2.32	2.35	2.37	2.38	2.32	2.35
Eau ajouté	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200
Affaissement	8											
Les ondes ultrasonique	4555	4613	4789	4463	4544	4544	4530	4530	4516	4516	4585	4530
60 jour												
Résistance	35.71	24.67	35.71	31.68	22.11	21.42	23.03	31.39	18.33	18.33	25.71	26.38
Masse volumique	2.38	2.37	2.40	2.40	2.38	2.41	2.34	2.42	2.39	2.39	2.36	2.37
Eau ajouté	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200
Affaissement	8											
Les ondes ultrasonique	4601	4629	4335	4545	4609	4550	4372	4455	4525	4559	4528	4414
90 jour												
Résistance	33.49	27.72	31.74	28.96	30.86	36.17	30.67	31.93	21.27	24.73	20.66	30.05
Masse volumique	2.33	2.38	2.35	2.35	2.34	2.36	2.35	2.36	2.35	2.39	2.34	2.39
Eau ajouté	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200	2.100	2.200
Affaissement	8											
Les ondes ultrasonique	4717	4823	4702	4732	4644	4886	4615	4792	4902	4934	4644	4644

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة السكن و العمران  
MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME

Centre National d'Etudes et de  
Recherches Intégrées du Bâtiment

المركز الوطني للدراسات  
و الأبحاث المتكاملة للبناء



REF: DTEM/96 /2012

Soudania le 24 AVR 2012

DEPARTEMENT TECHNIQUE ESSAIS ET MESURES

## RAPPORT D'ESSAI

PRESTATION REALISEE : ESSAIS SUR PAX VOILE DE VERRE 40 KG

A LA DEMANDE DE : ENTREPRISE DE PRODUCTION ET DE  
COMMERCIALISATION DES PRODUITS D'ET ANCHETTE ET  
BITUME

Mohammadia Wilaya de Mascara ALGERIE

LIEU DES ESSAIS : LABORATOIRE Physico-chimie

NATURE DES ESSAIS : Essais effectués selon NA 5312 et NA 2616

OBSERVATIONS : Le présent procès verbal comporte 03 pages. Les résultats obtenus ne sont pas généralisables sans la représentativité des échantillons et des essais. Les résultats d'essais du présent Procès Verbal concernent l'échantillon testé.

Cité Nouvelle El Mokrani Soudania - ALGER

☎ : (021) 38 - 04 - 05 / Fax : (021) - 38- 04 - 31

E-Mail : cnerib@wissal.dz

Site Web : [www.cnerib.edu.dz](http://www.cnerib.edu.dz)

## 5. CONCLUSIONS

A l'exception du fluage et du poids de l'armature en voile de verre qui ne répondent pas aux exigences de la norme, toutes les autres caractéristiques sont conformes à la norme de référence.

Le Chargé des essais

L. OUABRI



Le C/DTEM



# EURL SOETANCH

Entreprise de production et de commercialisation  
Des Produits d'Etanchéité et Bitume  
Capital Social : 64.640.000,00 DA



## م.ذ.ش. و صويتانش

موسسة الإنتاج و التسويق لمواد العازلة و التزفت  
رأس المال الإجتماعي (64.640.000,00) دينار

### FICHE TECHNIQUE

#### EMULSION SURSTABILISEE

PRESENTATION:	Emulsion surstabilisée de bitume		
COMPOSITION	Bitume distille	%	< 50
	Bentonite	%	< 5
	Emulsion	%	< 3
	Eau	%	< 40
APPLICATION	Imperméabilisation d'ouvrages enterrés, toitures et terrasses. La constitution de la couche d'apprêt varie selon le type de support.		
CONDITIONNEMENT	BIDONS 2,5 kg 4 kg 10 kg 20 kg		
CARACTERISTIQUES	Pourcentage de matières solides < 55% La durée de séchage varie en fonction des conditions climatiques (à 20° C, le temps de séchage est de 24 heures)		
CONSOMMATIONS	700 à 800 gr/m <sup>2</sup> /couche		



Siège social: El-GHOMRI (MOHAMMADIA) W. MASCARA - ALGERIE (29400)  
BP 5075 Mohammadia Wilaya Mascara 29400  
Tel: (+213) 045 89 35 26 Tél/Fax: (+213) 045 89 31 10



### 1. INTRODUCTION

A la demande de l'Entreprise SOETANCH, le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) a procédé à des essais sur le produit d'étanchéité, dénommé « Pax voile de verre 40 Kg », destiné aux terrasses des ouvrages de bâtiment et de génie civil. Ce dernier a été prélevé et transmis par les soins du client.

### 2. DESCRIPTION DU PRODUIT

Le produit est une chape de bitume armé à armature en voile de verre comportant sur une face une feuille d'aluminium.

### 3. OBJET DES ESSAIS

Il s'agit donc de faire subir à cette feuille d'étanchéité toute la série d'essais fixés et requis par la norme de référence à savoir la norme NA 5312, permettant de mesurer ses performances et donc son aptitude quant à son utilisation comme produit d'étanchéité.

### 4. RESULTATS

Les essais ont été réalisés selon les modalités de la norme NA 2616. Les résultats d'essais des caractéristiques d'identification, obtenus, sont regroupés dans le tableau ci après :

Désignation des essais	Unité	Résultats	Spécifications de la norme
Masse nominale (rouleau)	kg	40.3	> 40
Masse surfacique	g/m <sup>2</sup>	3848	> 3400
Poids du bitume	g/m <sup>2</sup>	2571.6	> 2100
Poids de l'armature	g/m <sup>2</sup>	64.86	> 90
Poids du sable	g/m <sup>2</sup>	227.97	Pas d'indication
Poids de l'aluminium	g/m <sup>2</sup>	224.3	> 54
Pliage à froid	°C	Pas de craquelures à 0°C	absence de fissures à 0° C
Pluie	mm	2	Glissement < 2
Charge de rupture en traction	N	Sens long. 466 Sens Trans. 315	Sens long. > 350 Sens Trans. > 300
Allongement à la rupture		Sens Long. 10 Sens Trans. 7	Sens Long. > 2 Sens Trans. > 2

*Handwritten notes in Arabic:*  
 رقم الملف: 9  
 تاريخ: 10/10/2010  
 المهندس: محمد عبد الحميد  
 مدير قسم البحوث والتطوير



50kg

**ماتين**  
**MATINE**

ALGÉRIE



### **Ciment portland au Calcaire**

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

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

**Matine**  
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

**Matine** est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

#### **AVANTAGES PRODUIT**



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

MEMBRE DE  
**HOLCIM**

## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

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



## FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### • Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	Max 5%
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	< 0,1

### • Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

### • Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	8±2

### • Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

### • Propriétés physiques

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

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

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

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

MEMBRE DE  
**HOLCIM**



Conditionnement:  / 

### LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 1<sup>ère</sup>ème étage, Tour Génère,  
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger.  
Tél : + 213 (0) 21 98 54 94  
Fax : + 213 (0) 23 92 42 94  
www.lafargealgerie.com  
dz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com  
Tel: 021 98 55 35

**LAFARGE**  
لافارج

ALGÉRIE



50kg

**Mokaouem**  
مقاوم بلوس Plus

**LAFARGE**  
Ciments  
Des villes meilleures



### Ciment Portland

NA 442 - CEM I 42,5 N-SR 3

*Mokaouem* est un ciment gris résistant aux sulfates, résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de gypse inférieure à celle d'un ciment portland composé.

*Mokaouem*  
NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3

*Mokaouem* NA 442 - CEM I 42,5 N-SR3 selon le NA 442 v 2013 et la EN 197-1 est conforme à la norme nationale NA 442 v 2013 et à la norme Européenne EN 197-1 avec un taux en CSA < 3%.

#### AVANTAGES PRODUIT



- Tout en étant un ciment de haute performance, *Mokaouem* protège la structure contre les agressions chimiques de l'environnement externe.
- Une meilleure durabilité pour les structures en béton,
- Une faible chaleur d'hydratation,

**L** A member of  
LafargeHolcim

## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Les fondations et les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques
- Les barrages et les digues de soutènement collinaire



## FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton C25/30	X 1 	X7 	X5  + X4 	25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

Formulation de béton à suivre dans le cas de l'absence d'une étude définie par un laboratoire\*

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### • Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	0,5 à 3 %
Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> ) (%)	1,8 à 3
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,2 à 3
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0,01 à 0,05

### • Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	> 60
Fin de prise (min)	240 à 400

### • Composition minéralogique

	Valeur
Taux d'aluminate C3A	<3,0%

### • Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	>10
28 jours (MPa)	>42,5

### • Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	25 à 28
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	3200 à 3800
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Expansion (mm)	≤2,0
Chaleur d'hydratation	<270J/g

Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne peuvent être considérées comme absolues

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

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

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



A member of  
**LafargeHolcim**

Conditionnement:  / 

### LAFARGE ALGÉRIE

Bureau n°02, 16ème étage, tour Générale,  
les Pins maritimes, Mohammadia, Alger  
tel: + 213 (0) 21 98 54 54  
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94  
www.lafargealgerie.com  
ilz.satisfaction-clients@lafargeholcim.com  
Tel: 021 98 55 55

**LAFARGE**  
لافارج



The Chemical Company

### MasterProtect 1812

(Formerly known as MasterSeal SP120 PF)

## Revêtement à fort degrés de résistance chimique en émulsion époxy pour l'imperméabilisation et la protection des structures en béton ou en métal.

#### Description :

Le **MasterProtect 1812** ; revêtement sans solvant, non cancérigène et à haute résistance chimique.

**MasterProtect 1812** est lisse et brillant, est un revêtement époxy en émulsion à deux composants comprenant la résine pigmentée et le durcisseur. Spécialement formulé pour la protection du béton et de l'acier. Il formera après application un film à la fois esthétique et très résistant chimiquement.

#### Applications Typique :

**MasterProtect 1812** est utilisé pour fournir un lourd pouvoir de protection des structures en béton et en acier, il est imperméable, et il est souple.

Largement utilisé dans les égouts et les industries des eaux usées ainsi que d'autres immersion agressive.

Les utilisations comprennent le revêtement de réservoirs, des tuyaux et des canalisations, Revêtement des bétons, de l'amiante-ciment, de l'acier, des tuyaux et les métaux non ferreux. **MasterProtect 1812** est particulièrement adapté pour être utilisé dans des applications d'assainissement, des stations d'épuration et dans l'offshore ou les milieux marins.

#### Aspect final :

- Excellente résistance chimique globale,
- Excellente résistance à l'abrasion et la flexibilité,
- Teneur en VOC (**Volatil organic compounds**) conforme aux normes Européenne en vigueur,
- Revêtement haut de construction,
- Facilité d'application : pinceau, rouleau, pistolet,
- Economique,
- Non cancérigène et non toxique.

- Finition continue,
- Revêtement écologique,
- Excellente protection contre la corrosion.

#### Taux de couverture théorique :

#### Condition d'exposition :

Selon les conditions d'exposition : Modérée, Sévère et en Immersion (Réservoir) et celle du support :

Béton ou Acier, Le **MasterProtect 1812** s'applique seul ou avec un primaire ; selon le tableau ci-dessous :

Moderate	Total DFT	200-300µm
Primer	MasterSeal P 659	150-300g/m <sup>2</sup>
Skim Coat	MasterBrace ADH 2200	As required
Top Coat	MasterProtect 1812	180-255g/m <sup>2</sup>
Severe	Total DFT	325-500µm
Primer	MasterSeal P 659	150-300g/m <sup>2</sup>
Skim Coat	MasterBrace ADH 2200	As required
Body Coat	MasterProtect 1812	180-255g/m <sup>2</sup>
Top Coat	MasterProtect 1812	150-255g/m <sup>2</sup>
Immersion	Total DFT	450-650µm
Primer	MasterSeal P 659	150-300g/m <sup>2</sup>
Skim Coat	MasterBrace ADH 2200	As required
Body Coat 1	MasterProtect 1812	180-240g/m <sup>2</sup>
Body Coat 2	MasterProtect 1812	180-240g/m <sup>2</sup>
Top Coat	MasterProtect 1812	150-255g/m <sup>2</sup>

Dans le cas des réservoirs ; il y a lieu de l'appliquer

- Mettre un produit de réparation époxy de type **MasterBrace 2200** pour réparer le support en béton,
- Appliquer en trois couches le **MasterProtect ADH 1812** (Body Coat1+Body Coat 2+ Top Coat).

#### Conditionnement :

Le **MasterProtect 1812** est disponible en kits de 5 kg.

#### Extrait sec :

En volume : 100%

#### Température de séchage et résistance :

Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées pas seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences du terrain. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée. Pour plus d'information ou de questions, contacter votre représentant local.

BASF Construction Chemicals Algérie SARL  
Zone Industrielle Baba Ali, Dist 5, lot 3,  
Socla 16305  
Alger  
Algérie  
Téléphone + 213 21 30 95 09  
Fax +213 21 30 95 19

**MASTER<sup>®</sup>**  
**>>BUILDERS**  
SOLUTIONS

Le **MasterProtect 1812** sèche à 160°C. Une perte de brillance et de coloration peut être observée au-dessus 90°C.

Il ya lieu de prendre compte de :

- Ne pas utiliser en immersion dans l'eau à plus de 60 ° C,
- L'époxy perd sa brillance et se décolore lors d'une exposition prolongée au soleil.

#### Mode d'emploi :

##### Préparation du support

La surface en béton ou métallique à enduire avec le **MasterProtect 1812** devra être lisse et solide.

S'assurer que le support a été entièrement dépoussiéré et que toutes les impuretés et parties endommagées ont été éliminées.

##### Les surfaces en béton :

La surface en béton doit être propre et saine. Les résidus de graisse, d'huile, de laitance, de poussière ou autres doivent être enlevés.

Les parties endommagées seront réparées par les produits de la gamme **MasterBrace 2200**.

Les supports en béton doivent avoir au moins 28 d'âge.

En cas de contamination de pénétration profonde par des huiles ou des graisses, le nettoyage au jet à haute pression constitue le traitement adéquat.

##### Les surfaces métalliques :

Tous les traitements antérieurs du support devront être enlevés afin de laisser apparaître le métal.

La surface doit être décapée et abrasée par des moyens mécaniques adéquats : grenailage, sablage, meulage ou décapage au chalumeau.

- Procéder au nettoyage du métal au moyen d'un solvant afin d'éliminer tout résidu d'huile, de graisse... etc.

- Il est nécessaire d'éviter la ré-oxydation du métal avant l'application du **MasterProtect 1812**.

##### Mélange :

Le **MasterProtect 1812** est fourni dans les proportions correctes de la résine (composant A) et du durcisseur (composant B).

Verser le durcisseur (composant B) dans le conteneur de la résine (composant A) et s'assurer

Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées pas seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences du terrain. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée. Pour plus d'information ou de questions, contacter votre représentant local.

BASF Construction Chemicals Algérie SARL

Zone Industrielle Baba Aï, Dist 6, lot 3,

Saoula 16305

Alger

Algérie

Téléphone + 213 21 30 95 09

Fax +213 21 30 95 19

que le conteneur B est complètement vidé. Pour atteindre un mélange homogène, les deux composants doivent être mélangés de manière intensive avec un agitateur tournant à environ 3000/m. S'assurer que l'agitateur atteint le fond et les parois du récipient de mélange. Agiter pendant au moins 3 minutes ou jusqu'à ce que le mélange soit homogène et exempt de traînées.

#### Application :

Le **MasterProtect 1812** peut être appliqué sur la surface avec un rouleau, une brosse à poils courts ou par pulvérisation au pistolet.

- Il est recommandé à ce que le **MasterProtect 1812** soit appliqué en deux couches afin d'assurer un recouvrement total du support, une troisième couche pourrait être envisageable.

- Vérifier préalablement à l'application de chaque couche l'absence d'aspérités, auquel cas procéder au surfacage au moyen de la résine thixotrope **MasterBrace ADH 2200**.

- Ne pas dépasser un délai de recouvrement entre les couches de plus de 16 heures à +40°C ou 36 heures à +20°C. Passé ce délai, un traitement mécanique de la première couche est indispensable pour assurer l'adhérence.

#### Application par pulvérisation :

Pour une application par pulvérisation, utiliser un pistolet à haute pression muni d'une buse de diamètre minimal de 9mm.

#### Recommandations :

• Pour une application en zones fortement sollicitées trois couches sont nécessaires.

• En cas de détérioration du revêtement, effectuer un ponçage au papier verre ou au disque abrasif afin de créer une micro- rugosité nécessaire à l'adhérence de la nouvelle couche.

#### Résistances chimiques :

Le **MasterProtect 1812** aura une bonne résistance chimique au déversement temporaire des agents corrosifs suivants :

- Eaux de mer ;
- Xylène ;
- Chlorure de sodium (50%) ;
- Formaldéhyde (37%) ;
- Gasoil ;
- Acide sulfurique (80%) ;

**MASTER<sup>®</sup>**  
**>>BUILDERS**  
SOLUTIONS

- Acide Nitrique (10%) ;
- Acide lactique-5%
- Isocyanate Aromatique;
- Isocyanate Aliphatique;
- Solution soude caustique (NaOH) jusqu'à 50%;
- KOH-50% ;
- Ammonia-25%;
- Isopropyl Alcohol;
- Isopropyl Alcohol;
- Glycerine;
- Ethanol ;
- Methanol;
- Acide chlorhydrique concentré 50% ;
- Solutions salines et eaux usées ;
- Butyl carbol;
- SLES - 10% ;
- Butanol;
- Ethanol- 100%.

#### Caractéristiques physique :

Physical Characteristics				
Appearance	Black resinous thixotrope			
Mixes Density (g/L) - ASTM D1475	~ 1.5			
Tensile Strength at 7days ASTM D 638	21.04 MPa			
Elongation at break ASTM D 638	2.23%			
Application Temperature				
	10°C	25°C	40°C	
Pot-life - ASTM D 2471	4 hrs	30 minutes	50 minutes	
Tack-free time - ASTM C 679	8 hrs and 30 minutes	4 hrs	1 hr and 40 minutes	
Touch-free time	13 hrs	8 hrs	4 hrs	
Bond strength (7 days) ASTM D 4541				
	DFT 300 µm		DFT 500 µm	
	Concrete	Steel	Concrete	Steel
	3.00 MPa (Concrete failure)	4.35 MPa (Adhesive failure)	3.34 MPa (Concrete failure)	4.25 MPa (Adhesive failure)
Dry Heat Aging Test at 160°C continuous for 30 days (300µ) DFT	1.55 MPa (Concrete failure)	4.55 MPa (Adhesive failure)	1.75 MPa (Concrete failure)	4.61 MPa (Adhesive failure)
Abrasion Test (CS17 wheel / 1500g / 1500 cycles) at 7 days ASTM D 4660	30 milligram		17 milligram	
Permeability Test at 5bars of pressure BS EN 12390 Part 8: 2000	negligible		negligible	

**NB :** Des concentrations plus élevées des acides minéraux peuvent causer la décoloration et la détérioration du revêtement.

	Deux couches sont recommandées
Epaisseur du film	180 à 240 microns /couche

#### Nettoyage

Les outils seront nettoyés avec le nettoyant CLEANING SOLVENT N°2 immédiatement après l'utilisation.

#### Stockage

Le MasterProtect 1812 doit être stocké dans son emballage d'origine fermé hermétiquement à l'abri des intempéries et du soleil, dans un endroit frais et sec.

#### Spécifications

Composition	Bi composant époxydique pigmenté, sans solvant, non toxique.
Consommation	18.25g/Lt couche

Les conditions ci-dessus respectées, le produit se conserve 12 mois à compter de sa date de fabrication.

#### Précautions d'emploi

Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées pas seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences du terrain. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée. Pour plus d'information ou de questions, contacter votre représentant local.

BASF Construction Chemicals Algérie SARL  
 Zone Industrielle Baba Ali, Dist 6, lot 3,  
 Saoula 16305  
 Alger  
 Algérie  
 Téléphone + 213 21 30 95 09  
 Fax +213 21 30 95 19

**MASTER<sup>®</sup>**  
**>>BUILDERS**  
 SOLUTIONS

Comme avec tous les produits chimiques, le plus grand soin devra être pris pendant l'utilisation et le stockage afin d'éviter tout contact avec les yeux, la peau, la bouche et les produits alimentaires.

En cas de contact avec la peau, rincer immédiatement à l'eau et au savon.

En cas de contact direct avec les yeux, rincer immédiatement à l'eau courante et consulter votre médecin.

Si le produit est accidentellement ingéré, contacter immédiatement votre médecin. Refermer les récipients après leur utilisation.

Pour de plus d'informations, référez-vous à la fiche de données de sécurité.

#### **Rapport de Qualité**

Tous les produits élaborés par BASF ou importés par les sociétés filiales de BASF à travers le monde, sont certifiés conformes aux exigences des systèmes de gestion de qualité et d'environnement ISO 9001, ISO 14001 et OHSAS 18001.

01/15 BASF CC ALGERIA

\* Les propriétés inscrites sont basées sur des tests de laboratoire contrôlés.

® = Marque déposée de BASF-groupe dans de nombreux pays.

Les informations données sont réelles, représentent notre savoir actuel et sont basées pas seulement sur des essais en laboratoire mais également sur les expériences du terrain. Cependant, du fait de nombreux facteurs affectant les résultats, nous offrons ces informations sans garantie et aucune responsabilité ne pourra nous être imputée. Pour plus d'information ou de questions, contacter votre représentant local.

BASF Construction Chemicals Algérie SARL  
Zone Industrielle Baba Aï, Dist 6, lot 3,  
Socia 16305  
Alger  
Algérie  
Téléphone + 213 21 30 95 09  
Fax +213 21 30 95 19

**MASTER<sup>®</sup>**  
**» BUILDERS**  
SOLUTIONS