

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

En : Travaux public

Spécialité : voies et ouvrages d'art

Par : BELARBI MAOUAHIB HALIMA

SUJET

Effet des inhibiteurs verts de la région de Tlemcen sur la durabilité des matériaux cimentaires utilisés dans les ouvrages d'art soumis aux milieux marins

Soutenu publiquement, 09/06/2024 devant le jury composé de :

Mr N. ABOU-BEKR	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mlle Z KHELIFI	Maître de conférences A	Univ. Tlemcen	Examinatrice
Mr A. BEZZAR	Professeur	Univ. Tlemcen	Encadrant
Mlle A. HAROUAT	Doctorante	Univ. Tlemcen	Encadrante

REMERCIEMENTS

Je vous remercie sincèrement aux personnes qui m'ont apporté leur soutien tout au long de la réalisation de mon mémoire de master au sein du laboratoire EOLE (Eau et ouvrages dans leurs environnements) de Génie Civil de la Faculté de Technologie de l'Université Abou Bakr-Belkaid de Tlemcen.

Tout d'abord, je souhaite adresser mes remerciements les plus chaleureux à mon encadrant, Mr. le professeur **BEZZAR Abdelillah**, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce travail. Son expertise et son accompagnement ont été d'une aide précieuse pour la réussite de ce projet.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers mon encadrant, Mlle. **HAROUAT Amina**, pour son implication, ses conseils pertinents et son soutien tout au long de cette recherche. Sa gentillesse et sa disponibilité ont grandement contribué à mon apprentissage et à la qualité de ce travail.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude envers Mr. le président, le professeur **ABOU-BEKR Nabil**, et l'examinatrice Mlle. **KHELIFI Zakia**, Maître de conférences A, pour avoir accepté de faire partie du jury et pour l'intérêt qu'ils ont manifesté à l'égard de mon travail. C'est pour moi un véritable honneur d'avoir la possibilité d'échanger avec eux sur les résultats de mes recherches.

Je suis reconnaissante envers toutes ces personnes pour leur contribution à la réussite de ce mémoire de master. Leurs encouragements et leur soutien ont été essentiels dans la réalisation de ce travail.

Je leur adresse mes respectueux remerciements et ma profonde gratitude pour leur accompagnement et leur confiance tout au long de ce projet.

DEDICACES

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers le Tout-Puissant qui m'a guidé et éclairé tout au long de ce parcours. Sa lumière m'a accompagné sur le chemin du savoir et de la réussite, et je lui suis infiniment reconnaissante pour sa bienveillance et sa protection.

Je souhaite dédier ce travail à mes chers parents, dont le soutien indéfectible a été la clé de mon succès. Leur amour inconditionnel et leurs sacrifices ont façonné la personne que je suis aujourd'hui, et ce travail est le fruit de leur dévouement pour mon éducation et ma formation. Que Dieu les protège et veille sur eux, et que la réussite continue à être à ma portée pour pouvoir leur offrir le bonheur qu'ils méritent.

Je souhaite dédier ce mémoire à mon frère Abdelfattah, ma sœur Hanane, mes collègues Lalia, Rania, Riad et Houcine, ainsi qu'à Monsieur Abdellatif pour son soutien inébranlable tout au long de mon travail. Leurs encouragements et leur présence précieuse ont été des piliers essentiels dans ma vie, m'apportant motivation et soutien dans les moments de doute et de difficulté. Leur amitié et leur soutien inconditionnel ont été des sources d'inspiration pour moi, et je leur suis profondément reconnaissante pour tous ceux qu'ils m'ont formé durant mon parcours académique.

RESUME

L'objectif de cette étude est d'analyser les effets des inhibiteurs de corrosion verts sur les propriétés des mortiers lorsqu'ils sont intégrés avec ces matériaux. Deux produits ont été examinés : l'extrait de peau de grenade et l'extrait de peau d'orange. Les caractéristiques mécaniques, telles que la résistance à la compression, ainsi que les paramètres de durabilité, tels que la porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire, ont été étudiés à trois concentrations différentes pour chaque produit. Les concentrations testées étaient de 1, 5 et 10 fois les concentrations optimales trouvées par des travaux antérieurs au niveau de laboratoire EOLE démontrant l'efficacité de ces produits dans un milieu alcalin. Les résultats soulignent l'importance de ne pas dépasser les concentrations de 2,5% pour l'extrait de peau d'orange et de 0,5% pour l'extrait de peau de grenade afin de préserver les caractéristiques mécaniques et de durabilité des échantillons préparés.

Mots clés : Inhibiteurs verts, Peau d'orange, Peau grenade, Compression, Porosité accessible à l'eau, Absorption capillaire.

SUMMARY

The aim of this study was to analyze the effects of green corrosion inhibitors on the properties of mortars when integrated with these materials. Two products were examined: pomegranate peel extract and orange peel extract. Mechanical characteristics, such as compressive strength, and durability parameters, such as water-accessible porosity and capillary absorption, were studied at three different concentrations for each product. The concentrations tested were 1, 5 and 10 times the optimum concentrations found by previous research in EOLE laboratory demonstrating the effectiveness of these products in an alkaline environment. The results underline the importance of not exceeding concentrations of 2.5% for orange peel extract and 0.5% for pomegranate peel extract in order to preserve the mechanical and durability characteristics of the prepared samples.

Keywords: Green inhibitors, Orange peel, Pomegranate peel, Compression, Water accessible porosity, Capillary absorption.

ملخص

تهدف من هذه الدراسة هو تحليل تأثيرات مثبطات التآكل الأخضر على خواص الملاط عند دمجها مع هذه المواد. تم فحص منتجين: مستخلص قشر الرمان ومستخلص قشر البرتقال. تمت دراسة الخصائص الميكانيكية، مثل قوة الانضغاط، ومعايير المتانة، مثل المسامية التي يمكن الوصول إلى الماء والامتصاص الشعري، عند ثلاث تراكيزات مختلفة لكل منتج. كانت التراكيزات التي تم اختبارها تتراوح بين 1 ، 5 و 10 أضعاف التراكيزات المثلى التي توصلت إليها الأبحاث السابقة التي تم إجرائها في مختبر EOLE والتي توضح فعالية هذه المنتجات في البيئة القلوية. أبرزت النتائج أهمية عدم تجاوز التراكيزات 2.5% لمستخلص قشر البرتقال و 0.5% لمستخلص قشر الرمان من أجل الحفاظ على الخصائص الميكانيكية والمتانة للعينات التي تم تحضيرها.

الكلمات المفتاحية: مثبطات خضراء، مستخلص قشر البرتقال، مستخلص قشر الرمان، الضغط، امتصاص الماء المسامية.

TABLES DES MATIERE

REMERCIEMENTS.....	i
DEDICACES.....	ii
RESUME	iii
SUMMARY	iv
ملخص.....	v
TABLES DES MATIERE	vi
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
TABLE DES NOTATIONS	xiv
Introduction générale.....	2
Chapitre I : Généralités sur la corrosion	4
I.1. Introduction :.....	5
I.2. Le béton armé :.....	5
I.3. Les causes de dégradation du béton armé :.....	5
I.4. La corrosion des armatures dans béton :.....	6
I.5. Quelques exemples sur les ouvrages dégradés à cause de la corrosion des barres d'armature :.....	8
I.5.1. Le pont de Biskra « Algérie » :.....	8
I.5.2. Le pont de MO 244 Slovaquie :	10
I.5.3. Une jetée du port de « Bandar-Abbas » :.....	11
I.6. Les moyens de protection contre la corrosion :	12
I.6.1. Quels sont les inhibiteurs de corrosion ? :.....	13
I.6.2. Qu'est-ce qu'un inhibiteur organique vert ? :	15
I.7. CONCLUSION :	16
Chapitre II : Synthèse bibliographique : effets des inhibiteurs de corrosion sur les caractéristiques du béton.....	17

II.1. INTRODUCTION :	18
II.2. Caractérisation à l'état frais (L'AFFAISSEMENT) :	18
II.3. RESISTANCE A LA COMPRESSION :	19
II.3.1. Etude effectuée par (Wang et al., 2019):	19
II.3.2. Etude effectuée par (Hadi et al., 2020) :	20
II.3.3. Etude effectuée par (Valdez-Salas et al., 2021) :	21
II.3.4. Etude effectuée par (Brix et al., 2022) :	22
II.3.5. Etude effectuée par (Xu et al., 2022) :	23
II.3.6. Etude effectuée par (Naderi et al., 2024) :	25
II.4. POROSITE ACCESSIBLE A L'EAU :	30
II.4.1. Etude Effectuée par (HASSOUNE, 2018) :	30
II.4.2. Etude Effectuée par(Brix et al., 2022) :	30
II.4.3. Etude Effectuée par (BRIXI, 2022) :	31
II.5. ABSORPTION EN EAU :	34
II.5.1. Etude effectuée par(Brix et al., 2022) :	34
II.5.2. Etude effectuée par (BRIXI, 2022) :	35
II.6. conclusion :	37
Chapitre III : MATERIUAUX ET METHODES.....	38
III.1. INTRODUCTION :	39
III.2. MATERIAUX UTILISES :	39
III.3. PROPRIETES DES MATERIAUX :	43
III.3.1. La masse volumique apparente (Ghomari and Bendi-Ouis, 2007) :	43
III.3.2. La masse volumique absolue du sable (Ghomari and Bendi-Ouis, 2007):	44
III.3.3. Equivalent de sable selon la norme NF18-598 :	45
III.3.4. Analyse granulométrique du sable selon la norme EN 933-2 (Ghomari and Bendi-Ouis, 2007).....	48
III.3.5. PREPARATION DES MORTIERS :	51
III.3.6. Protocoles de fabrication de mortier :	52
III.4. METHODES :	53

III.4.1. Caractérisation à l'état frais :	53
III.4.2. Paramètres étudiés :	53
III.4.3. L'essai de la résistance à la compression :	54
III.4.4. Porosité accessible à l'eau :	55
III.4.5. Absorption capillaire :	56
III.5. conclusion	58
Chapitre IV : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	59
IV.1. introduction :	60
IV.2. : Caractérisation à l'état frais (l'affaissement) :	60
IV.3. ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION :	61
IV.3.1. Les résultats des échantillons de mortier mélangés avec l'extrait de peau d'orange :	61
IV.3.2. Les résultats des échantillons de mortier mélangés avec l'extrait de peau de grenade :	63
IV.4. LA POROSITE ACCESSIBLE A L'EAU :	64
IV.4.1. Les résultats des échantillons de mortier mélangés avec l'extrait de peau d'orange :	64
IV.4.2. Les résultats des échantillons de mortier mélangés avec l'extrait de peau de grenade :	66
IV.5. L'ABSORPTION CAPILLAIRE :	67
IV.6. CONCLUSION :	74
CONCLUSION GENERALE & Perspective	76
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	79

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : (a) Eclatement du béton d'enrobage d'un plancher, et (b) Dégradation d'une Poteaux à cause de la corrosion avancée des barres d'armature (Pepenar, 2018).....	6
Figure I-2 : Mécanisme de la corrosion des acier (BRIXI, 2022).....	7
Figure I-3 : Vue générale du pont (A. Guettala, 2002).	8
Figure I-4 : (a) Dégradation du chevêtre, et (b) Corrosion des armatures au niveau des piles (A. Guettala, 2002).....	9
Figure I-5 : Structure du pont de MO 244 (Koteš et al., 2016).....	10
Figure I-6 : (a) Vue générale de la jetée, et (b) Coupe sur le pont canal (Moradi-Marani et al., 2010).....	11
Figure I-7 : (a) Corrosion sévère des armatures passives dans une poutre-caisson précontrainte, et (b) Début de la corrosion des armatures actives dans une poutre en caisson précontrainte (Moradi-Marani et al., 2010).	12
Figure I-8 : Classification de l'inhibiteurs selon la composition chimique et mode d'action (Florina, 2011).	14
Figure II-1 : Résistance à la compression avec quatre inhibiteurs (extrait de gingembre, extrait d'algues, $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ et DMEA commercial) (Wang et al., 2019).....	20
Figure II-2: La Résistance à la compression du mortier avec quatre inhibiteurs (margousier, Sika CNI, Eucon CIA et DCI) (Valdez-Salas et al., 2021).....	22
Figure II-3 : Résistance à la compression du mortier avec et sans l'acide ascorbique (Brix et al., 2022).....	23
Figure II-4: Résistance à la compression du béton avec et sans L'acide nicotinique (vitamine B3) (Xu et al., 2022).	24
Figure II-5 : Résistance à la compression du béton avec et sans la pyridoxine (vitamine B6) (Xu et al., 2022).....	24
Figure II-6 : Résistance à la compression du béton avec et sans l'acide ascorbique (vitamine C) (Xu et al., 2022).	25
Figure II-7 : Résistance à la compression du mortier avec quatre inhibiteurs (extrait de réglisse et nitrite) (Naderi et al., 2024).	26
Figure II-8 : Porosité accessible à l'eau avec et sans l'acide ascorbique (Brix et al., 2022).	31
Figure II-9 : Porosité accessible à l'eau avec et sans extrait de feuille de Henna (BRIXI, 2022).	32

Figure II-10 : Absorption capillaire avec et sans l'acide ascorbique(Brixi et al., 2022)	34
Figure II-11 : Absorption capillaire de l'extrait de feuille de Henna (BRIXI, 2022).....	35
Figure III-1 : Etapes de préparation d'inhibiteurs utilisés.	42
Figure III-2 : Etapes de la mesure de la masse volumique apparente du sable utilisé.	43
Figure III-3 : Etapes de la mesure de la masse volumique apparente du ciment utilisé.	44
Figure III-4 : Etapes de la mesure de la masse volumique absolue du sable utilisé.	45
Figure III-5 : Essai d'équivalent de sable (PDB et al., 1999).	46
Figure III-6 : les tamis utilisés dans l'essai d'analyse granulométrique.....	48
Figure III-7 : Courbe granulométrique du sable.....	50
Figure III-8 : Protocoles de fabrication de mortier : (a) Malaxeur, (b) Malaxage du mortier, (c) Mélange manuel, (d) Les échantillons cylindriques et (e) Les échantillons cubiques.	52
Figure III-9 : Etapes d'essai d'affaissement.....	53
Figure III-10 : Dimensions de mini- cône utilisé.....	53
Figure III-11 : Etapes de l'essai de la résistance à la compression.	54
Figure III-12 : Le protocole de saturation avec deux procédures distinctes : (a) la procédure AFPC-AFREM (1997) et (b) une version modifiée de la procédure (AFREM-AFGC, 1997), (KAMÈCHE, 2015).	55
Figure III-13 : (a) Saturation sous vide et (b) Pesés hydrostatique.....	56
Figure III-14 : (a) Absorption de l'eau + (b) Mesure de l'échantillon après absorption+	57
Figure IV-1 : Caractérisation à l'état frais (affaissement) avec et sans l'extrait de peau de d'orange.....	60
Figure IV-2 : Caractérisation à l'état frais (affaissement) avec et sans l'extrait de peau de grenade.....	61
Figure IV-3 : La résistance à la compression des échantillons de mortier avec et sans l'extrait de peau d'orange après 28 jours.	62
Figure IV-4 : La résistance à la compression des échantillons de mortier avec et sans l'extrait de peau de grenade après 28 jours.....	64
Figure IV-5 : La porosité accessible à l'eau de mortier avec et sans l'extrait de peau d'orange.	65
Figure IV-6 : La porosité accessible à l'eau de mortier avec et sans l'extrait de peau de grenade.	66

Figure IV-7 : Courbes d'absorption capillaire pour les échantillons de mortier avec et sans les deux inhibiteurs vert utilisés.	71
Figure IV-8 : Coefficients d'absorption capillaire avec et sans l'extrait de peau d'orange.	72
Figure IV-9 : Coefficients d'absorption capillaire avec et sans l'extrait de peau de grenade...	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Représenté quelques travaux utilisant les inhibiteurs verts comme moyen de protection contre la corrosion des aciers.....	15
Tableau II-1 : Caractéristiques physiques des bétons utilisés, à l'état frais (l'affaissement) (HASSOUNE, 2018).	18
Tableau II-2 : Résultats des essais de la résistance à la compression des échantillons du béton avec et sans inhibiteur de corrosion (feuilles de roseau) après 28 jours (Hadi et al., 2020). ..	21
Tableau II-3 : Récapitulatif la revue de littérature sur les effets des inhibiteurs sur la résistance à la compression.....	27
Tableau II-4 : Représenter la Porosité des échantillons de béton avec trois inhibiteurs (DMEA, Na_3PO_4 et K_2HPO_4 (HASSOUNE, 2018))......	30
Tableau II-5 : Récapitulatif la revue de littérature sur les effets des inhibiteurs sur la porosité accessible à l'eau	33
Tableau II-6 : Récapitulatif la revue de littérature sur les effets des inhibiteurs sur la propriété de l'absorption capillaire.	36
Tableau III-1 : Les matériaux et les caractéristiques des inhibiteurs utilisés.	40
Tableau III-2 : La masse volumique apparente du sable utilisé.	43
Tableau III-3 : Masse volumique apparente de ciment utilisé.	44
Tableau III-4 : Masse volumique absolue de sable utilisé.....	45
Tableau III-5 : Equivalent de sable utilisé.....	47
Tableau III-6 : Classification des sables selon ESV et ESP (PDB et al., 1999).	47
Tableau III-7 : Analyse granulométriques du sable utilisé.	49
Tableau III-8 : Quantités des inhibiteurs nécessaire pour la fabrication du mortier.....	51
Tableau IV-1 : Les résultats des essais de la résistance à la compression après 28 jours d'extrait de peau d'orange.....	62
Tableau IV-2 : Les résultats des essais de la résistance à la compression après 28 jour d'extrait de peau de grenade.....	63
Tableau IV-3 : Les résultats des essais de la porosité accessible à l'eau de mortier mélangé avec l'extrait de peau d'orange.....	65
Tableau IV-4 : les résultats des essais de la porosité accessible à l'eau de mortier mélangé avec l'extrait de peau de grenade.....	66

Tableau IV-5 : Le coefficient d'absorption capillaire et les régressions des échantillons de mortier avec et sans l'extrait de peau d'orange.	72
Tableau IV-6 : Coefficient d'absorption capillaire et les régressions des échantillons de mortier avec et sans l'extrait de peau de grenade.	73

TABLE DES NOTATIONS

Ci-dessous se trouve la compilation de toutes les notations employées dans ce mémoire.

Abréviations :

m1 : la masse du ballon + l'eau

m2 : la masse du sable sec

m3 : la masse du ballon + l'eau + sable

ESV : mesure visuelle

ESP : mesure par le piston

h₁ : hauteur totale (sable+ fines)

h₂ : hauteur du sable

h₂' : hauteur tassée au piston

E/C Rapport massique eau sur ciment

Notations :

ρ : masse volumique kg/m³

m : la masse kg

V : le volume m³

ρ_s : masse volumique absolue kg/m³

V_s : le volume absolue m³

ρ_{eau} : masse volumique d'eau kg/m³

RC : la contrainte de rupture à la compression MPa

F : la force appliqué donnée par l'appareil KN

S : la section d'échantillon mm²

M_{air} : masse de l'échantillon saturé pesé à l'air g

M_{sec} : masse de l'échantillon pesée à sec g

M_{eau} : masse de l'échantillon pesée sous l'eau g

P_{eau} : porosité accessible à l'eau %

S : Le coefficient d'absorption capillaire m / s^{1/2}

Q : Le volume d'eau absorbé m³

A : La surface de l'échantillon en contact avec l'eau m²

t : La durée de l'essai s

C : est un coefficient constant

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton armé est l'un des matériaux de construction les plus largement utilisés dans le monde, offrant une combinaison unique de résistance et durabilité. Cependant, la corrosion des armatures métalliques en milieu marin constitue l'un des principaux défis auxquels sont confrontées les structures en béton armé, entraînant une détérioration progressive et une réduction de leur durée de vie. Dans ce contexte, l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion verts représente une avancée significative dans le domaine de la construction durable, offrant des solutions respectueuses à l'environnement tout en protégeant les structures en béton armé contre les effets néfastes de la corrosion.

Les inhibiteurs de corrosion verts sont des additifs naturels conçus pour prévenir la corrosion des armatures métalliques dans le béton armé. Ils agissent en formant une couche protectrice sur la surface des armatures, empêchant ainsi la pénétration de l'humidité et des agents corrosifs. L'intégration de ces inhibiteurs verts dans les mélanges de béton offre la possibilité d'augmenter la durabilité des structures en béton armé en maintenant leur intégrité structurelle à long terme. Cette approche innovante ouvre de nouvelles perspectives pour prolonger la durée de vie des bâtiments et des ouvrages en béton armé, tout en réduisant l'impact environnemental associé à la corrosion et à la maintenance des structures.

Quels sont les produits non toxiques utilisés comme inhibiteurs de corrosion issus de l'extraction de plantes qui respectent à la fois l'environnement et la santé humaine, et qui peuvent remplir cette fonction spécifique ? Si de tels produits existent, quel dosage est optimal pour leur utilisation ? Ces produits sont-ils compatibles avec les matériaux cimentaires et comment influencent-ils les propriétés physiques et mécaniques des bétons une fois ajoutés ?

Pour répondre à ces questions, nous avons mené une étude expérimentale sur l'effet de deux inhibiteurs organiques verts sur l'inhibition de la corrosion dans les mortiers. Ces produits naturels ont montré des performances importantes dans des milieux alcalins, au sein de l'équipe Durabilité et Vieillesse des Matériaux du laboratoire EOLE.

Afin d'évaluer les concentrations optimales des inhibiteurs utilisés dans le béton armé, nous avons mené cette étude dans l'optique de caractériser les propriétés mécaniques et de durabilité des mortiers traités par ces deux inhibiteurs verts.

Notre mémoire est structuré de la manière suivante :

Nous débutons par une introduction qui aborde de manière générale la problématique de la corrosion des ouvrages d'art en milieu marin, en mettant en avant les défis liés à la corrosion des armatures.

Le premier chapitre expose les concepts essentiels relatifs aux détériorations des ouvrages d'art en milieu marin, ainsi que les diverses techniques de protection des armatures contre la corrosion.

Le deuxième chapitre se focalise sur une revue bibliographique portant sur les effets de divers inhibiteurs de corrosion sur les caractéristiques mécaniques des bétons, notamment les caractérisations du mortier à l'état frais (essai d'affaissement), la résistance à la compression, et les indicateurs de durabilité tels que la porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire.

Le troisième chapitre présente en détail les caractéristiques des matériaux employés, les étapes de fabrication du mortier, le programme expérimental établi, ainsi que les méthodes mises en œuvre pour évaluer les caractérisations du mortier à l'état frais (essai d'affaissement), la résistance à la compression, la porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire.

Le quatrième chapitre comporte les résultats obtenus et de leurs interprétations, en les comparant avec les données de la littérature précédemment analysée.

En conclusion, nous avons mis en évidence les dosages recommandés des divers inhibiteurs de corrosion étudiés. En s'appuyant sur les résultats obtenus, des recommandations sont formulées pour orienter les pratiques dans le domaine de la protection des armatures contre la corrosion.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA CORROSION

I.1. INTRODUCTION :

La corrosion des structures en béton armé est un problème majeur qui peut entraîner une détérioration significative de la durabilité et de la résistance des ouvrages. La présence d'eau, d'oxygène et de chlorures peut déclencher le processus de corrosion des armatures métalliques à l'intérieur du béton, compromettant ainsi l'intégrité structurelle de l'ouvrage. Pour lutter contre ce phénomène, différentes méthodes de protection et de prévention de la corrosion ont été développées, parmi lesquelles l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion organiques verts.

Les inhibiteurs de corrosion verts sont des composés organiques qui, une fois ajoutés au béton ou appliqués sur les armatures métalliques, forment une couche protectrice qui retarde ou inhibe le processus de corrosion. Ces inhibiteurs agissent en bloquant les réactions électrochimiques responsables de la corrosion et en protégeant les armatures métalliques contre les agents agressifs présents dans l'environnement.

L'utilisation d'inhibiteurs de corrosion organiques verts présente plusieurs avantages, notamment leur efficacité à prolonger la durée de vie des structures en béton armé, leur compatibilité avec les autres adjuvants et additifs utilisés dans le béton, ainsi que leur caractère respectueux de l'environnement.

I.2. LE BETON ARME :

Le béton armé, est constitué du béton et d'acier. Ce matériau est connu par sa résistance à la compression qui est assurée par le béton tandis sa résiste à la traction de traction est garantie par l'acier. Ce matériau est considéré lors de sa conception étant durable du fait que les aciers sont noyés dans le béton, Ce dernier étant un milieu fortement alcalin (avec un pH proche de 13) les armatures vont développer une couche de passivation protectrice (Bouteiller, 2016).

I.3. LES CAUSES DE DEGRADATION DU BETON ARME :

Les structures en béton armé se trouvent parfois dans des milieux agressifs à savoir les marins. Les chlorures présents dans ces milieux vont migrés à travers le béton pour atteindre les armatures. Ce phénomène va causer la destruction de cette couche passive ce qui va amorcer

la corrosion des armatures provoquant par la suite la ruine des structures (Bouteiller, 2016) (cf. figure I.1).

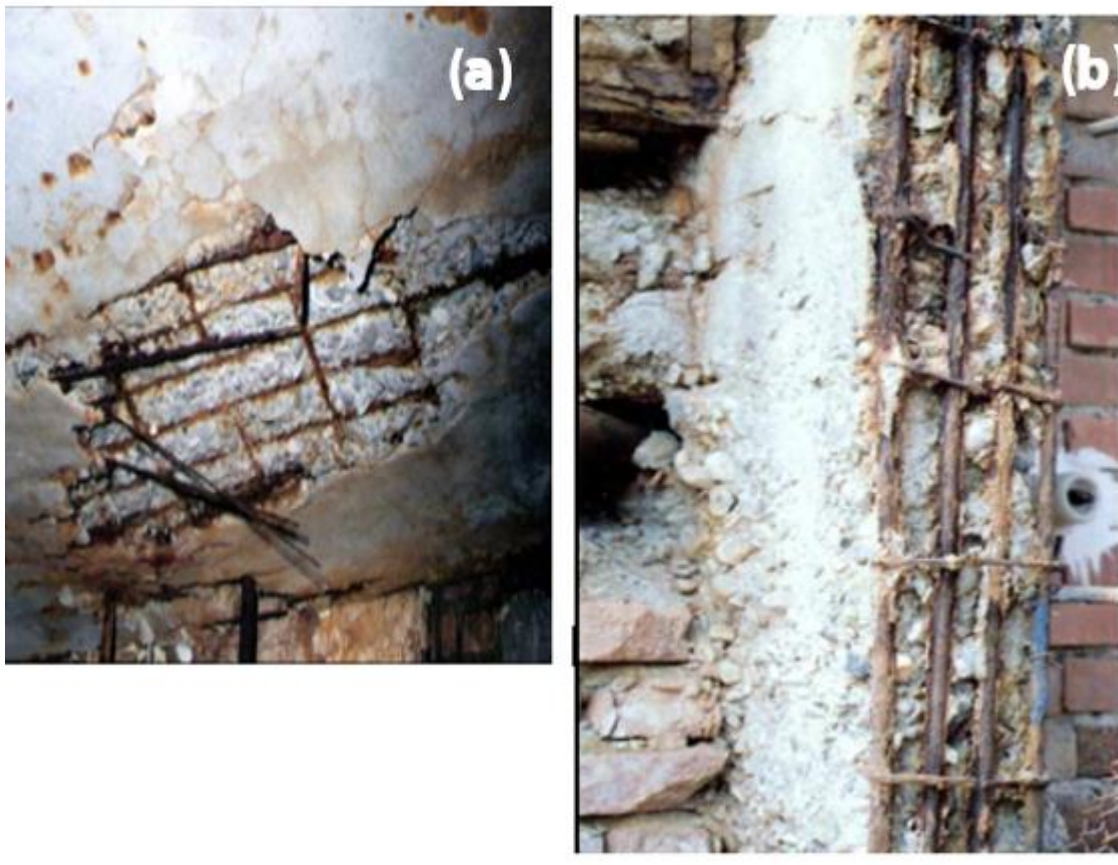


Figure I-1 : (a) Eclatement du béton d'enrobage d'un plancher, et (b) Dégradation d'un Poteau à cause de la corrosion avancée des barres d'armature (Pepenar, 2018).

I.4. LA CORROSION DES ARMATURES DANS BETON ARME :

La corrosion des armatures en acier dans le béton est un phénomène électrochimique il est souvent amorcé par la présence de Cl , H_2O et O_2 , produisant ainsi des réactions anodiques et cathodiques qui se déroulent simultanément au niveau des électrodes (BRIXI, 2022) (cf. figure I.2).

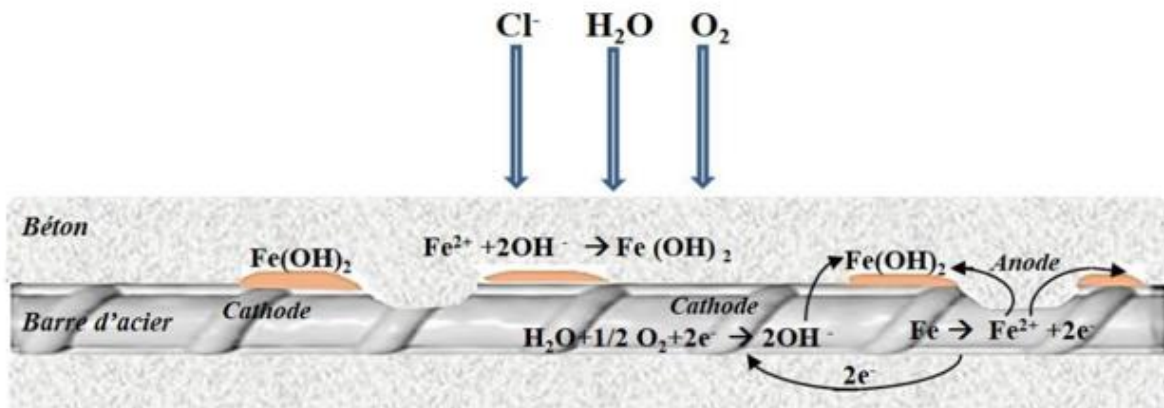


Figure I-2 : Mécanisme de la corrosion des acier (BRIXI, 2022).

La zone anodique : où se déroule la corrosion de l'acier est le lieu de transformation du fer en ions ferreux (Fe^{2+}).



La zone cathodique : Les chlorures venant du milieu marin vont se combiner avec les ions ferreux produisant un complexe fer-chlorure qui déclenche la corrosion par piquûre (BRIXI, 2022).



Le chlorure de fer formé dans la deuxième réaction va réagir avec des ions OH^- pour produire de l'hydroxyde de fer, entraînant la formation de taches de rouille (BRIXI, 2022).



I.5. QUELQUES EXEMPLES SUR LES OUVRAGES DEGRADÉS A CAUSE DE LA CORROSION DES BARRES D'ARMATURE :

I.5.1. Le pont de Biskra « Algérie » :

I.5.1.1. Caractéristique du pont :

Cet ouvrage est situé sur la route nationale 3, (RN3), à 25 km de Biskra, (sud-est de l'Algérie), La construction du pont est réalisée par la Compagnie Nationale des Ponts et des Œuvres d'Art (SAPTA) entre 1983 et 1985 (Guettala and Abibsi, 2006) (cf. Figure I.3).



Figure I-3 : Vue générale du pont (Guettala, 2002).

Il s'agit d'un pont mixte (acier, béton) d'une longueur de 340 m, composée de 11 travées isostatiques de 30 m chacune. Le tablier de 10 m de large est composé de trois poutres métalliques de 1,50 m de hauteur. Ces poutres ont été reliées par deux entretoises de bout, trois entretoises intermédiaires et surmonté d'une dalle en béton armé. Son profil est constitué d'une chaussée de 8 m de large encadrée par deux trottoirs de 1 m de large.

Le béton a été dosé avec du ciment Portland de 400 kg/m^3 - CPA 325 - avec un rapport eau/ciment (E/C) de 0,55 ; 750 kg/m^3 de sable rond et 1100 kg/m^3 gravier provenant d'une carrière voisine (Guettala and Abibsi, 2006).

I.5.1.2. Causes de dégradation :

Les dégradations dans ce pont ont été signalées au niveau du chevêtre (cf. figure I.4a) et au niveau des piles (cf. figure I.4b). Les causes de ces dégradations sont dues à la fois l'infiltration des eaux de pluie au niveau des trottoirs non étanches et une autre fois à l'eau de l'oued en contact avec les piles. L'eau étant de nature agressive et salée, provient du Chat Malghigh et Biskra. Ce Chat contient en période pluvieuse normale, en hiver et au printemps, une couche d'eau de quelques centimètres, saturée en sel allant de 300 à 400g/l (DGDF, 2003).

Les ions chlorure ont été identifiés comme la principale cause de la corrosion des armatures et de la détérioration du béton (A. Guettala, 2002).

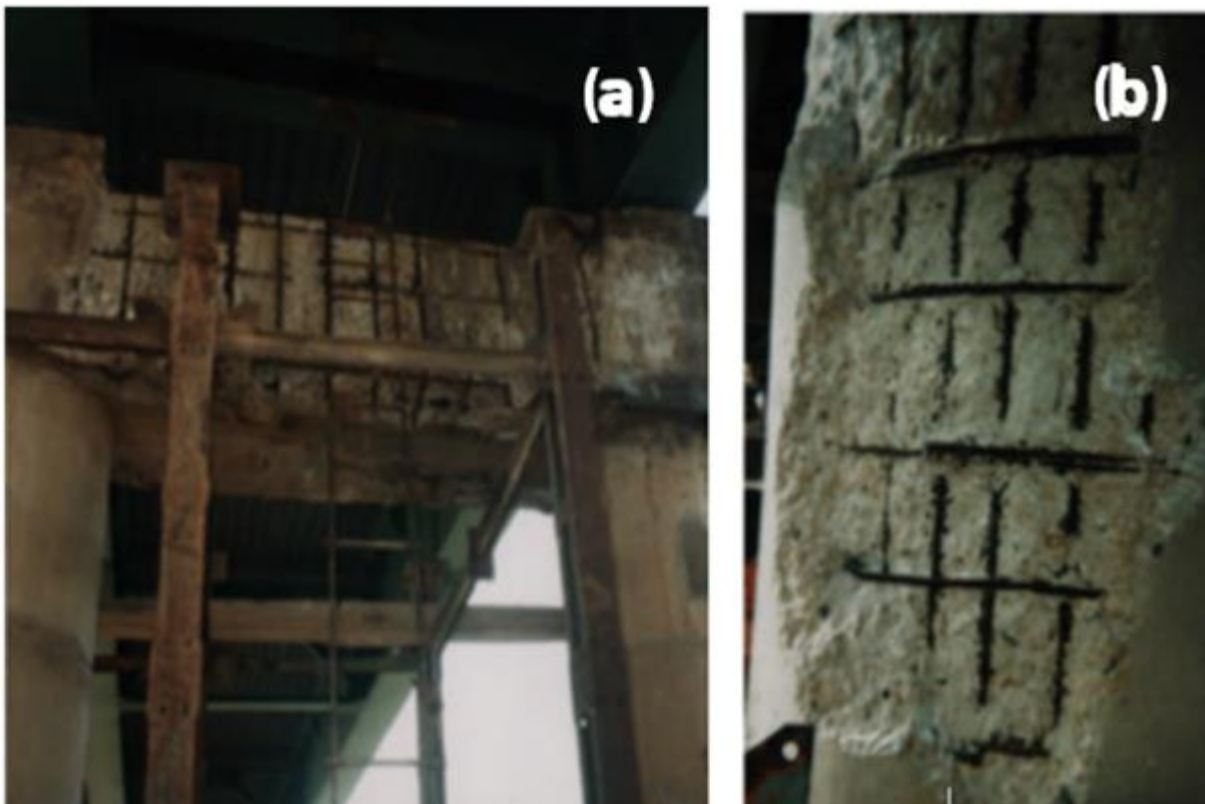


Figure I-4 : (a) Dégradation du chevêtre, et (b) Corrosion des armatures au niveau des piles (Guettala, 2002).

I.5.2. Le pont de MO 244 Slovaquie :

I.5.2.1. Caractéristique du pont :

Le pont désignée MO 244 se trouve en Slovaquie dans le village de Kolarovice, partie de Skoruby, sur la route I/10 (route internationale E442) (Figure I.5) (Koteš et al., 2016).



Figure I-5 : Structure du pont de MO 244 (Koteš et al., 2016).

Le pont a été construit et mis en service en 1937, donc l'âge du pont est de 79 ans. Cela signifie que selon les Eurocodes, la durée de vie restante devrait être de 21 ans. Le pont est un pont en poutre à portée unique de 10,006 m en béton. La largeur de la route est de 7,51 m et la largeur totale du pont est de 9,51 m. La dissymétrie du pont est de 45,22°. La superstructure se compose d'une dalle de pont d'une épaisseur de 0,19 m et de six poutres principales avec des dimensions de 0,325/0,84 m. Des poutres de sol d'extrémité avec des dimensions de 0,58/0,84 m et trois poutres de sol intermédiaires avec des dimensions de 0,20/0,74 m assurent la distribution de la charge transversale (cf. Figure I.5). La désignation des poutres de B1 à B6 est de gauche à droite. Le type de béton est C30/37 (Koteš et al., 2016).

1.5.2.2. Cause de dégradation :

Souvent le sel de déverglaçage est utilisé sur ce pont pendant la période hivernale. Une première expertise a été effectuée le 17 juillet 2005 dans le cadre du projet APVT-20-012204. On observe que la corrosion était présente sur la poutre B1 seulement, à cause du détachement du revêtement en béton. Les diagnostics suivants ont été réalisés le 13 Novembre 2015 (après 10 ans). il a été observé que l'état du pont s'était considérablement détérioré par rapport à 2005, la corrosion de l'armature a été identifiée comme un problème majeur dans le pont (Koteš et al., 2016).

1.5.3. Une jetée du port de « Bandar-Abbas » :

1.5.3.1. Caractéristique de la jetée :

La jetée est située sur la côte nord du golfe Persique, au nord du détroit d'Hormuz, près du port de Bandar-Abbas, et se compose de deux parties principales : la jetée de déchargement et le pont canal.

Elle a été construite au début des années 1990 comme quai de chargement pour des minéraux tels que le minerai de fer. La jetée de déchargement est constituée de poutres transversales en béton armé coulé en place avec un tablier composite acier-béton, et le pont canal se compose d'un pont de 64 travées d'une longueur de 1600 mètres qui relie la jetée de déchargement à la côte (cf. figure I.6a). Chaque travée est composée de trois poutres caisson précontraintes et de deux systèmes de poutres transversales en acier et pieux (cf. figure I.6b). Le mélange de béton utilisé répondait aux critères spécifiés pour un béton durable dans la région du Golfe. La seule dérogation au code était l'utilisation de ciment Portland de type I ASTM, qui selon l'ACI 318-05 [9] et l'ACI 350-01 (Moradi-Marani et al., 2010).

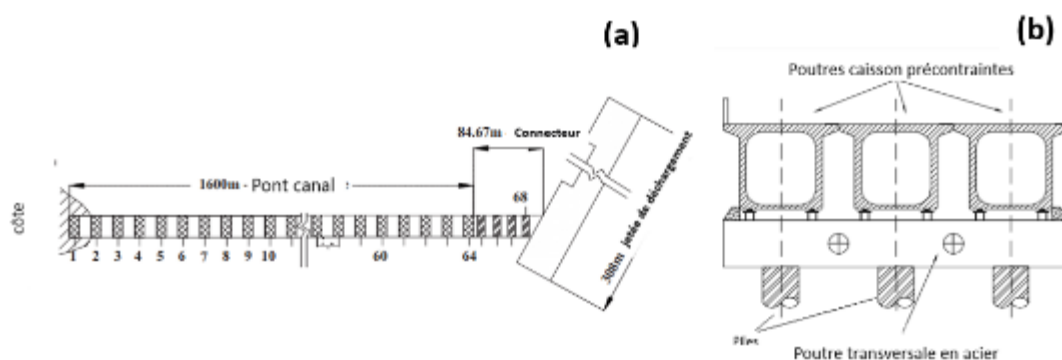


Figure I-6 : (a) Vue générale de la jetée, et (b) Coupe sur le pont canal (Moradi-Marani et al., 2010).

1.5.3.2. Cause de dégradation :

En 1997, des signes de dégradation ont apparus dans les éléments en béton armé, avec des problèmes tels que la rouille, les fissures et l'éclatement du revêtement en béton, ces dégradations sont dues à la corrosion des armatures par les chlorures. Un faible enrobage des aciers a été aussi signalé dans cette structure, intensifiant ainsi la corrosion des armatures. L'analyse des dommages a révélé des niveaux élevés de chlorure près des armatures corrodées, dépassant les seuils acceptables. La corrosion de l'acier a été identifiée comme la principale cause de détérioration, (cf. figure I.7) (Moradi-Marani et al., 2010).

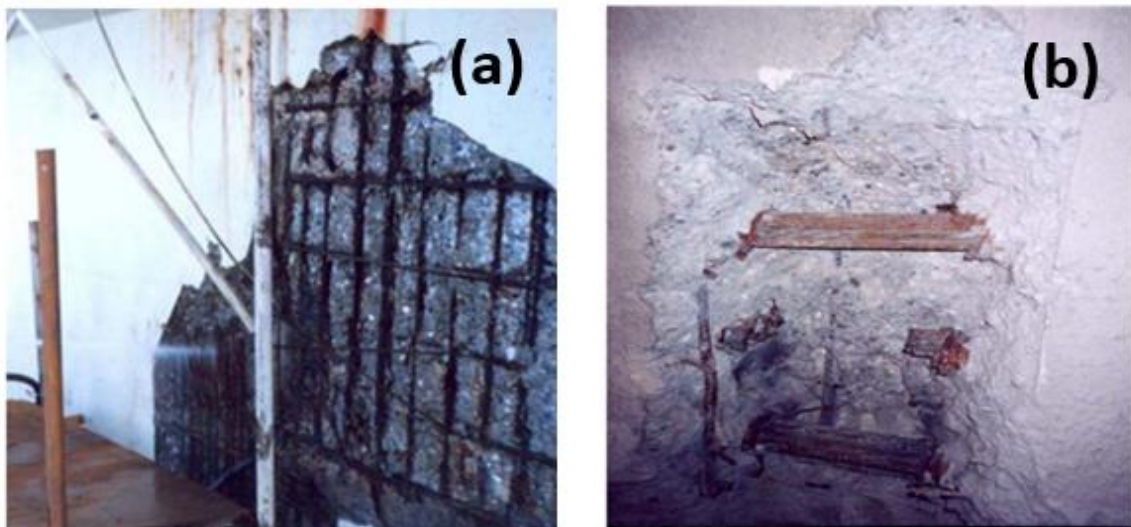


Figure I-7 : (a) Corrosion sévère des armatures passives dans une poutre-caisson précontrainte, et (b) Début de la corrosion des armatures actives dans une poutre en caisson précontrainte (Moradi-Marani et al., 2010).

I.6. LES MOYENS DE PROTECTION CONTRE LA CORROSION :

Voici les différentes méthodes pour protéger et prévenir la corrosion : (KHIATI and MRAH, 2022-2023)

- Sélection minutieuse des matériaux pour prévenir

- Conception appropriée des pièces pour prévenir
- Protection par revêtement
- Protection électrochimique
- Protection par inhibiteurs de corrosion

Les inhibiteurs de corrosion sont considérés comme la méthode de protection la plus simple et économique parmi celles mentionnées.

I.6.1. Quels sont les inhibiteurs de corrosion ? :

I.6.1.1. Définitions :

Un inhibiteur de corrosion est un produit organique ou chimique ajouté en petites quantités à un environnement corrosif pour ralentir ou arrêter le processus de corrosion métal en contact avec cet environnement. L'efficacité d'un inhibiteur de corrosion dépend de divers facteurs tels que le couple corrosif-métal, la température et les concentrations utilisées (KHIATI and MRAH, 2022-2023).

I.6.1.2. Les conditions nécessaires pour que l'inhibiteur de corrosion produise son effet :

Pour être efficace, un inhibiteur doit répondre à plusieurs critères, notamment (KHIATI and MRAH, 2022-2023) :

1. Réduire la vitesse de corrosion du métal sans altérer les propriétés physico-chimiques du milieu ou du métal.
2. Être stable à des températures élevées et en présence d'autres composants du milieu, en particulier les oxydants.
3. Être efficace à des concentrations faibles.
4. Respecter les normes de non-toxicité.
5. Être économique.

La figure I.8 donne une classification des inhibiteurs de corrosion selon leur composition chimique et leurs modes d'action.

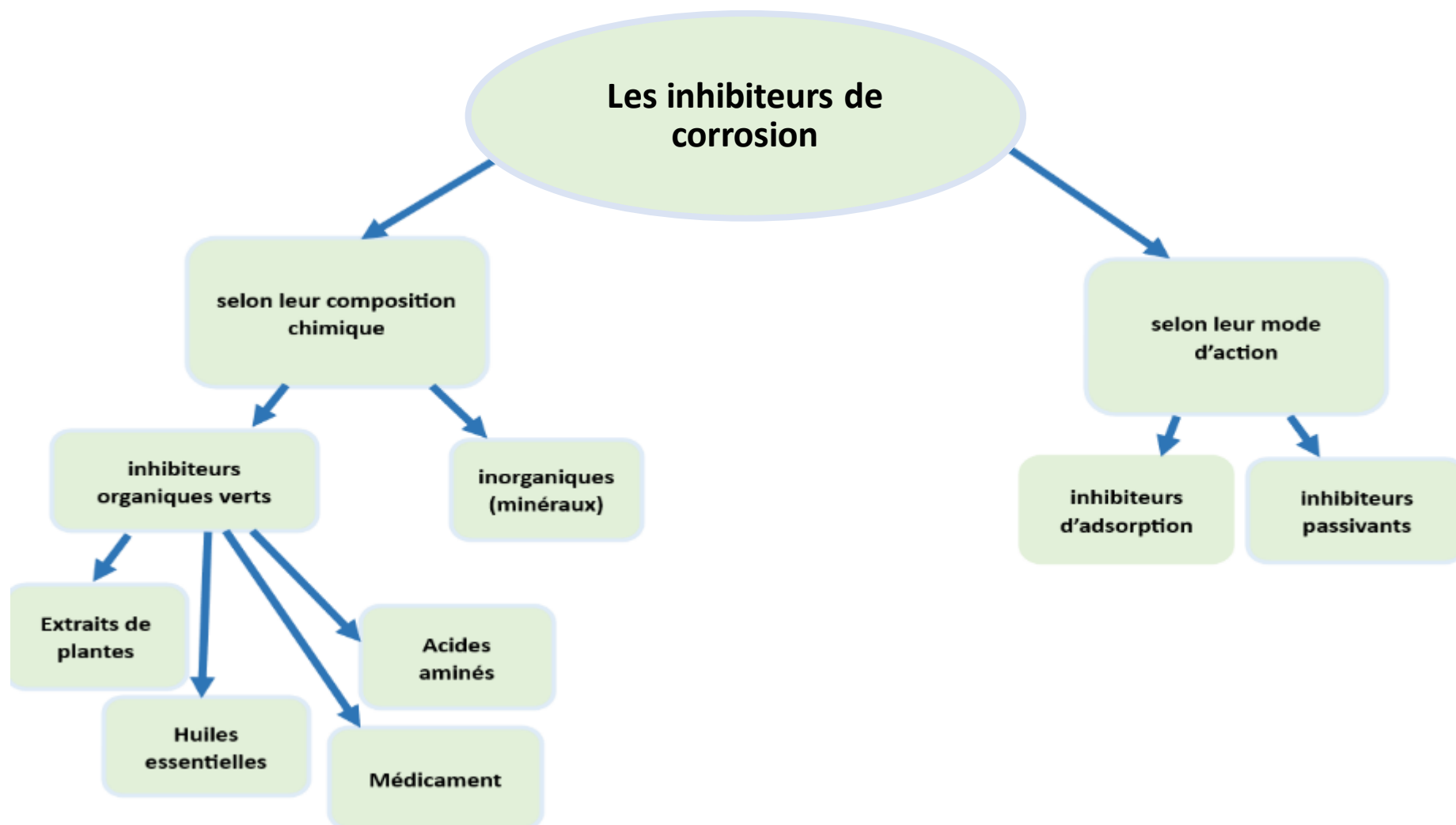


Figure I-8 : Classification de l'inhibiteurs selon la composition chimique et mode d'action (Florina, 2011).

I.6.2. Qu'est-ce qu'un inhibiteur organique vert ? :

I.6.2.1. Définitions :

Les inhibiteurs de corrosion organiques verts sont des produits naturels utilisés pour prévenir la corrosion sans nuire à l'environnement. Ils sont devenus une priorité pour les chercheurs car ils offrent une alternative aux inhibiteurs chimiques dangereux pour l'environnement. Les travaux sur les inhibiteurs de corrosion organiques verts comme les extraits de plantes ont augmenté ces dernières années en raison de leur sécurité, de leur biodégradabilité et de leur respect de l'environnement (*Asmara et al., 2018*).

Le tableau I-1 représente quelques études utilisant des inhibiteurs organiques verts à base d'extraits de plantes, amines et de vitamines :

D'après le tableau I.1, on peut remarquer que l'utilisation d'inhibiteurs organiques verts offre de nombreux avantages, tels que leur faible impact environnemental, leur efficacité dans la protection contre la corrosion et leur compatibilité avec les normes environnementales actuelles.

Dans cette étude, nous avons examiné les extraits de plantes en tant qu'inhibiteurs de corrosion verts en raison de leur nature respectueuse de l'environnement.

Tableau I-1 : Représenté quelques travaux utilisant les inhibiteurs verts comme moyen de protection contre la corrosion des aciers.

Inhibiteur vert utilisé	Essais	Auteurs
DMEA Commerciale	Affaissement Porosité	(HASSOUNE, 2018)
L'extrait de gingembre L'extrait d'algues	Compression	(Wang et al., 2019)
L'extrait de feuilles de roseau	Compression	(Hadi et al., 2020)
L'extrait de feuille de margousier	Compression	(Valdez-Salas et al., 2021)
l'acide ascorbique (vitamine C)	Compression Porosité Absorption capillaire	(Brix et al., 2022)
L'extrait feuille de Henna	Compression Porosité Absorption capillaire	(BRIXI, 2022)
La nicotinique (vitamine B3) La pyridoxine (vitamine B6)	Compression	(Xu et al., 2022)
L'extrait de réglisse	Compression	(Naderi et al., 2024)

I.7. CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons représenté les effets de la corrosion des ouvrages en béton armé et les moyens de protection contre cette corrosion par les inhibiteurs organiques verts, nous avons exploré des solutions innovantes pour prévenir les effets néfastes de la corrosion. Les inhibiteurs organiques verts se présentent comme une alternative écologique et efficace pour protéger les armatures métalliques des ouvrages en béton armé contre la corrosion. Nous allons explorer dans le prochain chapitre l'effet de l'inhibiteur vert sur les caractéristiques des mortiers à l'état frais et durci, ainsi que quelques paramètres de durabilité

CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE : EFFETS DES INHIBITEURS DE CORROSION SUR LES CARACTERISTIQUES DU BETON.

II.1. INTRODUCTION :

Dans le chapitre précédent, nous avons abordé les notions de corrosion et les différentes méthodes de protection contre ce phénomène, parmi lesquelles figurent les inhibiteurs de corrosion. Ce chapitre se concentre sur la revue des études antérieures portant spécifiquement sur les inhibiteurs de corrosion, offrant ainsi un aperçu essentiel de la recherche passée dans ce domaine crucial de la protection des matériaux métalliques, notamment dans les structures en béton armé, contre la corrosion. Les travaux de recherche antérieurs ont joué un rôle fondamental dans la compréhension des mécanismes de corrosion, l'identification des inhibiteurs efficaces et le développement de stratégies de protection novatrices. Parmi les solutions envisagées, les inhibiteurs de corrosion verts occupent une place prépondérante.

II.2. CARACTERISATION A L'ETAT FRAIS (L'AFFAISSEMENT) :

L'affaissement au mini cône ou cône d'Abrams sont des essais de caractérisation des échantillons respectif de mortiers ou de béton à l'état frais permettant de déterminer leurs maniabilités. Plus l'affaissement est grand, plus le matériau est fluide. HASSOUNE (2018) a été estimé l'ouvrabilité des échantillons de béton grâce à un essai d'affaissement au cône d'Abrams (cf. tableau II-1), mélangés avec trois inhibiteurs à savoir le Diméthylaminoéthol (DMEA), ainsi que deux autres produits à base de phosphate (Na_3PO_4 et K_2HPO_4), avec un E/C = 0,6 et un dosage en ciment CEM II 42.5 de 350 Kg/m³.

Tableau II-1 : Caractéristiques physiques des bétons utilisés, à l'état frais (l'affaissement) (HASSOUNE, 2018).

Type de béton	L'affaissement (cm)
B1 : Sans inhibiteur	15,50
B2 : Avec +Diméthylaminoéthol (DMEA) commercial	17,50
B3 : Avec +Phosphate trisodique (Na_3PO_4)	15,00
B4 : Avec + Dihydrogénophosphate de potassium (K_2HPO_4)	14,00

Selon le tableau II.1, on observe que le béton "B2", intégrant le DMEA comme adjuvant dans sa composition, affiche une fluidité relativement supérieure par rapport aux autres mélanges. Cette observation peut être attribuée à la nature liquide du DMEA employé (HASSOUNE, 2018).

II.3. RESISTANCE A LA COMPRESSION :

II.3.1. Etude effectuée par (Wang et al., 2019):

(Wang et al., 2019) ont testé l'effet de quatre inhibiteurs de corrosion sur la résistance mécanique à la compression d'échantillons de mortier. Quatre différentes concentrations (0,5%, 1%, 2%, et 4%) ont été utilisées. Les échantillons de mortier ont été constitués de ciment Portland ordinaire (42,5).

Les produits utilisés sont :

- L'extrait de gingembre
- L'extrait d'algues
- Nitrite de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$
- Diméthylaminoéthol (DMEA) commercial

La figure II.1 montre les résultats des essais de la résistance à la compression des mortiers après 28 jours. L'ajout de 1 % d'extrait de gingembre a entraîné une augmentation de 2,2% de la résistance à la compression. Tandis que l'ajout de 0,5 % n'a pas modifié la résistance mécanique. Les deux derniers dosages 2 et 4 % ont entraîné une baisse respective de 6,1% de la résistance 11,1% avec 4% d'extrait de gingembre. Tous les échantillons d'extrait d'algues ont montré une réduction par rapport à l'échantillon non traité. Les échantillons de $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ ont provoqué une augmentation maximale de 14% pour un dosage de 1%. Par rapport à l'échantillon non traité. Les résultats du (DMEA) commercial ont indiqué une réduction, la plus importante étant de 21% pour un taux d'incorporation de 4%.

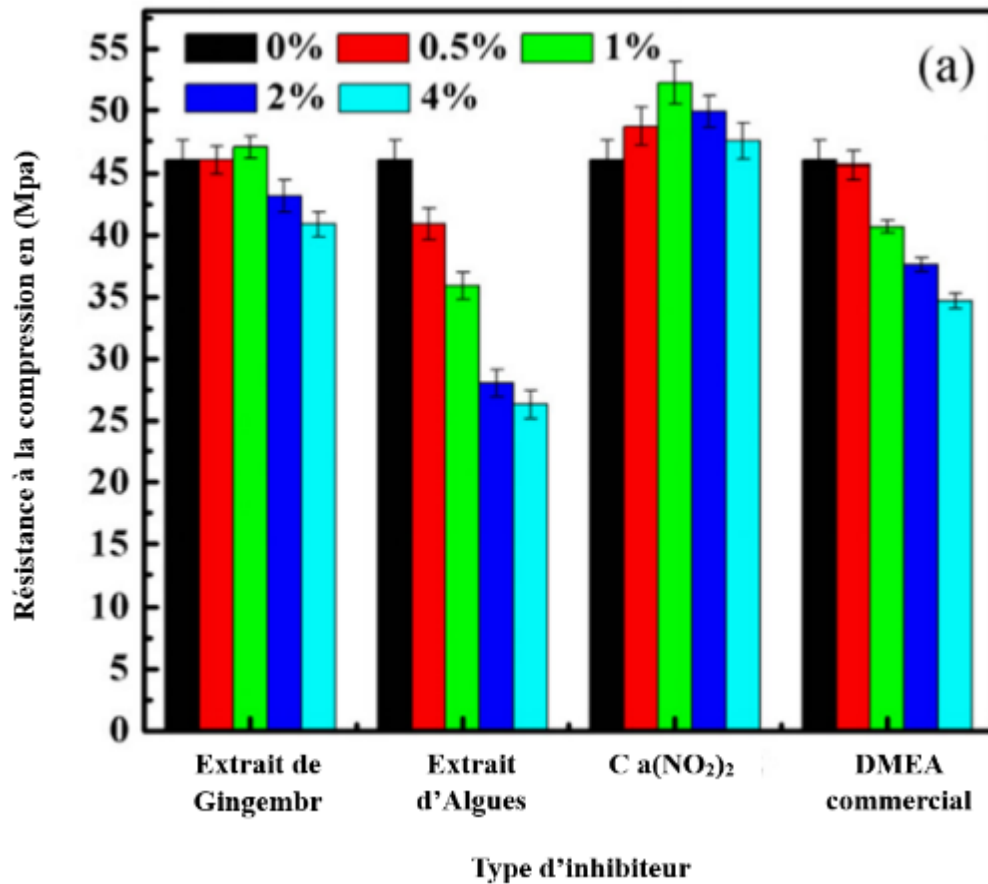


Figure II-1 : Résistance à la compression avec quatre inhibiteurs (extrait de gingembre, extrait d'algues, Ca(NO₂)₂ et DMEA commercial) (Wang et al., 2019).

II.3.2. Etude effectuée par (Hadi et al., 2020) :

(Hadi et al., 2020), ont testé la résistance à la compression d'échantillons cubiques de béton ordinaire, de 150 mm de côté mélangé avec un extrait feuilles de roseau RLE comme inhibiteur de corrosion ayant une concentration de 0,5%, Ciment CEM IV.

Les résultats Tableau II.1, indiquent que l'ajout de l'inhibiteur RLE au mélange de béton n'a aucun effet néfaste sur les propriétés mécaniques du béton, mais plutôt il entraîne une augmentation de la résistance à la compression d'environ 7,16%. Cette amélioration pourrait être attribuée au blocage des pores de la structure du béton par l'extrait de feuilles de roseau (Hadi et al., 2020).

Tableau II-2 : Résultats des essais de la résistance à la compression des échantillons du béton avec et sans inhibiteur de corrosion (feuilles de roseau) après 28 jours (Hadi et al., 2020).

Echantillons	Résistance à la compression (Mpa)
Sans inhibiteur	34,59
Avec L'extrait de feuilles de roseau	37,26

II.3.3. Etude effectuée par (Valdez-Salas et al., 2021) :

(Valdez-Salas et al., 2021) ont testé des échantillons de béton ordinaires de forme cylindrique de 100mm de diamètre et 200mm de hauteur en utilisant quatre inhibiteurs. Ciment CEM I 40

Les produits utilisés sont :

- L'extrait de feuille de margousier
- Sika CNI est un adjuvant à base de nitrites de calcium (La société qui fabrique l'inhibiteur Sika est la société Sika AG, une entreprise suisse spécialisée dans les produits chimiques de construction.)
- Eucon CIA et DCI des adjuvant à base de nitrite de calcium (La société qui fabrique l'inhibiteur Eucon est BASF, une entreprise chimique allemande leader dans son domaine.)

La figure II.2 montre la résistance à la compression à 7 et 28 jours des échantillons de béton, avec l'extrait de feuilles de margousier et des trois inhibiteurs de corrosion commerciaux. Les résultats révèlent qu'après sept jours, la résistance à la compression se situait entre 27 et 29 MPa, le DCI affichait la plus haute résistance. Après 28 jours, les échantillons présentant une résistance allant de 32 à 35 MPa la plus grande valeur était associée au mélange avec DCI. Ces résultats montrent que l'extrait de feuilles de margousier et les inhibiteurs de corrosion commerciaux n'ont pas affecté la résistance à la compression du béton.



Figure II-2: La Résistance à la compression du mortier avec quatre inhibiteurs (margousier, Sika CNI, Eucon CIA et DCI) (Valdez-Salas et al., 2021).

II.3.4. Etude effectuée par (Brixi et al., 2022) :

(Brixi et al., 2022) ont étudié les propriétés mécaniques à partir d'échantillons des mortiers de forme cubiques de 40 mm de côté mélangé d'acide ascorbique (vitamine C) sont de 0,1 et 1 g/L. Ciment CEM II 42,5.

La figure II.3 montre la résistance à la compression de différents types de mortiers. Les données montrent que le mortier inhibé avec 0,1 et 1 g/L d'acide ascorbique a atteint une résistance à la compression de 42,6 MPa, soit une augmentation de 5 % par rapport au mortier de référence. Cependant, le mortier contenant une concentration plus élevée d'acide ascorbique (1,0 g/L) a présenté une résistance à la compression de 32 MPa, soit une diminution de 19 % par rapport au mortier de référence.

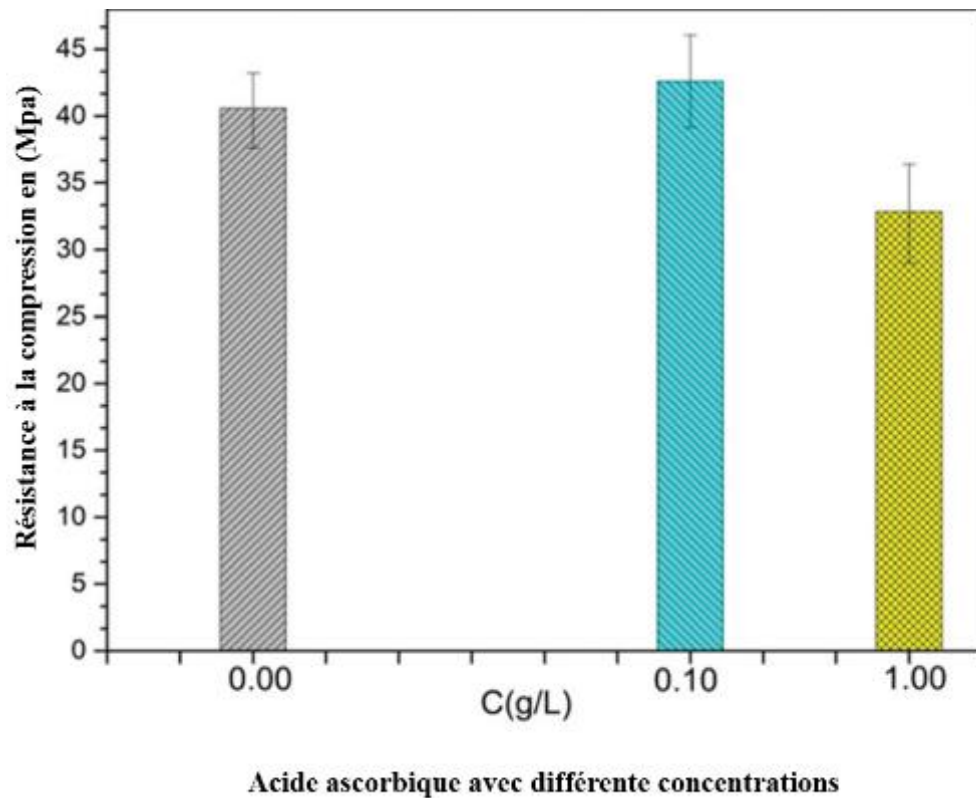


Figure II-3 : Résistance à la compression du mortier avec et sans l'acide ascorbique (Brix et al., 2022)

II.3.5. Etude effectuée par (Xu et al., 2022) :

(Xu et al., 2022) ont testé la résistance à la compression d'un béton ordinaire incorporant les vitamines (B3, B6 et C) en tant qu'inhibiteurs de la corrosion, avec trois concentrations 0,12%, 0,24% et 0,40%. Ciment CEM II (42,5).

Ces trois vitamines ont les appellations suivantes :

- L'acide nicotinique (B3)
- La pyridoxine (B6)
- L'acide ascorbique (C)

Les figures II.4, II.5 et II.6 montrent les résultats des résistances à la compression à (3, 7, 14 et 28 jours).

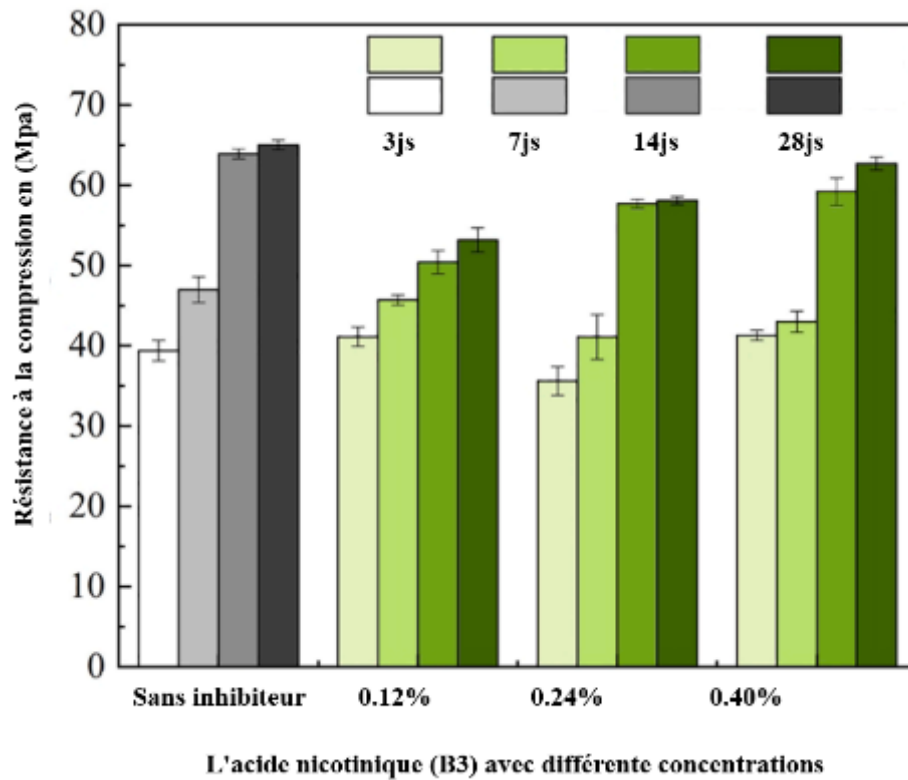


Figure II-4: Résistance à la compression du béton avec et sans L'acide nicotinique (vitamine B3) (Xu et al., 2022).

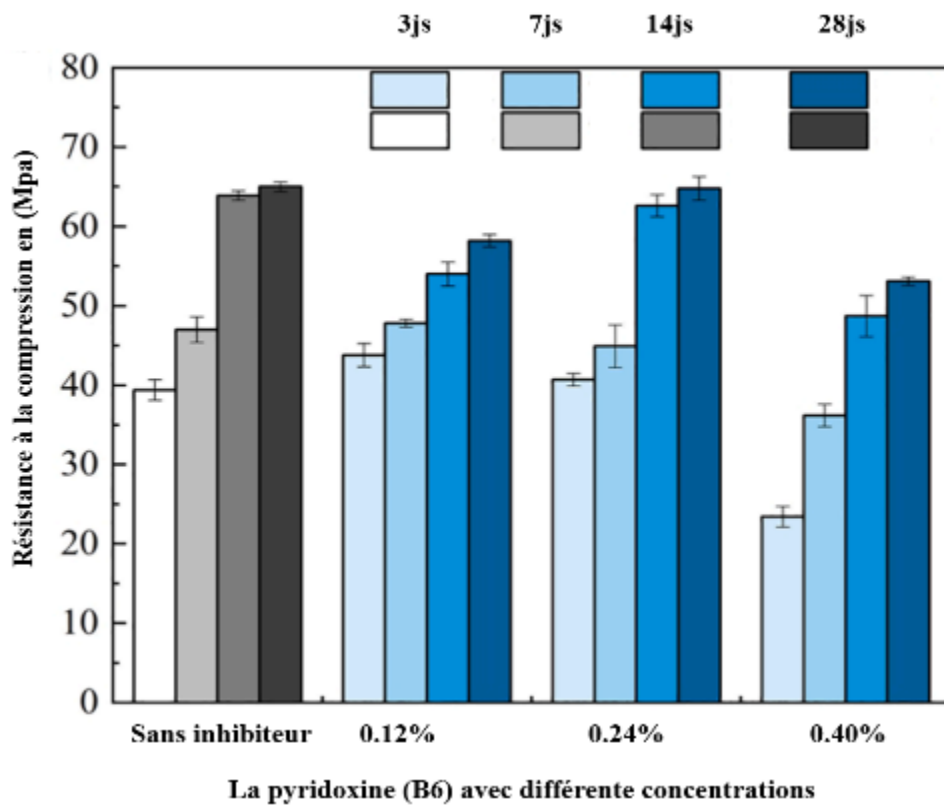


Figure II-5 : Résistance à la compression du béton avec et sans la pyridoxine (vitamine B6) (Xu et al., 2022).

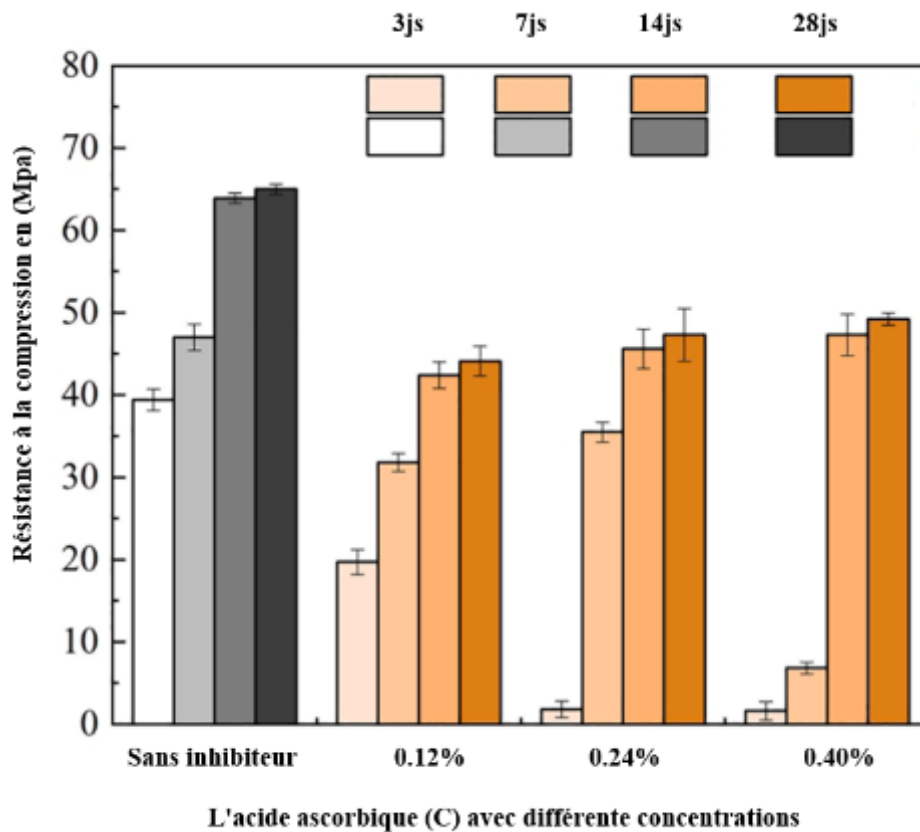


Figure II-6 : Résistance à la compression du béton avec et sans l'acide ascorbique (vitamine C) (Xu et al., 2022).

Dans cette étude, vous avons testé la résistance à la compression de trois types de vitamines. Pour la vitamine B3, la concentration de 0,4%, elle présente une résistance presque similaire à l'échantillon de référence qui a une résistance de 65 Mpa, alors que la concentration de 0,4% donne une résistance de 64 Mpa. En ce qui concerne la vitamine B6, la concentration de 0,24%, elle augmente légèrement la résistance par rapport à l'échantillon de référence, avec une résistance de 67 Mpa. Pour la vitamine C, les trois concentrations entraînent une diminution de la résistance à la compression tandis que la concentration de 0,4%, il me donne une résistance maximale de 50 Mpa.

II.3.6. Etude effectuée par (Naderi et al., 2024) :

(Naderi et al., 2024) ont testé la résistance à la compression des échantillons de mortier d'une forme prismatique de dimensions $4 \times 3 \times 16 \text{ cm}^3$. Avec soit l'extrait de réglisse ou le nitrite de sodium ou bien avec un mélange de ces deux derniers. Ciment CEM IV.

- Les produits utilisés sont :
- L'extrait de réglisse
- Nitrite de sodium (NaNO_2)

Les concentrations utilisées sont :

- Sans inhibiteur (Référence)
- 0,1% de réglisse
- 0,2% de réglisse
- 1 % de réglisse et 0,1 % de nitrite de sodium
- 0,2 % de nitrite de sodium

La figure II.7 montre les résultats des essais de la résistance à la compression des mortiers après 28 jours utilisant ces quatre inhibiteurs testés. En ce qui concerne l'extrait de réglisse, les concentrations de 0,1 % et 0,2 % ne montrent aucune influence sur la résistance à la compression. Pour le mélange de 0,1 % de réglisse avec 0,1 % de nitrite, une légère réduction de 0,1 % est observée, tandis que pour le mélange de 0,2 % de nitrite, une petite augmentation de 0,2 % est notée.

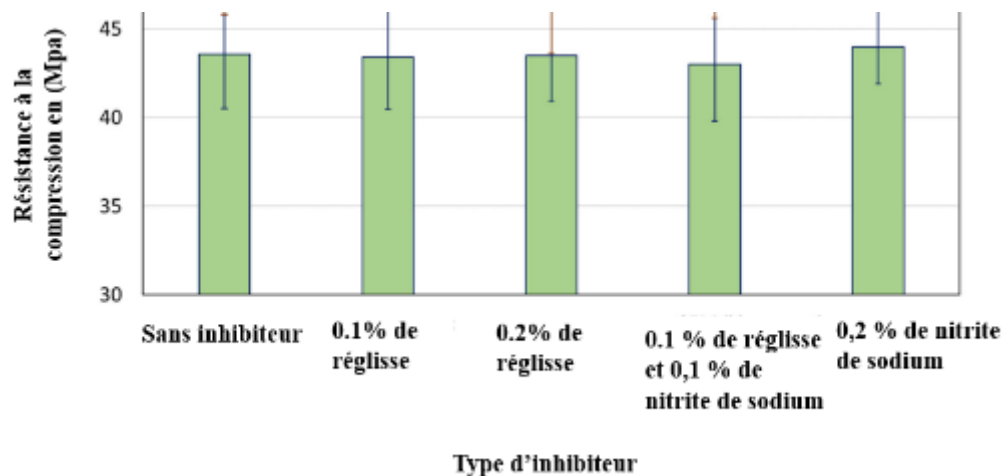


Figure II-7 : Résistance à la compression du mortier avec quatre inhibiteurs (extrait de réglisse et nitrite) (Naderi et al., 2024).

Tableau II-3 : Récapitulatif la revue de littérature sur les effets des inhibiteurs sur la résistance à la compression .

L'auteur	L'inhibiteur	Concentration	Forme et matériau	La norme du test	Observation
(Wang et al., 2019)	L'extrait gingembre	0,5%, 1%, 2%, 4%	Mortier, Ciment portland ordinaire (42.5/GB175-2007) E/C = 0,6	ISO 679-2009 et ASTM C1437-15	Une diminution de 6,1% réduite de 2% et une augmentation de 2,2% de la résistance à la compression à 28 jours.
	L'extrait d'algues				Une diminution de la résistance à la compression à 28 jours.
	Ca(NO ₂) ₂				Une augmentation de la résistance à la compression à 28 jours.
	(DMEA)				Une diminution de la résistance à la compression à 28 jours.
(Hadi et al., 2020)	(RLE)	0,5 %	Béton ordinaire de forme cubiques de côté de 150mm, E/C = 0,45 Sel % Ciment 1,5%	ASTM C-39	Une augmentation de la résistance à la compression de 7,16 % à 28 jours.
(Valdez-Salas et al., 2021)	L'extrait de feuille de margousier	150 g immergées dans 750 ml de l'eau distillée	Béton ordinaire de forme cylindrique Ø 100mm 200mm de hauteur, E/C = 0,65, Ciment CEM I 40	ASTM C 39	Une diminution de la résistance à la compression à 7 jours.
	Sika CNI				Une augmentation de la résistance à la compression à 28 jours.
	Eucon CIA				Une diminution de la résistance à la compression à 7 et 28 jours.
	DCI				Une augmentation de la résistance à la compression à 7 et 28 jours.

(Brixi et al., 2022)	l'acide ascorbique (vitamine C)	0,1 g/L, 1g/L	Mortier de forme cubique de 40 mm de côté, E/C=0,6 ciments CEM II 42.5 350 Kg/m ³	européenne BS EN 12390-3 : 2009	0,1g/l : Une augmentation de la résistance à la compression à 28jours. 1g/l : Une diminution de la résistance à la compression à 28jours.
(Xu et al., 2022)	l'acide nicotinique (B3)	0,12 %, 0,24 %, 0,40 %	Béton ordinaire, ciment Portland (P.O 42,5) 1500 CEM142,5 (kg/m ³) E/C = 0,4	GB/T 17671- 1999	Une diminution de la résistance à la compression à 28 jours.
	la pyridoxine (B6)				
	l'acide ascorbique (C)				
(Naderi et al., 2024)		0,1% de réglisse	Mortier de forme prismatique de dimensions 4x3x16 cm ³ E/C = 0,5	EN 206	Une diminution de la résistance à la compression à 28 jours.
		0,2% de réglisse			/

	L'extrait de réglisse	1 % de réglisse et 0,1 % de nitrite de sodium	Ciment CEM IV		Une diminution de la résistance à la compression à 28 jours.
	Nitrite de sodium	0,2 % de nitrite de sodium			Une augmentation de la résistance à la compression à 28 jours.

II.4. POROSITE ACCESSIBLE A L'EAU :

II.4.1. Etude Effectuée par (HASSOUNE, 2018) :

En testé la porosité après 180 jours sur des échantillons de béton mélangés avec trois inhibiteurs. Diméthylaminoéthol (DMEA), ainsi que deux autres produits à base de phosphate (Na_3PO_4 et K_2HPO_4). E/C = 0,6 Dosage en ciment CEM II 42.5 de 350 Kg/m³. Les échantillons de béton testés ont une géométrie 11 cm de diamètre et 5 cm de hauteur (HASSOUNE, 2018).

Tableau II-4 : Représenter la Porosité des échantillons de béton avec trois inhibiteurs (DMEA, Na_3PO_4 et K_2HPO_4 (HASSOUNE, 2018).

Echantillons	Porosité
Sans inhibiteur	16,1%
Avec Diméthylaminoéthol (DMEA) commercial	15,6%
Avec Phosphate trisodique (Na_3PO_4)	16,2%
Avec Dihydrogénophosphate de potassium (K_2HPO_4)	15,9%

Les résultants exposés dans le tableau II.3 montre que l'incorporation des trois inhibiteurs de corrosion dans la masse du béton frais n'a pas modifié la porosité accessible à l'eau du mélange (HASSOUNE, 2018).

II.4.2. Etude Effectuée par (Brixi et al., 2022) :

(Brixi et al., 2022) ont testé la porosité après 28 jours sur des échantillons de mortier de forme cylindrique de Ø35 mm et d'une hauteur de 60 mm avec et sans acide ascorbique (vitamine C) utilisé comme inhibiteur de corrosion. Les mortiers ont été préparés avec un dosage en ciment CEM II 42.5 de 350 Kg/m³ 350 Kg/m³, et une concentration en inhibiteur de 0,1et 1 g/L.

La figure II.8 présente les résultats de la porosité accessible à l'eau des mortiers en avec et sans l'acide ascorbiques après 28 jour.

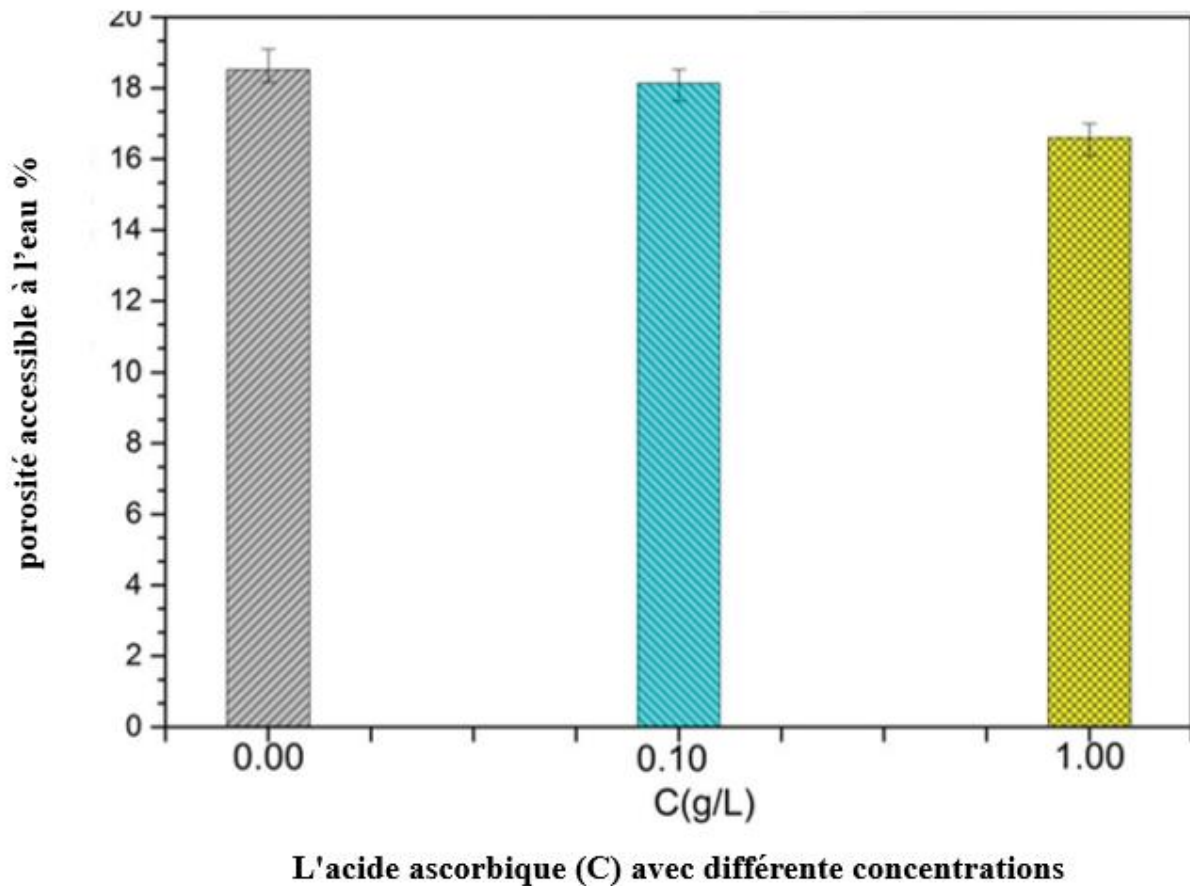


Figure II-8 : Porosité accessible à l'eau avec et sans l'acide ascorbique (Brix et al., 2022).

Les résultats trouvés montrent que le mortier sans inhibiteur avait une porosité de 18,5% l'incorporation d'acide ascorbique à une concentration de 0,1 g/L dans le mortier induisait une porosité de (18,2%). En revanche, l'ajout d'acide ascorbique à une concentration de 1,0 g/L dans l'eau de gâchage du mortier offrait une porosité de 16,5%. Ces résultats indiquent que l'augmentation de la concentration d'acide ascorbique entraînait une diminution importante de la porosité.

II.4.3. Etude Effectuée par (BRIXI, 2022) :

En testé la porosité après 28 jours sur des échantillons de mortier de forme cylindrique de $\varnothing$ 35 mm et d'une hauteur de 60 mm avec et sans extrait de feuille de Henna, avec des concentrations de 0,2 et 2 g/L. Un dosage en ciment CEM II 42.5 est utilisé de 350 Kg/m³.

La figure II.9 présente les résultats de la porosité accessible à l'eau des mortiers en avec et sans d'extrait de feuille de Henna après 28 jours.

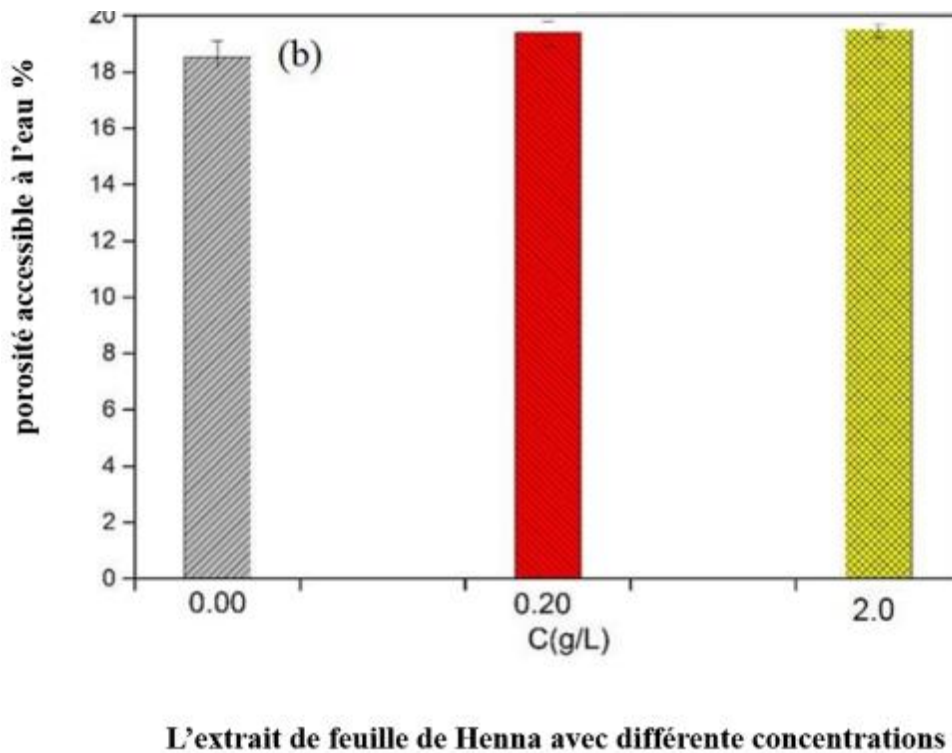


Figure II-9 : Porosité accessible à l'eau avec et sans extrait de feuille de Henna (BRIXI, 2022).

Les résultats montrent qu'en présence de 0,2 g/L d'extrait de feuille de Henna, la porosité des mortiers est de 19,5 % par contre la concentration de 2,0 g/L offrait une porosité de 19,7%, L'échantillon sans inhibiteur a donné une porosité de 18,2%. Cette étude montre une légère augmentation de la porosité par rapport aux échantillons de référence ceci est certainement dû aux composants de l'extrait de feuille de Henna qui retardent l'hydratation du ciment tout en induisant cet accroissement de la porosité (BRIXI, 2022).

Tableau II-5: Récapitulatif la revue de littérature sur les effets des inhibiteurs sur la porosité accessible à l'eau.

L'auteur	L'inhibiteur	Concentration	Forme et matériau	La norme du test	Observation
(HASSOUNE, 2018)	DMEA	/	Eprouvettes ϕ 11 cm de 22 cm de hauteur E/C = 0,6 Dosage en ciment CEM II 42.5 350 Kg/m ³	(AFPC-AFREM 1997), modifié par (Ben Fradj 2009)	Une diminution de la porosité accessible à l'eau
	Na ₃ PO ₄				Une augmentation de la porosité accessible à l'eau
	K ₂ HPO ₄				Une diminution de la porosité accessible à l'eau
(Brixi et al., 2022)	l'acide ascorbique (vitamine C)	0,1 g/L, 1g/L	mortier de forme cylindriques de ϕ 35 mm et d'une h = 60 mm, E/C = 0,6 Dosage en ciment CEM II 42.5 350 Kg/m ³	AFPC-AFREM	0,1g/l et 1g/l : Une diminution de la porosité accessible à l'eau
(BRIXI, 2022)	d'extrait de feuille de Henna	0,2g/L, 2g/L	mortier de forme cylindriques de ϕ 35 mm et d'une h = 60 mm, E/C = 0,5 Dosage en ciment CEM II 42.5 350 Kg/m ³	(AFPC-AFREM, 1997)	0,2g/l et 2g/l : Une augmentation de la porosité accessible à l'eau

II.5. ABSORPTION EN EAU :

II.5.1. Etude effectuée par (Brix et al., 2022) :

(Brix et al., 2022) ont évalué l'absorption capillaire d'eau après 28 jours sur trois échantillons de mortier avec et sans inhibiteurs de forme cylindriques de $\varnothing 35$ mm et d'une hauteur de 60 mm, E/C=0,6, dosage en ciment 350 Kg/m^3 , En ce qui concerne l'inhibiteur testé, il s'agit d'acide ascorbique (vitamine C), sont de 0,1 et 1 g/L. Dosage en ciment CEM II 42.5 de 350 Kg/m^3 .

Figure II.10 montre les coefficients d'absorption d'eau des échantillons testés.

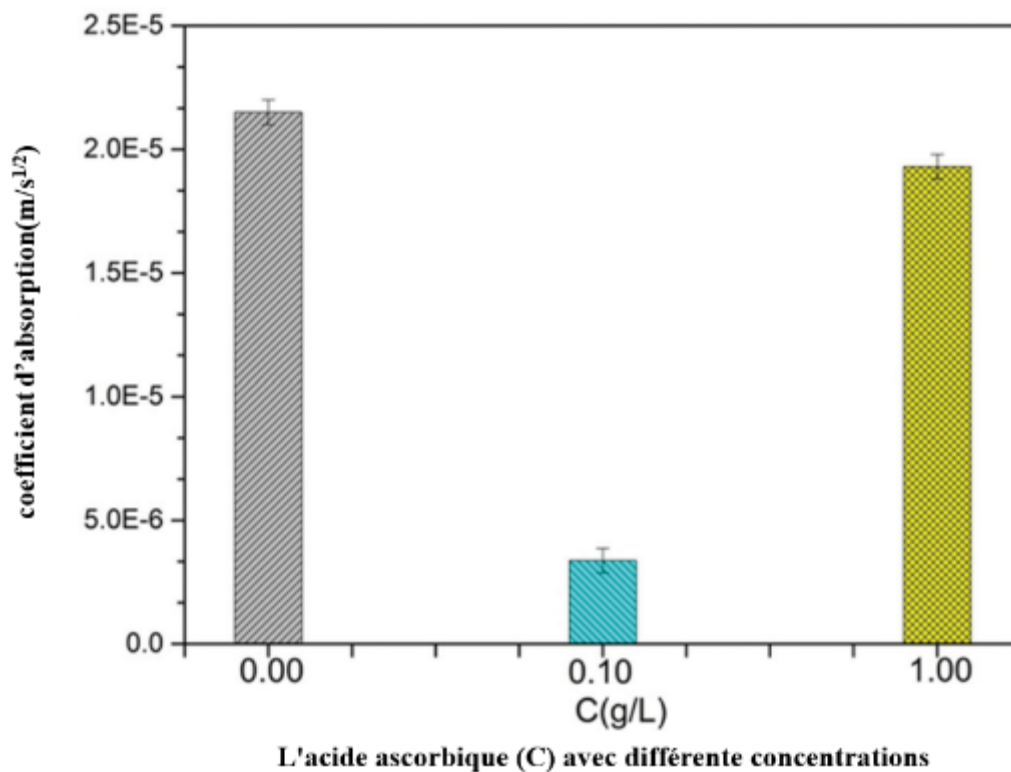


Figure II-10 : Absorption capillaire avec et sans l'acide ascorbique (Brix et al., 2022)

La représentation graphique actuelle suggère que lorsqu'un matériau affiche un coefficient d'absorption d'eau inférieur à $9,96 \times 10^{-5} \text{ (m/s}^{1/2}\text{)}$, il peut être considéré comme excellent en termes d'absorption d'eau. Il est pertinent de noter également l'efficacité de l'acide ascorbique en tant qu'inhibiteur de corrosion (Brix et al., 2022).

II.5.2. Etude effectuée par (BRIXI, 2022) :

(BRIXI, 2022) est évaluée L'absorption capillaire après 28 jours sur trois échantillons de mortier avec et sans inhibiteurs .de forme cylindrique de $\varnothing$ 35 mm et d'une hauteur de 60 mm, En ce qui concerne l'inhibiteur testé, il s'agit extrait de feuille de Henna, sont de 0,2 et 2g/L Dosage en ciment 350 Kg/m³ E/C=0,5.

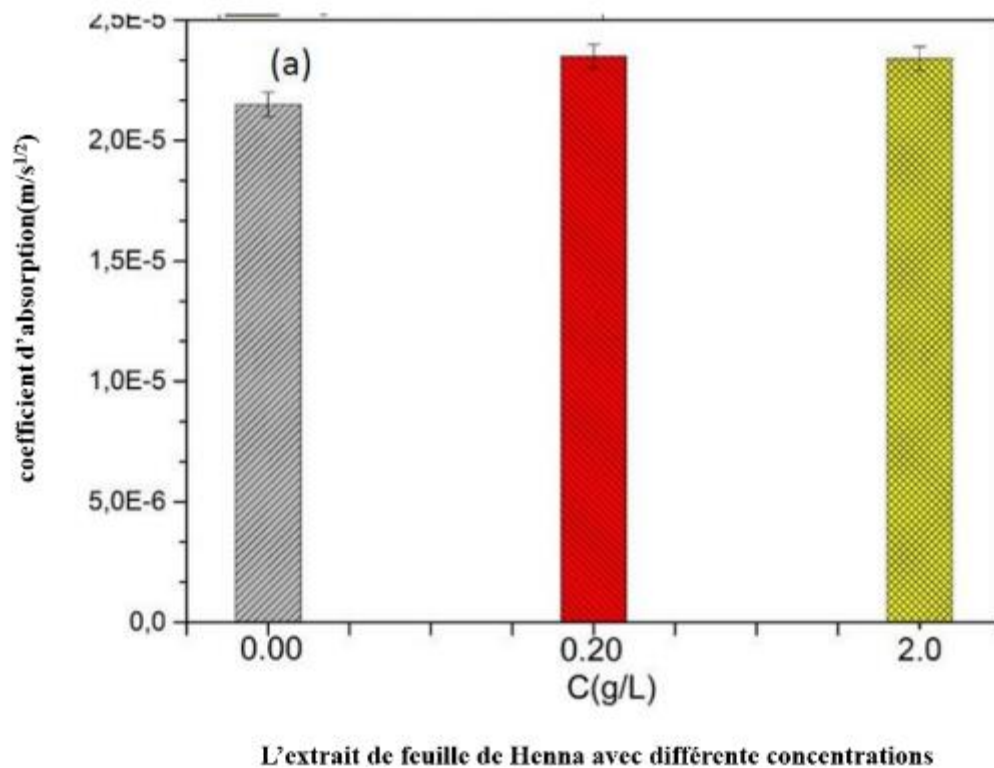


Figure II-11 : Absorption capillaire de l'extrait de feuille de Henna (BRIXI, 2022).

La figure II.11 révèle que le coefficient d'absorption de l'eau se situe autour de 10^{-5} , avec des coefficients de régression dépassant 0,9. Cette observation suggère que la relation linéaire offre un ajustement satisfaisant pour le test. Selon les travaux d'Alexander et al. (Alexander, 1999), un coefficient d'absorption de l'eau inférieur à $9,96 \times 10^{-5}$ (m/s^{1/2}) classe le matériau comme excellent en termes d'absorption d'eau. Il est pertinent de noter que l'extrait de feuille de Henna, reconnu comme un bon inhibiteur de corrosion, n'influence pas ce paramètre (BRIXI, 2022).

Tableau II-6 : Récapitulatif la revue de littérature sur les effets des inhibiteurs sur la propriété de l'absorption capillaire.

L'auteur	L'inhibiteur	Concentration	Forme et matériau	La norme du test	Observation
(Brixi et al., 2022)	l'acide ascorbique (vitamine C)	0,1 g/L, 1g/L	mortier de forme cylindriques de Ø35 mm et d'une h = 60 mm, E/C = 0,6 Dosage en ciment 350 Kg/m ³	ASTM C 1585-04	0,1g/l et 1g/l : Une diminution de la porosité accessible à l'eau
(BRIXI, 2022)	extrait de feuille de Henna	0,2 g/L, 2g/L	mortier de forme cylindriques de Ø35 mm et d'une h = 60 mm, E/C = 0,5 Dosage en ciment 350 Kg/m ³	ASTM C1585-04 (ASTMC1585-04, 2004	0,2g/l et 2g/l : Une augmentation de la porosité accessible à l'eau

II.6. CONCLUSION :

D'après la revue de littérature, l'effet des inhibiteurs de corrosion verts a été étudié en termes de caractérisation à l'état frais, comportement mécanique et indicateurs de durabilité.

En comparant avec l'échantillon de blanc, l'inhibiteur commercial DMEA augmente l'affaissement de 12%, tandis que les inhibiteurs à base de phosphate (trisodique et dipotassique) réduisent l'affaissement de 10%.

Les échantillons avec des inhibiteurs à base d'extraits de plantes tels que l'extrait de gingembre, extrait de roseau ont montré une augmentation de la résistance à la compression de 3% à 7,7% par rapport au blanc. Ceux avec des inhibiteurs à base de vitamines comme l'acide ascorbique ont augmenté de 7,3% avec une concentration inférieure à 0,1%. Les échantillons avec la DMEA commerciale ont augmenté de 12,9%, et ceux avec des inhibiteurs minéraux à base de nitrites de sodium et de calcium ont montré une augmentation de 3% à 14%.

Comparés à l'échantillon blanc, les échantillons avec le DMEA commerciale et le phosphate dipotassique ont montré une réduction de 4% et 1,5% de la porosité. Les inhibiteurs de corrosion verts (extraits de feuilles de Hanna et vitamine C) ont montré une augmentation de 8% et une réduction de 5,5% par rapport au blanc.

Les inhibiteurs de corrosion verts montrent une tendance similaire à celle des inhibiteurs commerciaux toxiques, leur avantage réside dans leur nature respectueuse de l'environnement et leur caractère non nocif pour la santé humaine.

Dans les chapitres suivants, nous examinerons l'impact des inhibiteurs naturels qui ont été étudiés par l'équipe de durabilité et de vieillissement des matériaux du laboratoire EOLE. Ces inhibiteurs ont démontré une efficacité notable contre la corrosion. Notre étude se traitera le comportement mécanique et la durabilité des mortiers traités avec ces produits.

CHAPITRE III : MATERIAUX ET METHODES

III.1. INTRODUCTION :

Le présent chapitre illustre les caractéristiques des matériaux utilisés pour fabriquer le mortier, ainsi que leur préparation et confection dans des éprouvettes. De plus, nous avons utilisé les différentes normes et procédures relatives à la caractérisation du mortier à l'état frais à savoir l'affaissement ainsi qu'à l'état durci nous citons la résistance à la compression, la porosité accessible à l'eau et l'absorption.

III.2. MATERIAUX UTILISES :

Le tableau III.1 montre les caractéristiques des différents composants des mortiers confectionnés ainsi que le mode de préparation des inhibiteurs étudiés.

Tableau III-1 : Les matériaux et les caractéristiques des inhibiteurs utilisés.

Matériaux	
1- Ciment :	Le matériau cimentaire employé est spécifié comme CEM II/A 42,5, et il est fourni par la société des ciments de Béni-Saf, établie dans la wilaya d'Ain-Temouchent.
2- Sable :	Notre mélange de mortier est composé d'un sable de classe 0/4, à savoir le sable provenant de l'Entreprise Nationale des Granulats "ENG"
3-Eau de gâchage :	Pour élaborer les diverses compositions de mortier, nous employons de l'eau déminéralisée mise en vente.
4- Inhibiteurs :	Cette recherche a impliqué l'utilisation de deux inhibiteurs verts, avec trois concentrations 0,5, 2,5 et 5g/L. <u>La composition d'inhibiteur :</u> La préparation de ces inhibiteurs se fait sous forme de solutions composées de : 1.Poudre d'orange ou de grenade 2.Ethanol 80% 3.Eau distillée 20% <u>Mode de préparation :</u> (cf. figure III.1) 1. Masse de la poudre d'orange ou grenade pour un volume total de 1000ml :

150ml → 5g

1000ml → (33,33g)

2. Volume d'éthanol pour un volume total de 150ml :

150ml → 100%

120ml → 80%

3. Volume d'eau (distillée) pour un volume total de 150ml :

150ml → 100%

30ml → 20%

4. Volume d'éthanol pour un volume total de 1000ml :

150ml → 120ml ethanol

1000ml → 800ml ethanol

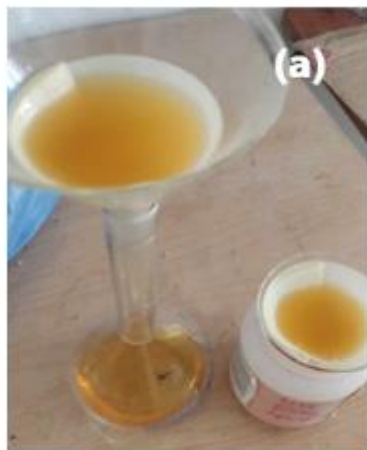
5. Volume d'eau (distillée) pour un volume total de 1000ml :

150ml → 30ml eau

1000ml → 200ml eau

- Laissez-le reposer pendant 15 jours afin que tous les ingrédients se combinent entre eux.
- Après 15 jours, nous l'avons filtré puis mettez au four à 60°C pendant 24 heures après avoir gratté le reste de la solution.
- Enfin, les inhibiteurs sont prêts à être utilisés dans le mortier ou le béton.

Dosage utilisé est conforme aux protocoles expérimentaux en cours au laboratoire EOLE, dans le cadre de la thèse de Mlle Harouat.



Etape1 : Filtration d'inhibiteur



Etape 2 : Séchage



Etape 3 : Inhibiteur sec



Etape 4 : Récupération de l'extrait sec

Figure III-1 : Etapes de préparation d'inhibiteurs utilisés.

III.3. PROPRIETES DES MATERIAUX :

III.3.1. La masse volumique apparente (Ghomari and Bendi-Ouis, 2007) :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse d'un mètre cube du matériau en tas, prenant en compte les vides perméables et imperméables des particules, ainsi que les espaces entre les particules.

La masse volumique apparente est déterminée par : $\rho = m / V$

m : la masse sèche

V : le volume

III.3.1.1. Sable :

La figure III.2 et le tableau III.2 présentent les étapes de mesure et le résultat de la masse volumique apparente du sable utilisé.

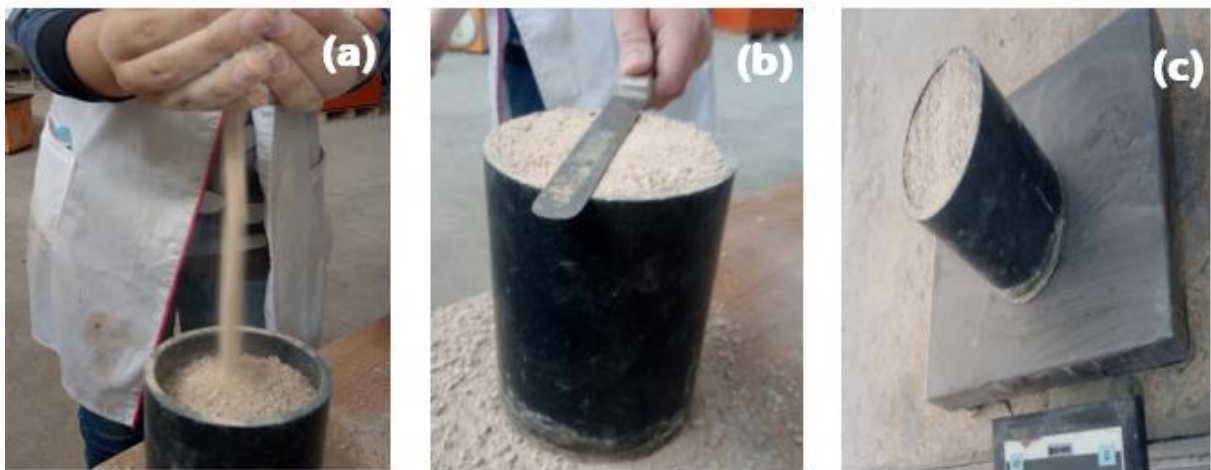


Figure III-2 : Etapes de la mesure de la masse volumique apparente du sable utilisé.

Tableau III-2 : La masse volumique apparente du sable utilisé.

La masse volumique apparente (Kg/m ³)	
Sable (0/4)	1619,30

III.3.1.2. Ciment :

La figure III.3 et le tableau III.3 présentent les étapes de mesure et le résultat de la masse volumique apparente du ciment utilisé.

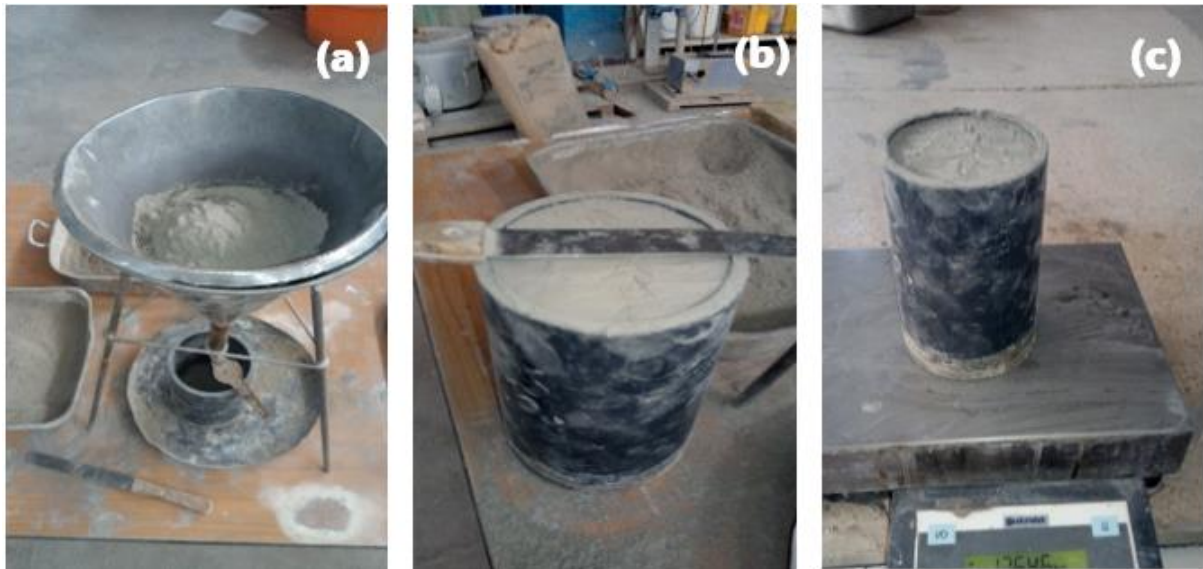


Figure III-3: Etapes de la mesure de la masse volumique apparente du ciment utilisé.

Tableau III-3 : Masse volumique apparente de ciment utilisé.

La masse volumique apparente (Kg/m ³)	
CEM II/A 42.5	1161,20

III.3.2. La masse volumique absolue du sable (Ghomari and Bendi-Ouis, 2007):

La masse volumique absolue, représente la masse par unité de volume du matériau constituant le granulat, sans prendre en compte les vides éventuels présents dans ou entre les grains. Il existe deux méthodes pour déterminer la masse volumique absolue : la méthode de l'éprouvette graduée et la méthode du ballon. Nous avons opté pour la méthode du ballon car elle est plus précise que la méthode de l'éprouvette graduée.

La masse volumique absolue est déterminée par : $\rho_s = m_2 / V_s$

$$V_s = (m_1 + m_2) - m_3 / \rho_{\text{eau}}$$

- m_1 : la masse du ballon + l'eau
- m_2 : la masse du sable sec
- m_3 : la masse du ballon + l'eau + sable
- V_s : le volume absolu

La figure III.4 et le tableau III.4 présentent les étapes de mesure et le résultat de la masse volumique absolue du sable utilisé.

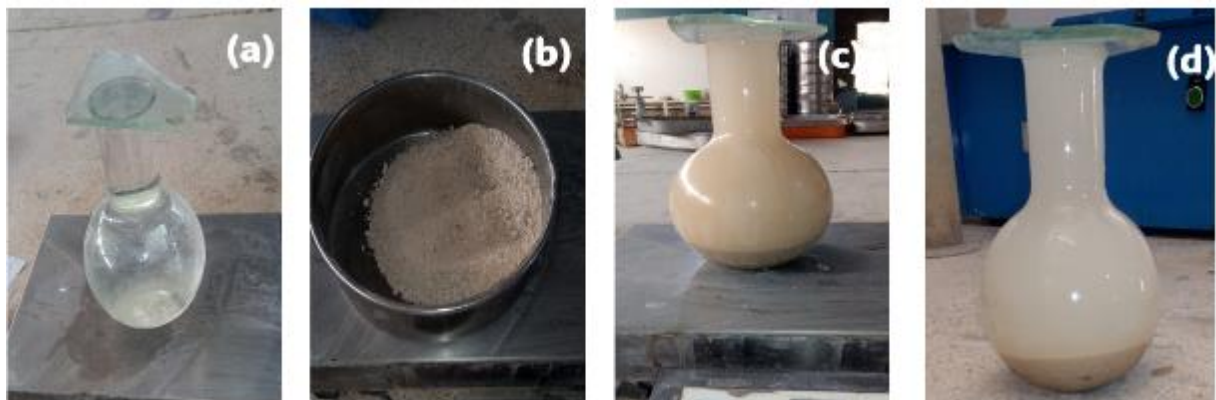


Figure III-4 : Etapes de la mesure de la masse volumique absolue du sable utilisé.

Tableau III-4 : Masse volumique absolue de sable utilisé.

La masse volumique absolue (Kg/m ³)	
Sable (0/4)	2573,08

III.3.3. Equivalent de sable selon la norme NF18-598 :

Cet essai est employé pour évaluer la propreté des sables en mesurant la proportion de particules fines qu'ils renferment. Les sables analysés peuvent être issus de carrières concassées, de dunes ou d'oueds.

Equivalent de sable est déterminée par :

- $ESV = (h_2 / h_1) * 100$: mesure visuelle
- $ESP = (h_2' / h_1) * 100$: mesure par le piston
- h_1 : hauteur totale (sable+ fines)

- h_2 : hauteur du sable
- h_2' : hauteur tassée au piston

La figure III.5, le tableau III.5 et III.6 présentent les méthodes de mesure et les résultats d'essai d'équivalent de sable.

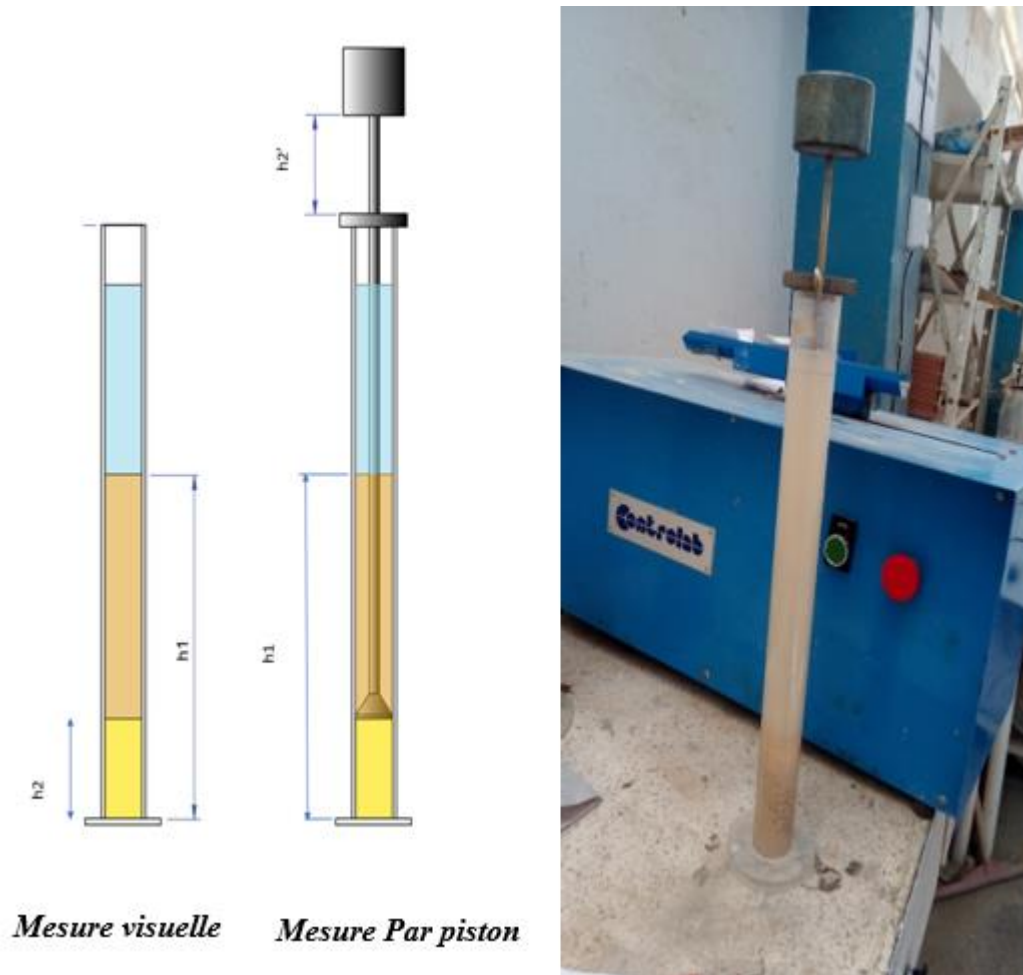


Figure III-5 : Essai d'équivalent de sable (PDB et al., 1999).

Tableau III-5 : Equivalent de sable utilisé.

Equivalent de sable		
	Mesure visuel « <i>ESV %</i> »	Mesure par le piston « <i>ESP %</i> »
Sable (0/4)	76,2	79,5

- **Classification des sables :**

Tableau III-6 : Classification des sables selon ESV et ESP (PDB et al., 1999).

Classification des sables		
« <i>ESV %</i> »	« <i>ESP %</i> »	Qualité du sable
ESV<65	ESP<60	Sable argileux
65≤ESV<75	60≤ESP<70	Sable légèrement argileux
75≤ESV<85	70≤ESP<80	Sable propre
ESV≥85	ESP≥80	Sable très propre

Selon les résultant obtenus de « *ESV %* » et « *ESP %* » D'après le tableau suivent le sable utilisé est un sable propre.

III.3.4. Analyse granulométrique du sable selon la norme EN 933-2 (Ghomari and Bendi-Ouis, 2007)

L'analyse granulométrique vise à évaluer la répartition des tailles de grains dans un granulat dont les dimensions varient de 0,063 mm à 125 mm (cf. figure III.6), Deux termes importants utilisés dans ce contexte sont :

- Refus sur un tamis : il s'agit de la quantité de matériau qui reste retenu sur le tamis après le tamisage.
- Tamisât ou passant : c'est la quantité de matériau qui parvient à passer à travers le tamis lors du tamisage.

Ces deux mesures sont essentielles pour comprendre la granulométrie d'un échantillon de granulat et peuvent influencer ses propriétés et son utilisation dans diverses applications de construction.



Figure III-6 : les tamis utilisés dans l'essai d'analyse granulométrique.

Le tableau III.7 et la figure III.7 montrent les résultats de l'analyse granulométriques du sable utilisé.

Tableau III-7 : Analyse granulométriques du sable utilisé.

Nature de l'échantillon : Sable			Classe granulaire d/D : 0/4	
Masse sèche : $M = 1\text{kg} \geq 0,2 D$ (D en mm)			Procédé utilisé : Tamisage par voie sèche	
Ouverture de Tamis (mm)	Masse des refus $M_i(\text{g})$	Masse des refus cumulés $M_c(\text{g})$	Pourcentage des refus cumulés (%) $Pr = (M_c/M) \times 100$	Pourcentage des Tamisas cumulés (%) $Pt = 100 - Pr$
6,3	0,4	0,4	0,04	99,96
5	1,2	1,6	0,16	99,84
4	30,2	31,8	3,18	96,82
3,15	81,4	113,2	11,32	88,68
2	157,6	270,8	27,08	72,92
1,6	76,4	347,2	34,72	65,28
1,25	74,3	421,5	42,15	57,85
1	66,2	487,7	48,77	51,23
0,8	46,2	533,9	53,39	46,61
0,63	74	607,9	60,79	39,21
0,5	52,8	660,7	66,07	33,93
0,315	122,4	783,1	78,31	21,69
0,250	17,8	800,9	80,09	19,91
0,2	58	858,9	85,89	14,11
0,16	60,6	919,5	91,95	8,05
0,125	41	960,5	96,05	3,95
0,1	3,8	964,3	96,43	3,57
0,080	9,6	973,9	97,39	2,61
0,063	20	993,9	99,39	0,61
Fond	4	997,9	99,79	0,21

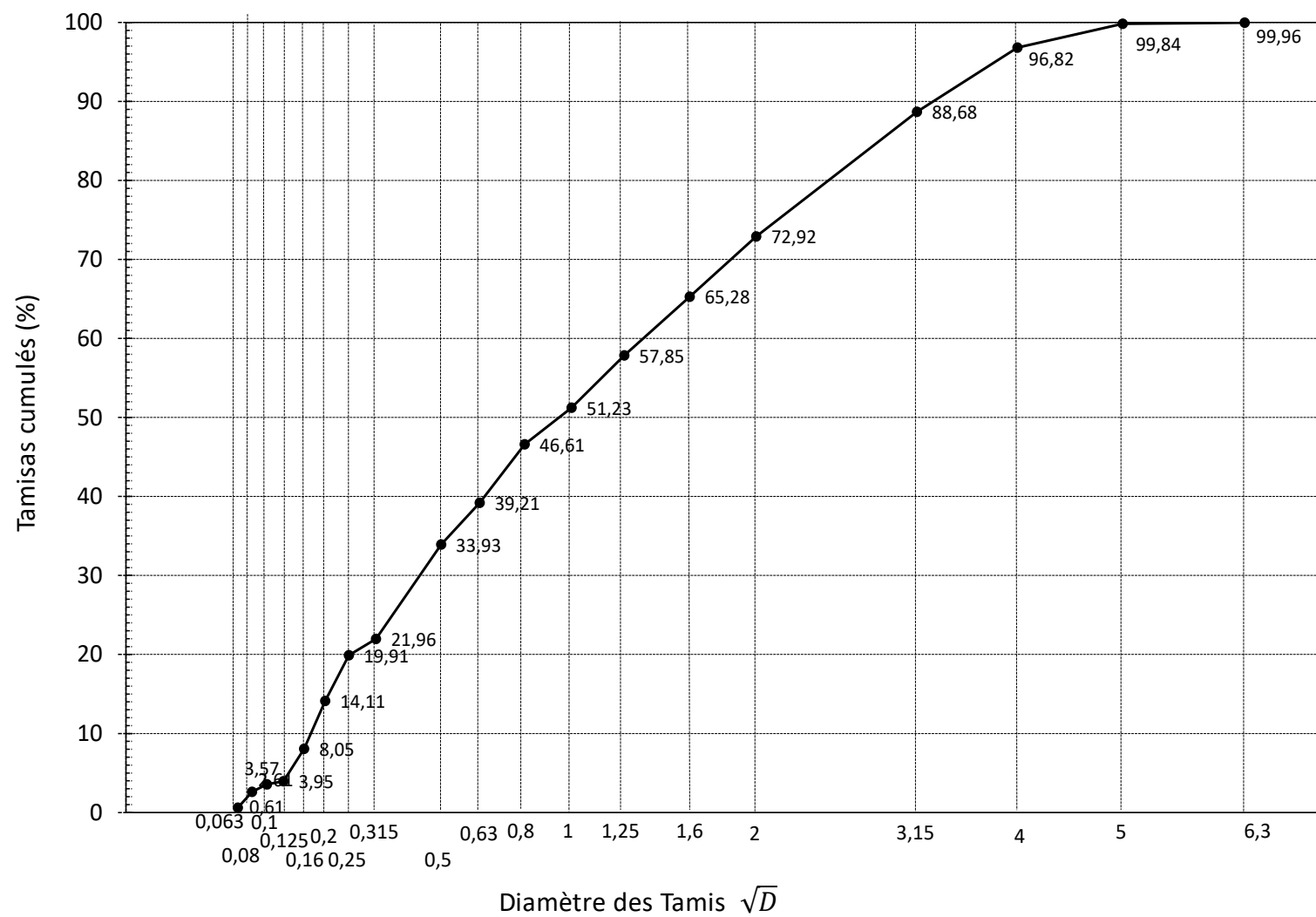


Figure III-7 : Courbe granulométrique du sable.

D'après l'analyse granulométrique, la proportion d'éléments de taille inférieure à 0,063 mm dans le sable est de 0,61%.

III.3.5. PREPARATION DES MORTIERS :

Nous avons préparé pour chaque concentration quatre échantillons cylindriques, chacun ayant un diamètre de 4,2 cm et une hauteur de 3 cm. De plus, trois échantillons cubiques de dimensions (4×4×4) cm³. La préparation a impliqué l'utilisation du mélange suivant :

1. 400 g de ciment.
2. 1200 g de sable.
3. 240 ml d'eau distillée.
4. Un rapport E/C de 0,6.
5. Une quantité d'inhibiteur variable utilisé (cf. tableau III.8).

Tableau III-8 : Quantités des inhibiteurs nécessaire pour la fabrication du mortier.

<i>Dosage recommandé</i>	<i>Quantité par rapport au Dosage recommandé</i>	<i>Dosage de l'inhibiteur /au ciment</i>	<i>Masse d'inhibiteur introduite dans l'eau de gâchage</i>
blanc	0 g/L	0 %	0 g/ml
Poudre d'orange 0,5g/L	1 × (0,5 g/L)	0,03%	0,12g/240ml
	5 × (0,5 g/L)	0,15%	0,6g/240ml
	10× (0,5 g/L)	0,3%	1,2g/240ml
Poudre de grenade 0,5g/L	1 × (0,5 g/L)	0,03%	0,12g/240ml
	5 × (0,5 g/L)	0,15%	0,6g/240ml
	10× (0,5 g/L)	0,3%	1,2g/240ml

III.3.6. Protocoles de fabrication de mortier :

Les étapes de malaxage du mortier normal, selon la norme EN196-1 (Ghomari and Bendi-Ouis, 2007) sont présentées dans la figure III.8.

1. Dilution d'inhibiteur dans l'eau de gâchage.
2. Dans un malaxeur, combiner l'eau de gâchage et la quantité de ciment, puis mélanger pendant 30 secondes.
3. En ajouter le sable dans le malaxeur et mélanger pendant 30 secondes.
4. Effectuer un mélange manuel pendant 15 secondes.
5. Laisser l'échantillon reposer pendant 1 minute et 15 secondes.
6. Procéder à un deuxième malaxage pendant 60 secondes.
7. Préparer les moules et les enduire d'un lubrifiant pour faciliter le démoulage après la prise du mortier.
8. Couler le mortier dans les moules et placer les échantillons sur une table vibrante pour éliminer les bulles d'air.
9. Conserver les éprouvettes dans le laboratoire.
10. Après 24 heures, démouler les éprouvettes et les immerger dans de l'eau distillée contenant 2 g/l de $\text{Ca}(\text{OH}_2)$ pour éviter la contamination du béton pendant 28 jours.



Figure III-8 : Protocoles de fabrication de mortier : (a) Malaxeur, (b) Malaxage du mortier, (c) Mélange manuel, (d) Les échantillons cylindriques et (e) Les échantillons cubiques.

III.4. METHODES :

III.4.1. Caractérisation à l'état frais :

L'affaissement des mortiers préparés a été évalué immédiatement après le mélange à l'aide d'un mini cône comme le montre les figures III-9 et III-10.



Figure III-9 : Etapes d'essai d'affaissement.

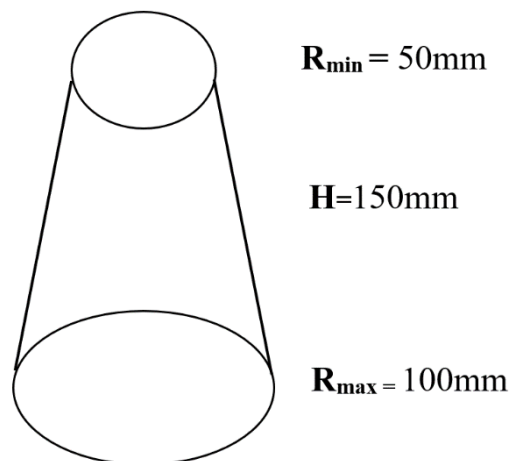


Figure III-10 : Dimensions de mini- cône utilisé.

III.4.2. Paramètres étudiés :

Dans cette étude, nous avons testé l'effet des inhibiteurs de corrosion utilisés sur les propriétés mécaniques et de durabilité des échantillons de mortier. Ont fait trois essais :

1. Essais de compression.
2. Porosité accessible à l'eau.
3. Absorption capillaire.

III.4.3. L'essai de la résistance à la compression :

L'essai de la résistance à la compression a été réalisé après 28 jours sur des échantillons cubiques de dimensions $(4 \times 4 \times 4) \text{ cm}^3$, selon la norme européenne NF EN 12390-3, 2019.

La figure III.11 représenté l'essai de la résistance à la compression.

Pour tester la résistance à la compression, nous avons procédé de la manière suivante :

- Après avoir positionné l'échantillon au centre, il a été progressivement et uniformément chargé jusqu'à la rupture.
- La machine d'essai a été mesurée directement la contrainte de rupture (R_c).
- La valeur de la contrainte de rupture R_c a été vérifié par la formule suivante :
- $$R_c = \frac{F(MN)}{S(m^2)} \quad \text{Eq III.1} \quad \text{Avec :}$$
- R_c : la contrainte de rupture à la compression (MPa).
- F : la force appliqué donnée par l'appareil (MN).
- S : la section d'échantillon (m^2).

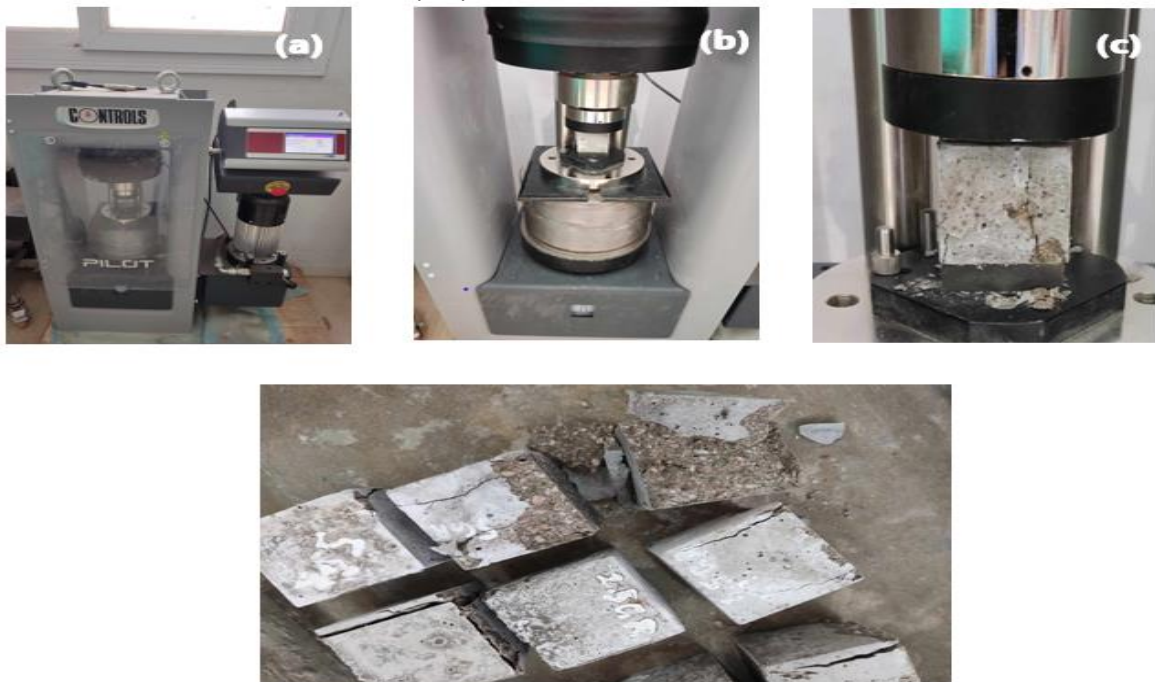


Figure III-11 : Etapes de l'essai de la résistance à la compression.

III.4.4. Porosité accessible à l'eau :

L'objectif de cet essai est de déterminer le volume des pores en mesurant la quantité d'eau absorbée lors de la saturation sous vide. On utilise pour cet essai des échantillons de forme cylindrique de diamètre de 4,2 cm et une hauteur de 3 cm. La méthode employée est la pesée hydrostatique, qui se déroule en trois phases (cf. figure III-13) : le séchage des échantillons, la saturation sous vide et les pesées hydrostatiques (BRIXI, 2022).

Les mesures de la porosité accessible à l'eau des mortiers fabriqués ont été effectuées en conformité avec le protocole de la norme (AFPC-AFREM, 1997) modifié par (KAMÈCHE, 2015) montré par la figure III.12 :

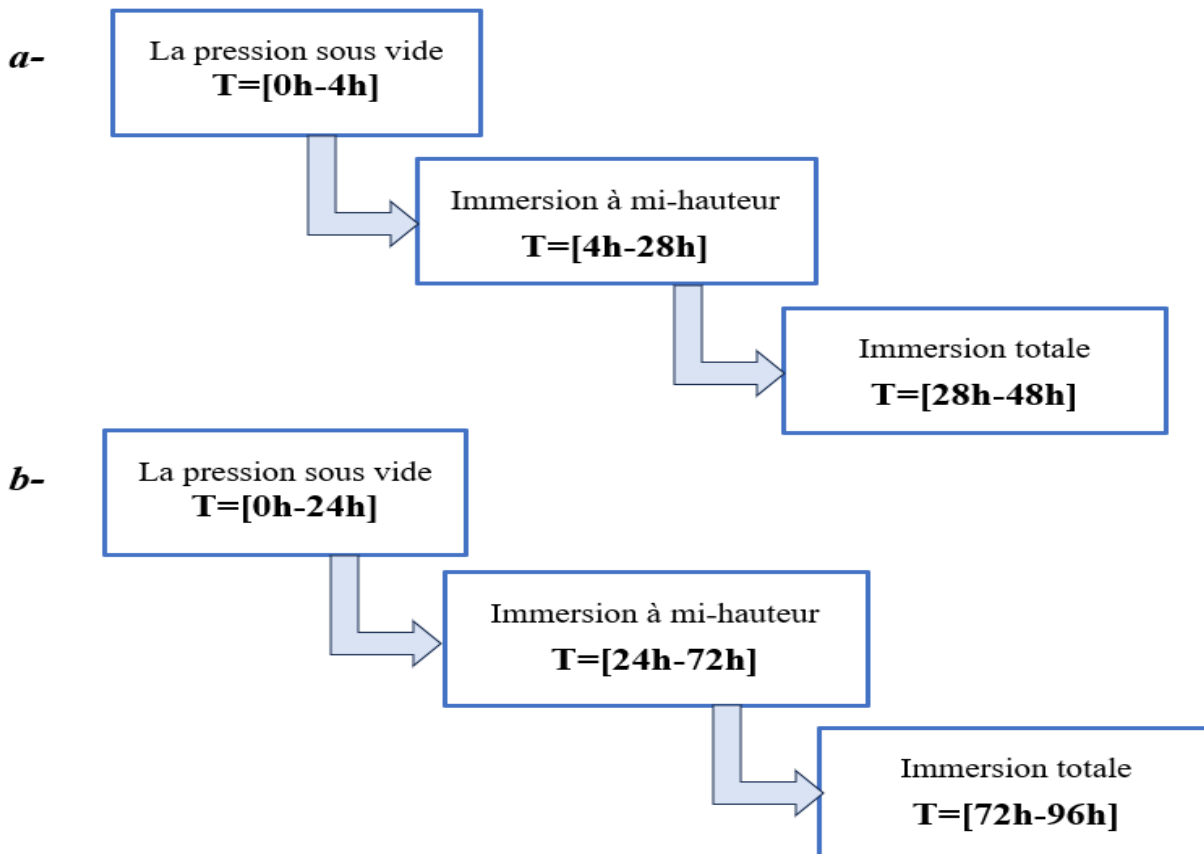


Figure III-12 : Le protocole de saturation avec deux procédures distinctes : (a) la procédure AFPC-AFREM (1997) et (b) une version modifiée de la procédure (AFREM-AFGC, 1997), (KAMÈCHE, 2015).

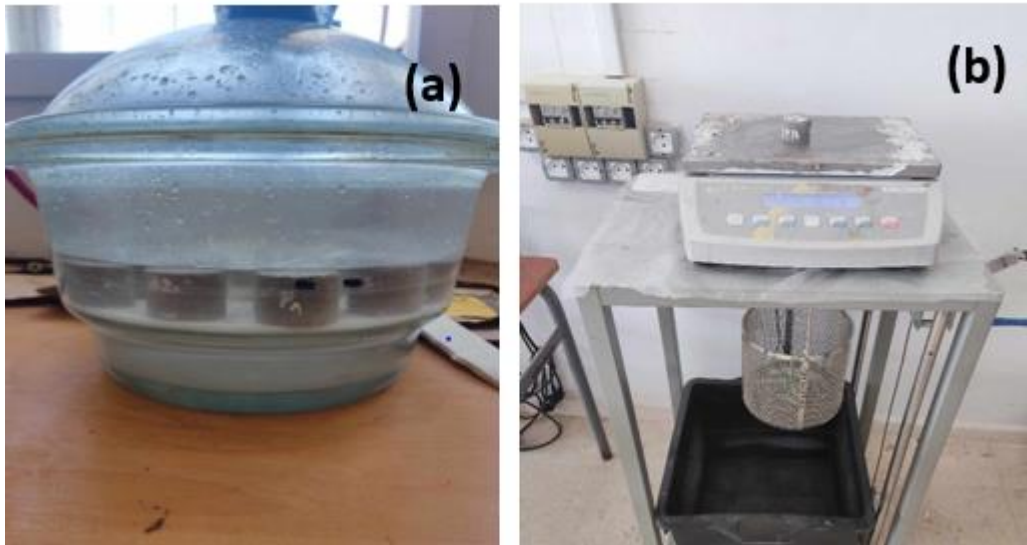


Figure III-13 : (a) Saturation sous vide et (b) Pesés hydrostatique.

La porosité accessible à l'eau est calculée à partir de la formule suivante :

$$p(\%) = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}} * 100 \quad \text{Eq III.2}$$

Avec :

M_{air} (g) : La masse de l'échantillon saturé pesé à l'air.

M_{sec} (g) : La masse de l'échantillon pesée à sec.

M_{eau} (g) : La masse de l'échantillon pesée sous l'eau.

III.4.5. Absorption capillaire :

L'essai a été réalisé sur des échantillons de mortier cylindriques de 4,2 cm de diamètre et 3 cm de hauteur. Après une période de cure de 28 jours, ces échantillons ont été placés dans une étuve à 60°C jusqu'à ce que leurs masses se stabilisent. Ensuite, les échantillons ont été positionnés avec leur base en contact direct avec de l'eau (cf. figure III-14). La procédure a été effectuée en conformité avec la norme ASTM C1585-20 (C1585, 2020). Enfin, le coefficient d'absorption capillaire a été déterminé en effectuant une régression linéaire des courbes illustrant la variation du volume d'eau absorbée par unité de surface en fonction du temps. La masse a été mesurée à des intervalles prédéfinis allant de 1 minutes à 216 heures (9 jours).

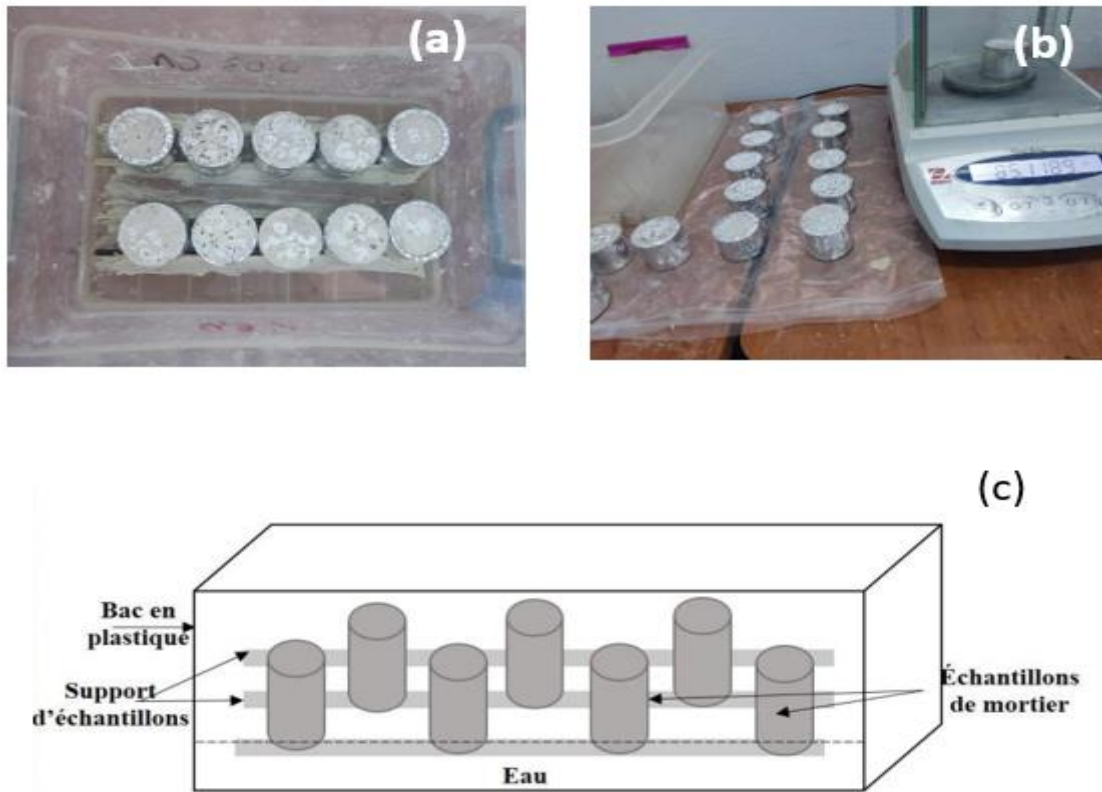


Figure III-14 : (a) Absorption de l'eau + (b) Mesure de l'échantillon après absorption+ (c) Image représentative de la procédure d'absorption d'eau (BRIXI, 2022).

Le coefficient d'absorption capillaire est calculé à partir de la formule suivante :

$$\frac{Q}{A} = s * \sqrt{t} + C \quad \text{Eq III.3}$$

Avec :

S : Le coefficient d'absorption capillaire ($m / s^{1/2}$).

Q : Le volume d'eau absorbé (m^3).

A : La surface de l'échantillon en contact avec l'eau (m^2).

t : La durée de l'essai (s).

C : est un coefficient constant.

III.5. CONCLUSION

En conclusion, notre étude a examiné l'utilisation de deux inhibiteurs de corrosion d'origine végétale, à savoir l'extrait de peau d'orange et l'extrait de peau de grenade. L'analyse granulométrique a montré que le sable étudié est légèrement grossier et possède un équivalent sable supérieur à 70% et une masse volumique supérieur à 1600Kg /m³.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

IV.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre présente la discussion et l'analyse des résultats obtenus à partir des échantillons de mortier contenant les deux inhibiteurs verts utilisés, à savoir l'extrait de peau d'orange et l'extrait de peau de grenade. Les résultats examinent les caractérisations à l'état frais (essai d'affaissement), le comportement du mortier en termes de résistance mécanique à la compression, ainsi que les divers indicateurs de durabilité tels que la porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire.

IV.2. : CARACTERISATION A L'ETAT FRAIS (L'AFFAISSEMENT) :

Les figure IV.1 et IV.2 représentent les résultats des propriétés physiques des mélanges de mortier préparés au laboratoire à l'état frais (affaissement).

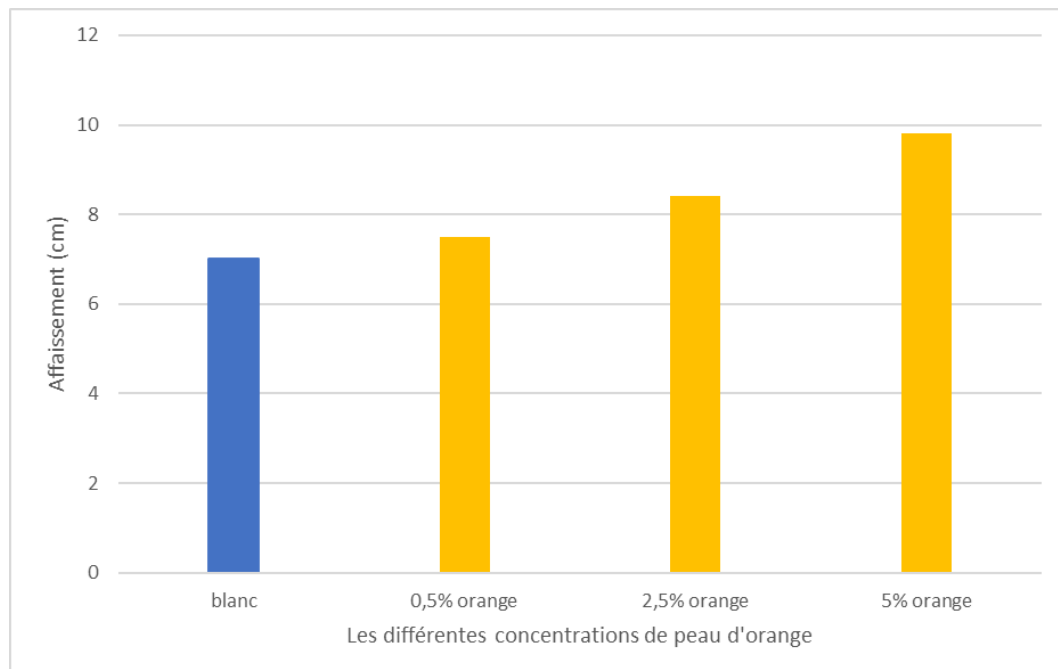


Figure IV-1 : Caractérisation à l'état frais (affaissement) avec et sans l'extrait de peau de d'orange.

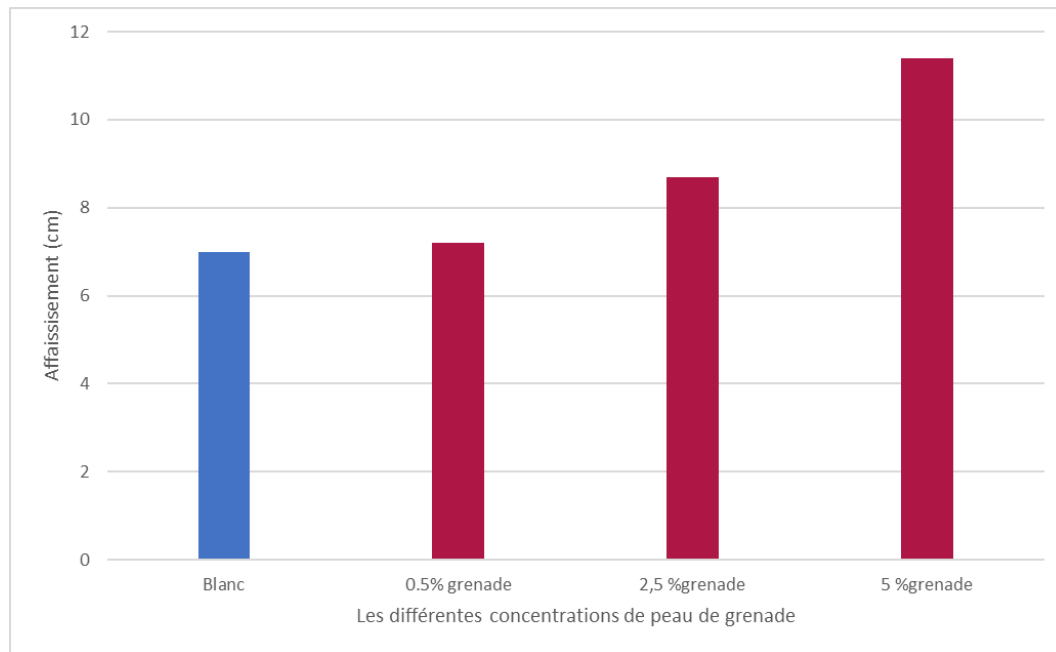


Figure IV-2 : Caractérisation à l'état frais (affaissement) avec et sans l'extrait de peau de grenade.

D'après ces diagrammes (cf. figure IV-1 et IV-2), on peut remarquer que l'échantillon de référence (Blanc) présente un affaissement de 7 cm, ce qui est inférieur aux autres échantillons contenant de l'extrait d'orange et de l'extrait de grenade. Par conséquent, les deux extraits augmentent l'affaissement, rendant le mortier plus fluide.

IV.3. ESSAI DE RESISTANCE A LA COMPRESSION :

IV.3.1. Les résultats des échantillons de mortier mélangés avec l'extrait de peau d'orange :

Le tableau IV-1 et la figure IV.3 présentent les résultats de trois essais d'écrasement d'échantillons de mortier à différentes concentrations par rapport au poids de ciment après 28 jours.

Tableau IV-1 : Les résultats des essais de la résistance à la compression après 28 jours d'extrait de peau d'orange.

	Essai 1		Essai 2		Essai 3		Moy	Moy
	(KN)	(Mpa)	(KN)	(Mpa)	(KN)	(Mpa)	(KN)	(Mpa)
blanc	62,96	39,35	62,38	38,99	76,42	47,76	67,25	42,03
0,5% orange	55,31	34,57	61,49	38,43	58,11	36,32	58,80	36,44
2,5% orange	66,60	41,62	64,83	40,52	65,50	40,94	65,64	41,03
5% orange	56,83	35,52	57,64	36,03	/	/	57,23	35,78

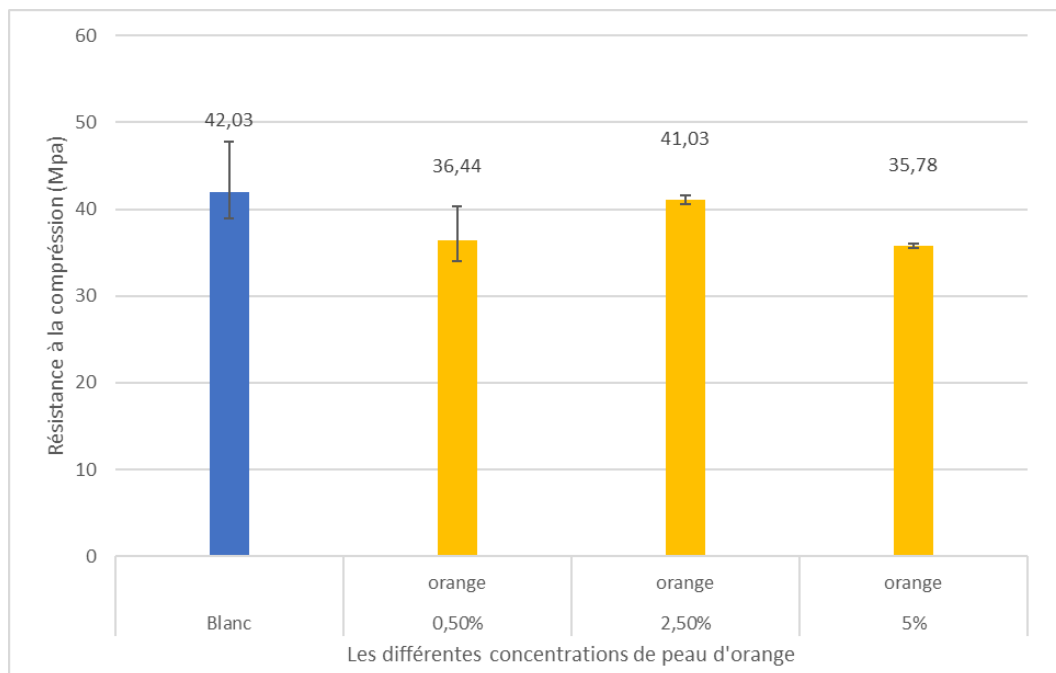


Figure IV-3 : La résistance à la compression des échantillons de mortier avec et sans l'extrait de peau d'orange après 28 jours.

L'extrait peau d'orange a entraîné une diminution de la résistance mécanique de près de 14% par rapport à l'échantillon de référence dans les concentrations de 0,5% et 5%. En revanche, dans le cas de l'échantillon de la concentration de 2,5%, la résistance était presque similaire à celle du blanc, avec des valeurs de 41,03 Mpa et 42,03 Mpa respectivement.

IV.3.2. Les résultats des échantillons de mortier mélangés avec l'extrait de peau de grenade :

Le tableau IV-2 et la figure IV.4 présentent les résultats de trois essais d'écrasement d'échantillons de mortier à différentes concentrations par rapport au poids de ciment après 28 jours.

Tableau IV-2 : Les résultats des essais de la résistance à la compression après 28 jour d'extrait de peau de grenade.

	Essai 1		Essai 2		Essai 3		Moy	Moy
	KN	MPa	KN	MPa	KN	MPa	(KN)	(Mpa)
blanc	62,96	39,35	62,38	38,99	76,42	47,76	67,25	42,03
0,5% grenade	65,48	40,93	59,72	37,33	65,55	40,97	63,58	39,74
2,5% grenade	57,25	35,78	54,22	33,89	61,38	38,78	57,61	36,15
5% grenade	50,02	31,26	58,48	36,55	56,99	35,62	55,16	34,47

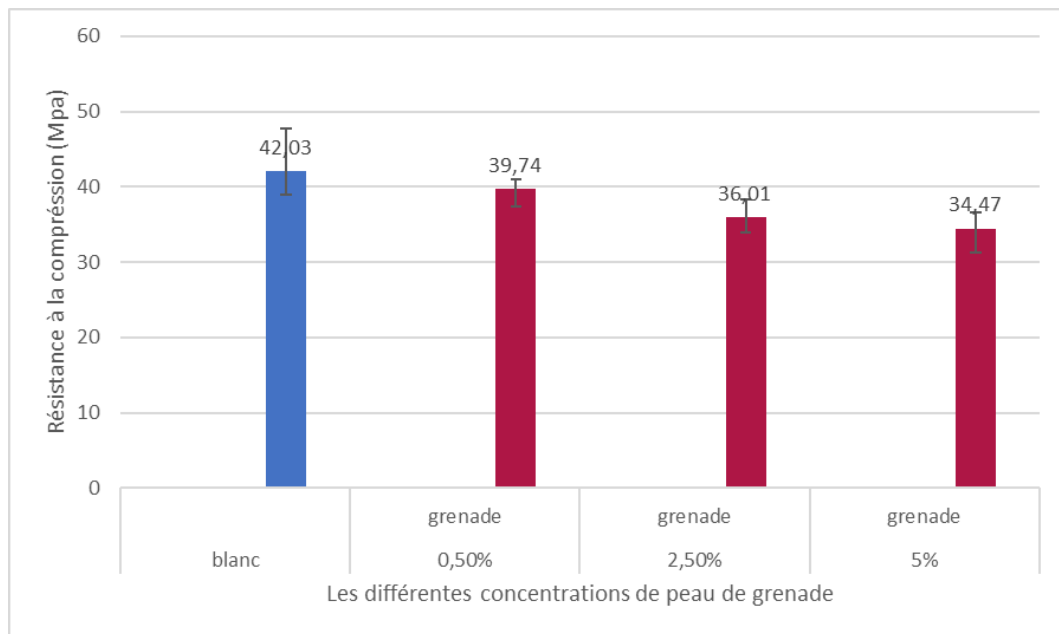


Figure IV-4 : La résistance à la compression des échantillons de mortier avec et sans l'extrait de peau de grenade après 28 jours.

La figure IV.4 montre que l'échantillon de 0,5% d'extrait de peau de grenade a présenté une diminution de 6% par rapport à l'échantillon de référence (42,03 MPa). En outre, les échantillons contenant 2,5% et 5% d'extrait de de peau grenade ont montré une diminution de 14% et 18% respectivement, par rapport à l'échantillon blanc. Par conséquent, l'augmentation de la concentration d'extrait de peau de grenade entraîne une réduction de la résistance du mortier.

IV.4. LA POROSITE ACCESSIBLE A L'EAU :

IV.4.1. Les résultats des échantillons de mortier mélangés avec l'extrait de peau d'orange :

Le tableau IV-3 et la figure IV.5 présentent les résultats des masses de mortiers avec différent concentration de l'extrait de peau d'orange mesurées pour déterminer la porosité accessible à l'eau.

Tableau IV-3 : Les résultats des essais de la porosité accessible à l'eau de mortier mélangé avec l'extrait de peau d'orange.

Echantillon	Masse sèche (g)	Masse à l'air (g)	Masse à l'eau (g)	Porosité (%)
Blanc	88,18	96,7	53	19,46
0,5 % orange	86,03	93,68	52	18,34
2,5 % orange	87,99	96,06	53,45	18,97
5 % orange	82,09	89,16	48,7	17,47

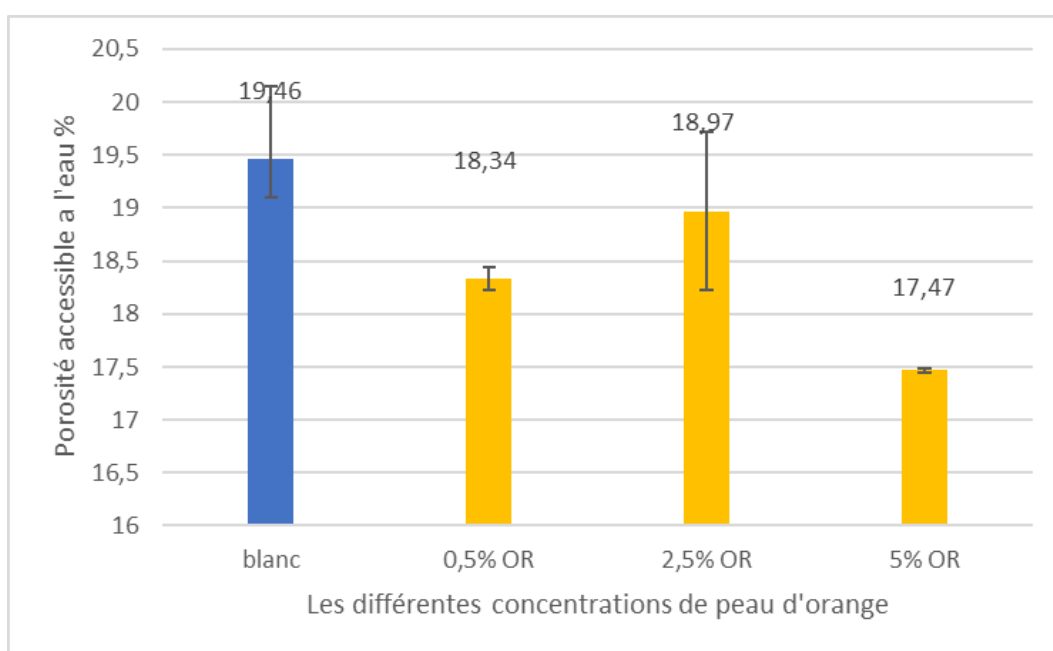


Figure IV-5 : La porosité accessible à l'eau de mortier avec et sans l'extrait de peau d'orange.

D'après cette figure IV.5, nous pouvons constater que l'extrait de peau d'orange a réduit la porosité accessible à l'eau du mortier. Par exemple, l'échantillon de référence présente une porosité de 19,46%, tandis que celle avec une concentration de 5% d'extrait de peau d'orange affiche une porosité de 17,47%.

IV.4.2. Les résultats des échantillons de mortier mélangés avec l'extrait de peau de grenade :

Le tableau IV-4 et la figure IV.6 illustrent les résultats des masses de mortiers avec différent concentration de l'extrait de peau de grenade mesurées pour déterminer la porosité accessible à l'eau.

Tableau IV-4 : les résultats des essais de la porosité accessible à l'eau de mortier mélangé avec l'extrait de peau de grenade.

Echantillon	Masse sèche	Masse à l'air	Masse à l'eau	Porosité (%)
Blanc	88,18	96,7	53	19,46
0,5 %	86,82	94,52	51,5	17,96
2,5 %	82,85	90,37	49,95	18,57
5 %	80,39	87,96	49,5	19,72

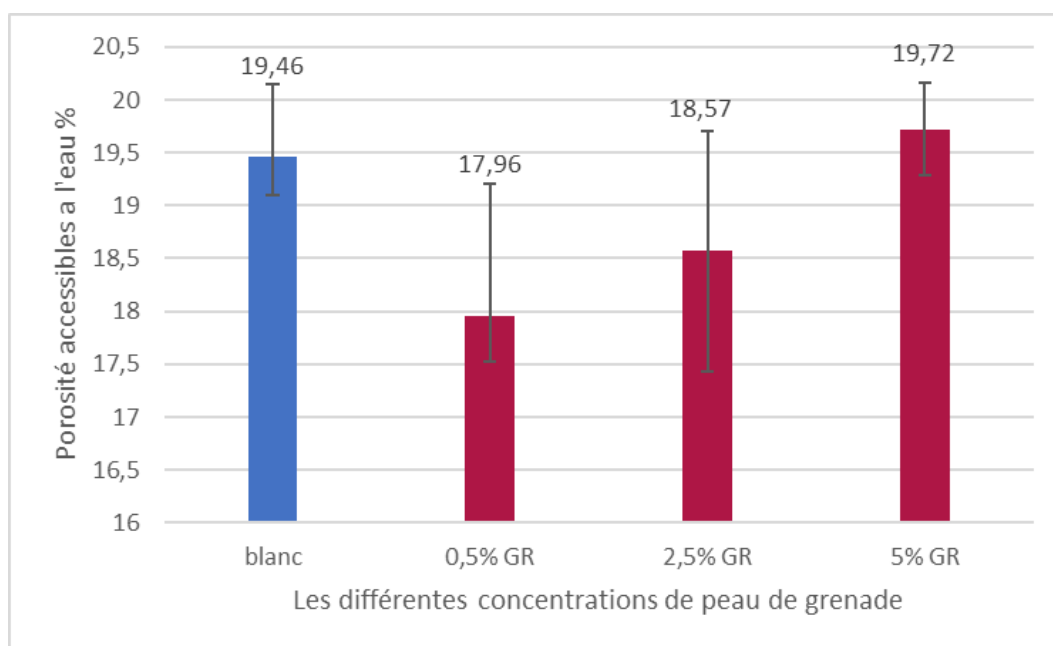
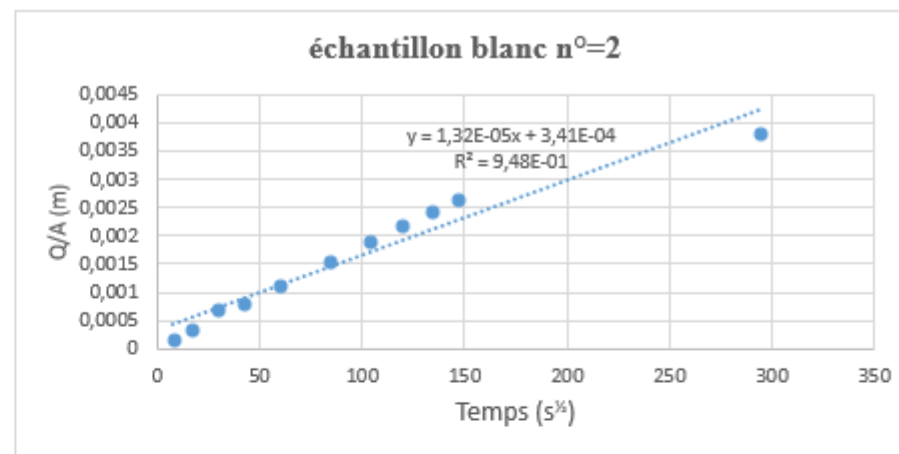
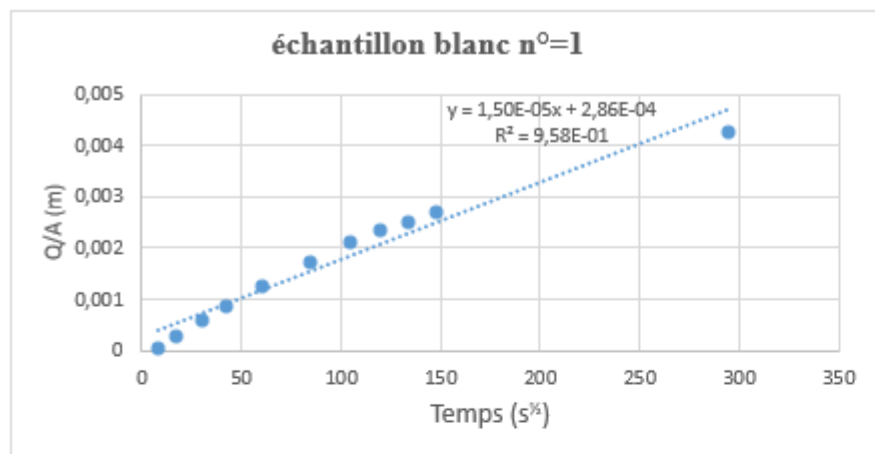


Figure IV-6 : La porosité accessible à l'eau de mortier avec et sans l'extrait de peau de grenade.

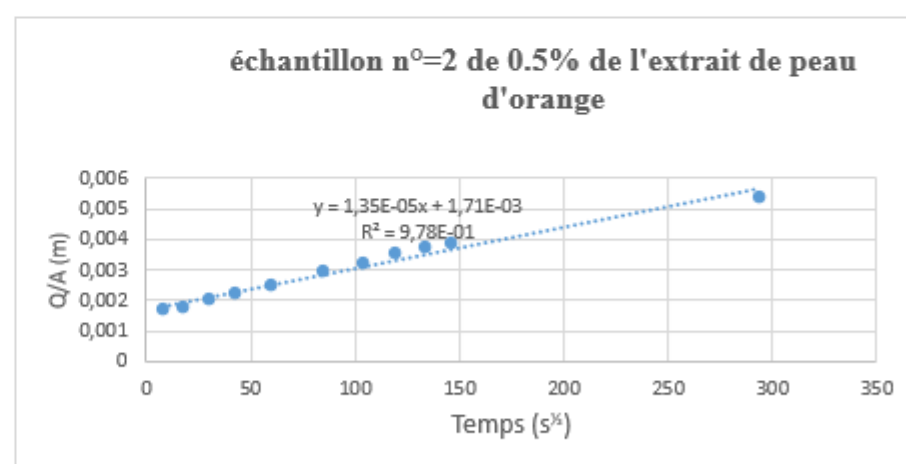
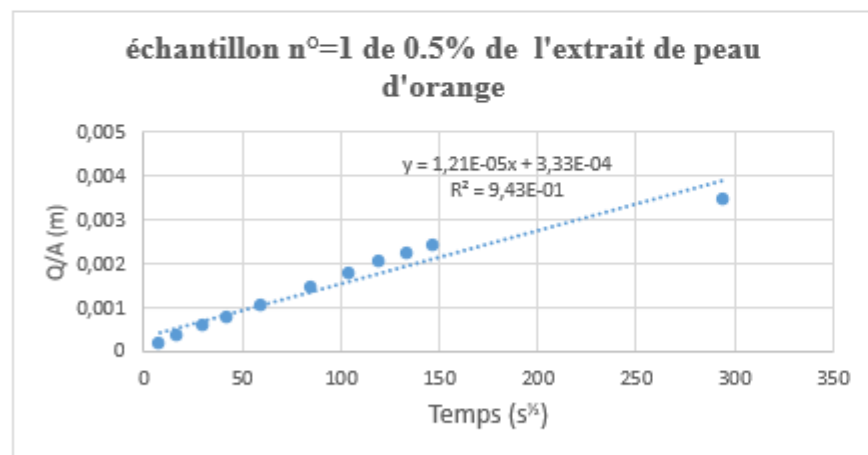
La figure IV.6 montre que la concentration de 0,5% et 2,5% d'extrait de peau de grenade ont diminué la porosité accessible à l'eau par rapport à l'échantillon de référence, donnant des valeurs de 17,96% et 18,57%. Par contre, la concentration 5% augmente la porosité accessible à l'eau, avec une valeur de 19,72%.

IV.5. L'ABSORPTION CAPILLAIRE :

Les résultats des essais d'absorption capillaire pour les deux inhibiteurs testés ont illustré dans les courbes suivantes, montrant le volume sur la surface (Q/A) en fonction de la racine du temps ($t^{1/2}$). Ce rapport présente un caractère linéaire et dont la pente correspond au coefficient d'absorption d'eau du matériau testé.

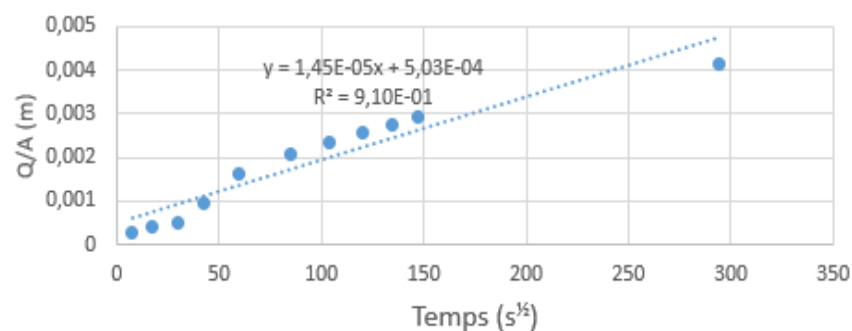


Résultats des échantillons blanc (sans inhibiteur)

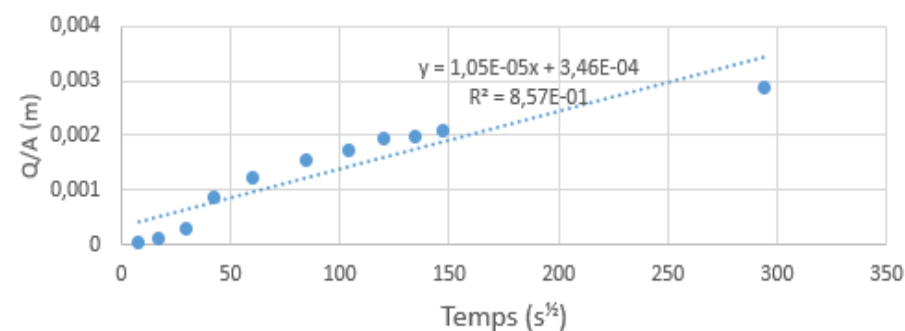


Résultats des échantillons de 0,5% de l'extrait de peau d'orange

échantillon n°=1 de 2.5% de l'extrait de peau d'orange

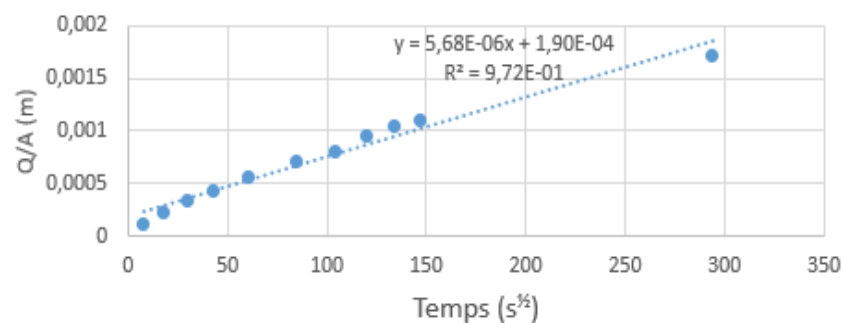


échantillon n°=2 de 2.5% de l'extrait de peau d'orange

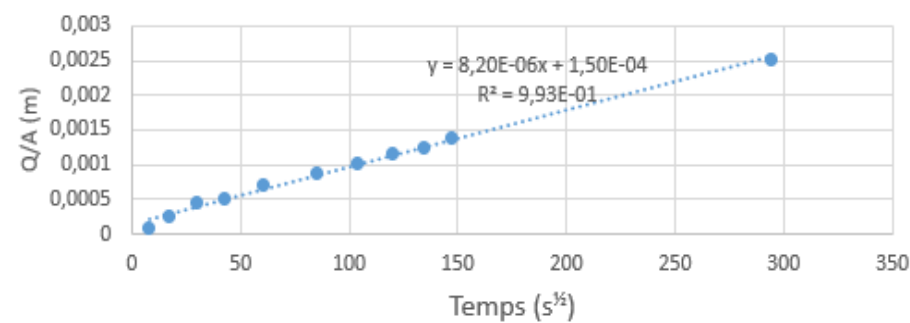


Résultats des échantillons de 2.5% de l'extrait de peau d'orange

échantillon n°=1 de 5% de l'extrait de peau d'orange

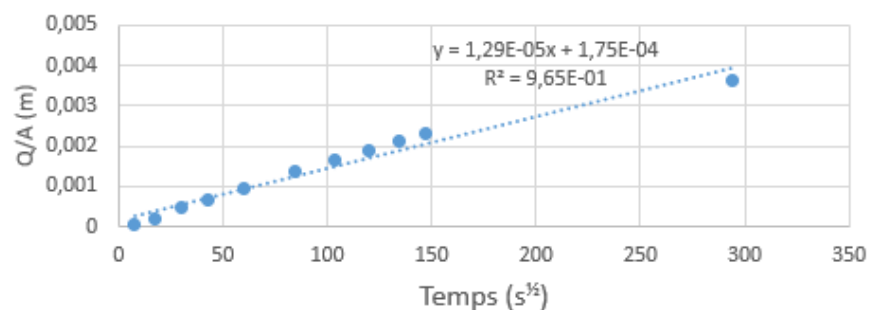


échantillon n°=2 de 5% de l'extrait de peau d'orange

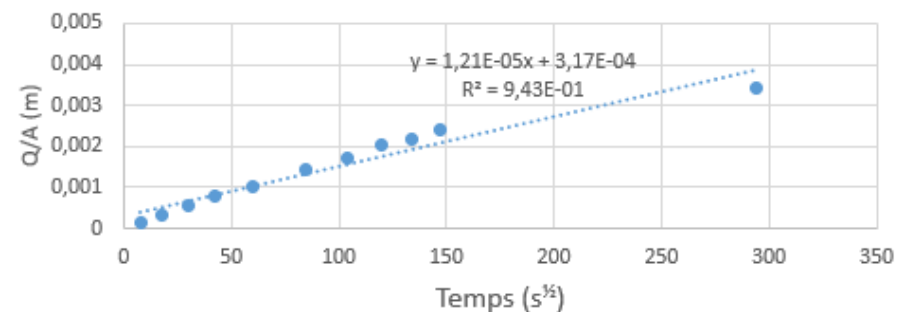


Résultats des échantillons de 5% de l'extrait de peau d'orange

échantillon n°=1 de 0.5% de l'extrait de peau de grenade

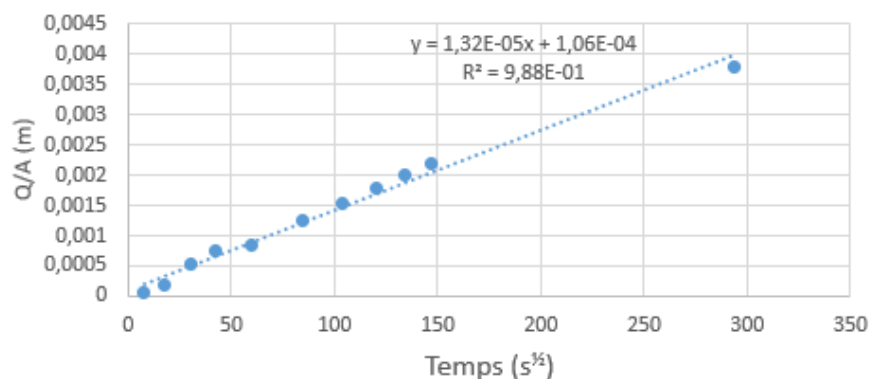


échantillon n°=2 de 0.5% de l'extrait peau de grenade

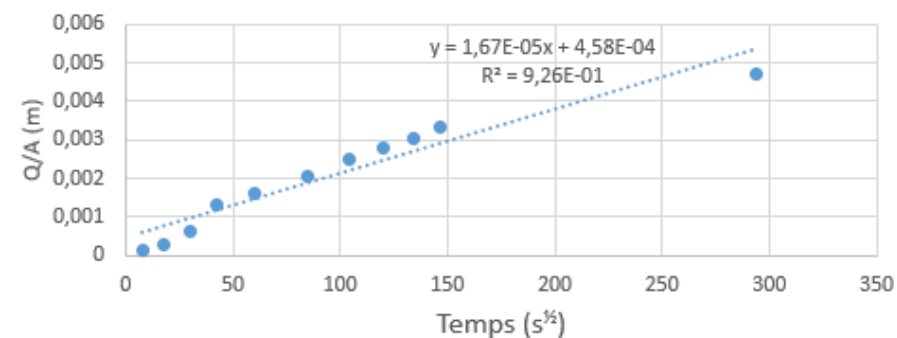


Résultats des échantillons de 0.5% de l'extrait de peau de grenade

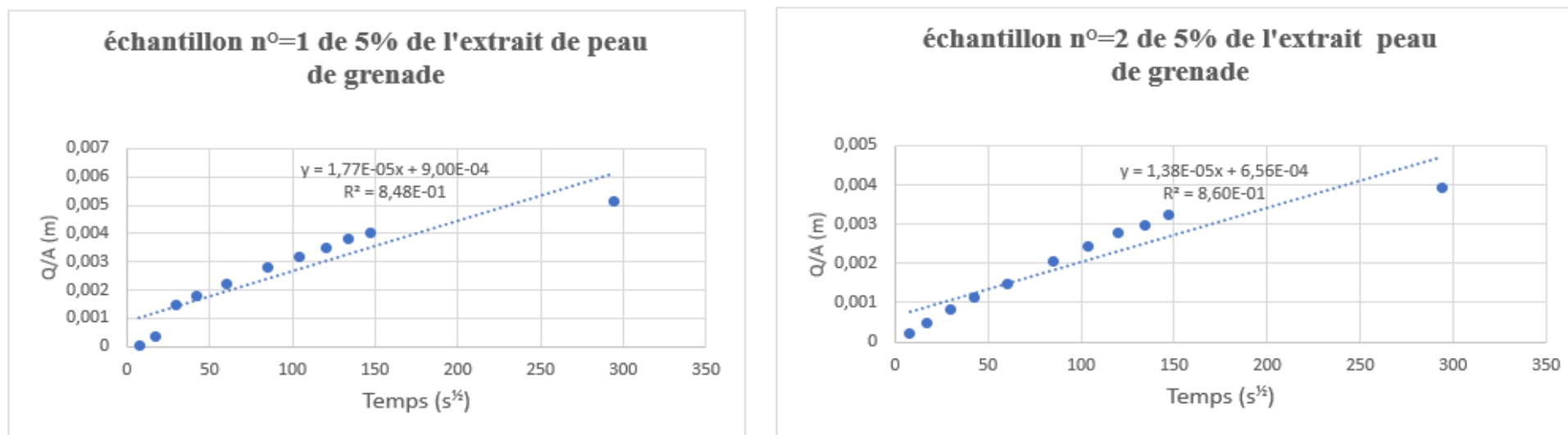
échantillon n°=1 de 2.5% de l'extrait de peau de grenade



échantillon n°=2 de 2.5% de l'extrait de peau de grenade



Résultats des échantillons de 2.5% de l'extrait de peau de grenade



Résultats des échantillons de 5% de l'extrait de peau de grenade

Figure IV-7 : Courbes d'absorption capillaire pour les échantillons de mortier avec et sans les deux inhibiteurs vert utilisés.

Les tableaux IV.5 et IV.6 et les figures IV.8, IV.9 montrent les résultats des coefficients d'absorption à l'eau et les coefficients de régressions (R^2) des échantillons de mortier étudiés avec et sans inhibiteur

Tableau IV-5 : Le coefficient d'absorption capillaire et les régressions des échantillons de mortier avec et sans l'extrait de peau d'orange.

	Eq : $(Q/A) = a \times (t^{1/2}) + b$	
	$S (m/s^{1/2})$	R^2
Blanc	1,41E-05	0,953
0,5% orange	1,28E-05	0,961
2,5% orange	1,25E-05	0,853
5% orange	6,94E-06	0,9825

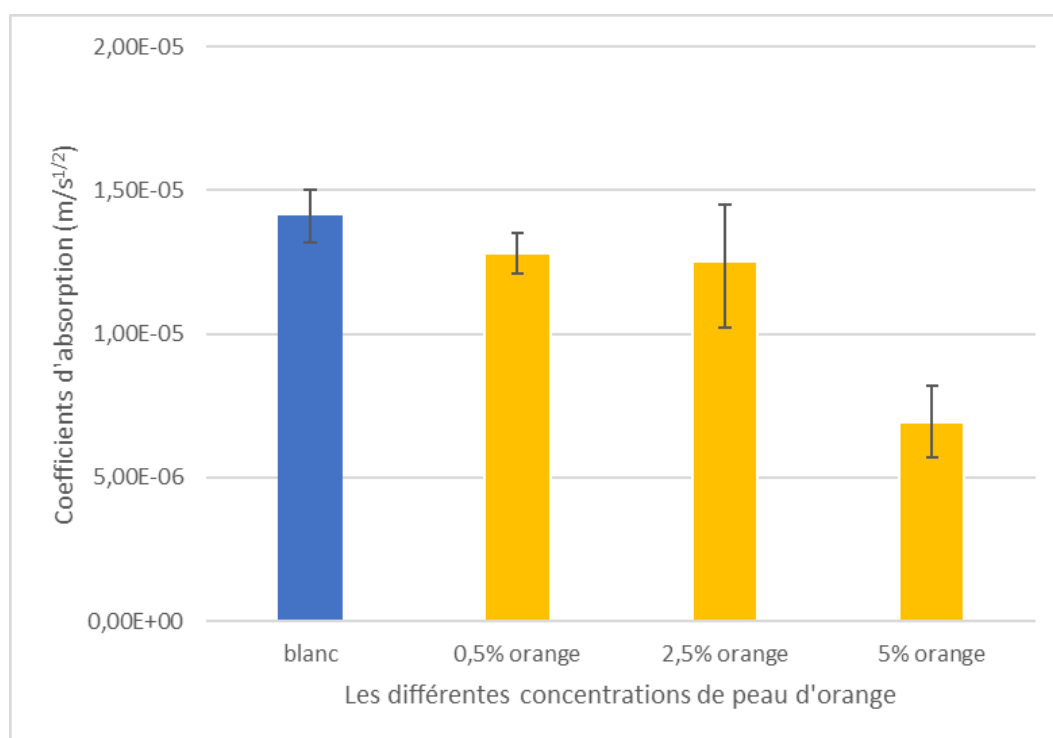


Figure IV-8 : Coefficients d'absorption capillaire avec et sans l'extrait de peau d'orange.

Tableau IV-6 : Coefficient d'absorption capillaire et les régressions des échantillons de mortier avec et sans l'extrait de peau de grenade.

	Eq : $(Q/A) = a \times (t^{1/2}) + b$	
	$S (m/s^{1/2})$	R^2
Blanc	1,41E-05	9,53E-01
0,5% grenade	1,25E-05	9,54E-01
2,5% grenade	1,495E-05	9,57E-01
5% grenade	1,575E-05	8,54E-01

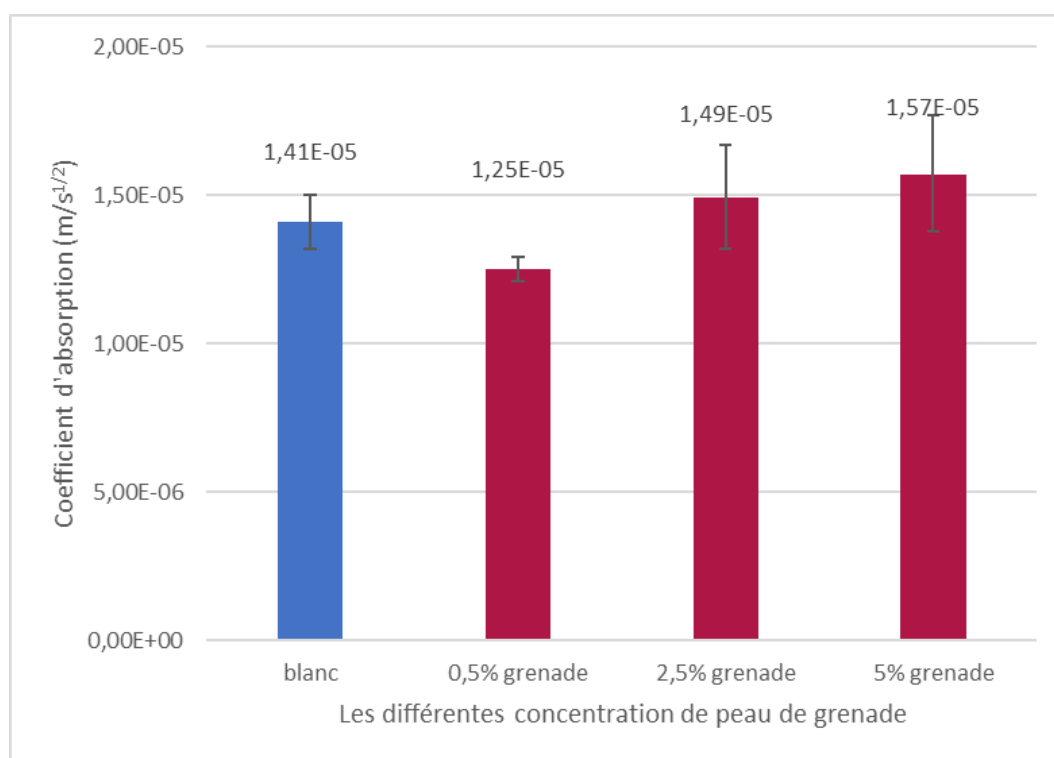


Figure IV-9 : Coefficients d'absorption capillaire avec et sans l'extrait de peau de grenade.

D'après les tableaux IV.5 et IV.6, les coefficients d'absorption à l'eau sont de l'ordre de 10^{-5} et 10^{-6} avec des coefficients de régression entre 0,85 et 0,98 prouvant que la relation linéaire ajuste correctement ces essais.

Il convient de noter que si le coefficient d'absorption d'eau est inférieur à $9,96 \times 10^{-5}$ ($\text{m/s}^{1/2}$), le matériau est considéré comme très bon par rapport à l'absorption d'eau (Alexander, 1999), (Brixi et al., 2022) (Harouat et al., 2024).

Dans cette étude l'extrait de peau d'orange donne des valeurs entre $6,94 \times 10^{-6}$ et $1,28 \times 10^{-5}$, ainsi que l'extrait de peau de grenade affiche des valeurs de $1,25 \times 10^{-5}$ à $1,57 \times 10^{-5}$. Donc, ces produits testés ne modifient pas ce paramètre pour tous concentrations étudiées.

IV.6. CONCLUSION :

L'objectif des inhibiteurs de corrosion est de ralentir le processus de corrosion sans altérer les propriétés mécaniques et physiques des matériaux cimentaires dans lesquels ils sont intégrés.

Dans le cadre de notre étude l'extrait de peau d'orange et l'extrait de peau de grenade ont été dosé à des concentrations une, cinq et dix fois supérieures à celle offrant une efficacité optimale contre la corrosion dans des environnements simulant le béton.

Lors des tests d'affaissement pour caractériser l'état frais du mortier, l'échantillon de référence (Blanc) a montré des valeurs inférieures par rapport aux échantillons contenant de l'extrait de peau d'orange et l'extrait de peau de grenade. Le dosage dix fois supérieur à la recommandation a entraîné une forte augmentation de l'affaissement. L'ajout d'extrait de peau d'orange et l'extrait de peau de grenade ont augmentant l'affaissement, rendant ainsi le mortier plus fluide.

La résistance à la compression n'a pas été significativement altérée pour l'extrait de peau d'orange, avec le dosage cinq fois supérieur à la recommandation se révélant être le plus efficace par rapport aux dosages d'une seule fois et dix fois. En ce qui concerne l'extrait de peau de grenade, le dosage d'une seule fois s'est avéré être le plus approprié par rapport aux dosages cinq fois et dix fois.

Les coefficients d'absorption obtenus restent excellents par rapport à la littérature, pour les deux extraits utilisés. L'extrait de peau d'orange dosé à dix fois la concentration recommandée s'est avéré être le plus efficace et l'extrait de peau de grenade dosé à une seul fois dosage

recommandé s'est avéré être le plus efficace par rapport aux dosages. La même tendance a été observée pour le pourcentage de la porosité.

CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVE

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Les structures en béton situées dans des environnements marins sont souvent sujettes à des dommages causés par la corrosion des armatures encastrées dans le béton. Pour lutter contre ces dommages, divers moyens sont disponibles, parmi lesquels les inhibiteurs de corrosion sont les plus couramment utilisés. Ces produits peuvent être de nature minérale, organique et parfois toxique, ou bien être des inhibiteurs de corrosion organiques verts issus de l'extraction de plantes, respectueux de l'environnement et de la santé humaine. Ce choix de produits respectueux de l'environnement est de plus en plus privilégié dans le domaine de la protection contre la corrosion des structures en béton.

D'après la synthèse bibliographique examinée concernant les caractérisations à l'état frais, le comportement mécanique et les indicateurs de durabilité, nous concluons que la plupart des inhibiteurs commerciaux mentionnés dans cette synthèse sont considérés comme étant très toxiques, tandis que les inhibiteurs verts s'avèrent être des produits écologiques pour l'environnement et la santé humaine.

Deux inhibiteurs de corrosion d'origine naturelle, issus de l'extraction de peau d'orange et de grenade, sont utilisés dans le but de retarder la corrosion sans altérer les propriétés mécaniques et physiques des matériaux cimentaires lors de leur incorporation. L'objectif est de fournir une protection anticorrosion efficace tout en préservant l'intégrité et les performances des matériaux.

D'après les conclusions de cette étude, le meilleur dosage de l'extrait de peau d'orange est de 5%, soit dix fois supérieur à la dose optimale. En revanche, pour l'extrait de peau de grenade, il ne doit pas excéder 0,5%, soit une seule fois la dose optimale, pour prévenir toute diminution des caractéristiques physiques et mécaniques lors de leur incorporation dans le béton.

À la lumière des résultats obtenus dans cette étude et en vue d'une utilisation future des inhibiteurs testés, nous recommandons de poursuivre la recherche en effectuant les actions suivantes :

- Réaliser des essais électrochimiques sur des échantillons de mortier contenant des armatures en acier et préparés avec les inhibiteurs étudiés.
- Effectuer des essais de diffusion de chlorures sur les différents mélanges contenant ces inhibiteurs.

- Explorer d'autres méthodes d'extraction et d'autres parties de plantes de la région de Tlemcen, telles que les racines et les fleurs, pour élargir la gamme d'inhibiteurs potentiels et améliorer la compréhension de leur efficacité.

Ces perspectives de recherche pourraient contribuer à renforcer les connaissances sur l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion écologiques et à optimiser leur application dans l'industrie de la construction.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- GUETTALA, S. B. 2002. DIAGNOSTIC ET REPARATION D'UN PONT EN BETON ARME. 2^{ème} Conférence spécialisée en génie des matériaux de la Société canadienne de génie civil, Montréal, Québec, Canada 5-8 juin 2002. p 1-9.
- ASMARA, Y. P., KURNIAWAN, T., SUTJIPTO, A. G. E. & JAFAR, J. 2018. Application of plants extracts as green corrosion inhibitors for steel in concrete-A review. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 3, p158-170.
- BOUTEILLER, V. 2016. *Etude de la corrosion des structures en béton armé et de leur réparation par traitements électrochimiques en vue d'une meilleure gestion des ouvrages d'art*. Thèse de doctorat, Université Paris-Est, France, 132p.
- BRIXI, N. K. 2022. Les inhibiteurs de corrosion verts appliqués aux ouvrages en béton armé soumis au milieu marin agressif. *Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, Algérie, 143p*
- BRIXI, N. K., SAIL, L. & BEZZAR, A. 2022. Application of ascorbic acid as green corrosion inhibitor of reinforced steel in concrete pore solutions contaminated with chlorides. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 36, p1176-1199.
- FLORINA, C. 2011. Etude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquides de refroidissement. *Thèse de doctorat, Universitatea din Pitești. Facultatea de Litere (România), Français, 174p*.
- GHOMARI, F. & BENDI-OUIS, A. 2007. Sciences des matériaux de construction: Travaux pratiques, Masse Volumique, Analyse Granulométrique, Mortier Norma *Département de génie civil. Faculté des sciences de l'Ingénieur. Université ABOUBEKR BELKAID, [Consulté le 17/04/2024], Disponible à l'adresse : <https://ft.univ-tlemcen.dz/fr/pages/124/cours-en-ligne>*
- GUETTALA, A. & ABIBSI, A. 2006. Corrosion degradation and repair of a concrete bridge. *Materials and structures*, 39, p471-478.
- HADI, Z. A., MAHDI, A. S. & BAHAR, S. S. 2020. Reed Leaves Extract as Corrosion Inhibitor for Reinforcing Steel in Concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 871, 012003.
- HAROUAT, A., BEZZAR, A. & SAIL, L. 2024. Pomegranate peel extract as a sustainable corrosion inhibitor on steel in a simulated concrete pore solution and mortar: Experimental and theoretical studies. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 28, p684-717.
- HASSOUNE, M. 2018. *AMORÇAGE DE LA CORROSION DES ARMATURES DANS LE BETON EXPOSÉ AU MILIEU MARIN: PRÉDICTION ET PRÉVENTION PAR INHIBITION*. Thèse de Doctorat. Université de Tlemcen-Abou Bekr Belkaid, Algérie, 208p.
- KAMÈCHE, Z. 2015. Contribution à l'étude de la perméabilité relative au gaz et à l'eau liquide du béton ordinaire partiellement saturé. Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, Algérie, 215p.
- KHIATI, Z. & MRAH, L. 2022-2023. Corrosion et protection des métaux. *Polycopié de cours, Département de Chimie physique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed -Boudiaf USTOMB, Algérie, 107p*.
- KOTEŠ, P., BRODŇAN, M. & BAHLEDA, F. 2016. Diagnostics of corrosion on a real bridge structure. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016.
- MORADI-MARANI, F., SHEKARCHI, M., DOUSTI, A. & MOBASHER, B. 2010. Investigation of corrosion damage and repair system in a concrete jetty structure. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 24, p294-301.
- NADERI, R., BAUTISTA, A., SHAGÑAY, S. & VELASCO, F. 2024. Licorice (*Glycyrrhiza glabra*) as corrosion inhibitor of carbon steel reinforcing bars in mortar and its synergic effect with nitrite. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 129, p620-633.

- PDB, P., PDM, P. & PDR 1999. la norme 933-8 d'équivalent de sable. *Portail du bâtiment et des travaux publics, Portail des minéraux et roches, Portail de la route, Algérie* ,5p.
- PEPENAR, I. Corrosion behaviour of reinforced concrete constructions in acid aggressive environments: case studies, laboratory tests and corrosion mechanisms. MATEC Web of Conferences, 2018. EDP Sciences, 01018.
- VALDEZ-SALAS, B., VAZQUEZ-DELGADO, R., SALVADOR-CARLOS, J., BELTRAN-PARTIDA, E., SALINAS-MARTINEZ, R., CHENG, N. & CURIEL-ALVAREZ, M. 2021. Azadirachta indica Leaf Extract as Green Corrosion Inhibitor for Reinforced Concrete Structures: Corrosion Effectiveness against Commercial Corrosion Inhibitors and Concrete Integrity. *Materials* [Online], 14p.
- WANG, W., SONG, Z., GUO, M., JIANG, L., XIAO, B., JIANG, Q., CHU, H., LIU, Y., ZHANG, Y. & XU, N. 2019. Employing ginger extract as an eco-friendly corrosion inhibitor in cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 228, 116713.
- XU, Q., HOU, D., ZHANG, H., WANG, P., WANG, M., WU, D., LIU, C., DING, Z., ZHANG, M., XIN, Z., FU, B., GUAN, J. & ZHANG, Y. 2022. Understanding the effect of vitamin B3, B6 and C as a corrosion inhibitor on the ordinary Portland cement hydration: Experiments and DFT study. *Construction and Building Materials*, 331, 127294.

NORMES UTILISEES

ASTM C1585. (2020). Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic cement concretes. ASTM International.

AFREM-AFGC 1997. Durabilité des bétons : Méthode recommandée pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité Compte-rendu des Journées Techniques, 11-12 décembre, Toulouse, France.

NF EN 12390-3 2012. Essais pour béton durci - Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes.

NF EN 12620 2008. Masse volumique absolue et apparente des granulats.

NF P 18-598 1991. Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats : - Équivalent de sable.

NF EN 933-1 2012. Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage.

RAPPORT UTILISEES

Fiche descriptive sur les zones humides ramsar,. Direction Generale Des Forets, Algérie, 13p. Consulté le 15/03/2024], Disponible à l'adresse au lien Microsoft Word - DZ017ris.doc (ramsar.org)